



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre

Arbetsrapport II
1999-03-01

Historik av svenska erfarenheter av kalkstabilisering av vägterrasser

Stefan Gustafsson

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 1996-2000. Medlemmar är myndigheter, kalk- och cementleverantörer, entreprenörer, konsulter, forskningsinstitut och högskolor.

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

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

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

Swedish Deep Stabilization Research Centre

The Swedish Deep Stabilization Research Centre coordinates research and development activities in deep stabilization of soft soils with lime-cement columns. A joint research programme based on the needs stated by the authorities and the industry is being conducted during the period 1996 - 2000. Members of the Centre include authorities, lime and cement manufactures, contractors, consultants, research institutes and universities.

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

The Swedish Deep Stabilization Research Centre is located at the Swedish Geotechnical Institute and has a Steering Committee with representatives 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, fax: +46 13 20 19 14 or e-mail: goran.holm@swedgeo.se, <http://www.swedgeo.se/sd.htm>.



Svensk Djupstabilisering
Swedish Deep Stabilization Research Centre

Arbetsrapport 11
1999-03-01

Historik och svenska erfarenheter av
kalkstabilisering av vägterrasser

Stefan Gustafsson, Scandiaconsult

Förord

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

Föreliggande arbetsrapport är en redovisning som underlag för ett utökat användningsområde avseende terasstabilisering.

Linköping i nov 1999

Göran Holm
Projektledare för SD

Arbetsrapport

Beställning
(endast för
medlemmar av SD)

Upplaga

Tryckeri

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

150 ex

Roland Offset AB, Linköping, november 1999

SVENSK DJUPSTABILISERING

Historik och svenska erfarenheter av kalkstabilisering av vägterrasser

1. Inledning

Syftet med att använda stabilisering är primärt att öka, underlagets-/terrassens bärighet och styvhet för att underlätta packningsarbetet av överbyggnadslager och därmed förbättra hela konstruktionens egenskaper. Dessutom erhålls ett minskat väderberoende under byggprocessen. De förbättrade egenskaperna innebär en potentiell möjlighet till minskade överbyggnadstjocklekar. Genom val av stabiliseringsmedel kan ursprungsmaterialet också påverkas i positiv riktning med avseende på tjälegenskaper.

På grund av bl.a. ökande trafiktäthet och stigande fordonsbelastningar har kraven på bärigheten i vägkonstruktionerna ökat. Detta återspeglas i de normkrav som framgår bl a i VÄG 94, som också innehåller krav på mätning av terrassens egenskaper och dokumentation av att de ställda kraven uppfylls. Dessutom finns även iakttagelser som kan medföra att kraven på terrassbärighet i vissa fall kanske måste skärpas ytterligare. En förändrad miljösyn har medfört en önskan att övergå till mindre miljötärande metoder. Dessa faktorer medför att stabilisering av terrasser kan vara en intressant metod för den Svenska marknaden.

Stabilisering av vägterrasser är en mycket gammal metod som idag används i stor omfattning i länder som ex vis England, Tyskland och Frankrike, men även i USA och i många länder i tredje världen. I Norden hade metoden sin storhetsperiod för 15 - 20 år sedan. I Sverige utfördes ytstabilisering av terrasser och överbyggnader på ett antal vägobjekt. Sedan dess har metoden minskat i användning till nästan obefintlig omfattning.

Avsaknad av maskinutrustning är nu ett av de största hindren för metodens nyetablering. Metoden planeras nu dock att användas på en del nya vägobjekt och används också redan bl.a för byggandet av Yttre Ringvägen i Malmö.

Orsaken till att man har fortsatt att använda metoden i Europa beror troligen främst på mycket mer begränsad tillgång till naturresurser i form av grus och sand m.m. och till viss dels troligen också på ett varmare -gynnsammare- klimat.

I Sverige har istället tekniken med djupstabilisering utvecklats enormt, bl.a. vad avser val av bindemedel utifrån jordart och önskad funktion. Denna kunskap ger nu möjlighet att även för terrasstabilisering välja metod och bindemedel utifrån önskad funktion. Stabilisering kan också användas för att stabilisera restjord, muddringsmassor och lerhaltigt grus samt en slurrbaserad tillämpning.

Denna rapport behandlar främst kalkstabilisering som tidigare var det vanligaste bindemedlet. Idag används även andra bindemedel som t. ex. cement och masungsslagg. I kapitel 4 "Val av bindemedel" behandlas dock delvis även andra bindemedel än kalk.

I studier av tidigare erfarenheter har den skånska lermoränen dominerat undersökningen. Detta har också varit en medveten strategi dels eftersom det på förhand var känt att ytstabilisering av lermorän tidigare genomförts med gott resultat, dels eftersom de nya stora infrastruktur projekten kring Malmö där stabilisering diskuterats i huvudsak byggs i lermorän. Dessutom är lermorän en utmärkt jord att studera effekten av stabilisering i eftersom man inte har några problem med bärighet mot djupet. Ytterligare en anledning är att lermoränen som oftast hamnar i materialtyp 5 enligt väg 94, skulle kunna innebära stora potentiella vinster om den ökade bärigheten fick medräknas vid dimensionering av överbyggnaden.

2. Historik

2.1 I världen

Kalkstabiliseringsmetoden började användas redan för ca. 5.000 år sedan i Kina. Men det var inte förrän på 1930-talet i USA som man började göra undersökningar på laboratorienivå samt de första fältförsöken. Därefter spred sig metoden långsamt till Europa. Metoden har använts till bl.a. motorvägar, flygplatser, damm- och kanalkonstruktioner m.m. (Ballantine och Rossouw 1989). Den främsta tillämpningen har dock troligen varit på mindre vägar.

Med tiden har även cement successivt börjat användas som komplement till kalk vilket utökar egenskapsområdet för stabilisering. Metoden används idag i stort sett hela övriga världen, forskare i flera länder lämnar ständigt nya bidrag till stabiliseringsmetoden (Little 1995) som t.ex. England, Belgien, Tyskland, Sydafrika, Brasilien, USA, Japan och Australien m.fl.

I England finns en standard som även innehåller krav på förundersökningar mm. Denna har till stor del legat till grund för den EU-standard som nu är föreslagen. I dessa standarder används CBR (California Bearing Ratio) som ett mått på bärigheten. Men en öppning finns också för att använda MCV (Moisture Condition Value)-värden.

I flera länder, t.ex. i Tyskland finns en praxis för utförandet av stabilisering.

2.2 I Sverige

I Sverige började metoden tillämpas kring 1957 (Assarsson 1975) där den först mötes med stor skepsis. Det var inte förrän några av de kalkproducerande företagen köpt in stabiliseringsfräsar, för att praktiskt kunna visa hur en stabilisering skulle kunna gå till och vilken effekt det hade, kom intresset. Ett av de drivande företagen var Skånska Cementa AB, numera Cementa AB. Metoden användes i viss utsträckning på en del projekt av skiftande karaktär under 70- och 80-talet.

I BYA 76 var jordstabilisering med kalk inskriven, där fanns även möjligheten att ändra klass på terrassmaterialet - d.v.s. "förbättra" terrassmaterialet ett steg i dimensioneringstabellen, vilket medförde en tunnare överbyggnadskonstruktion. Även i BYA 84 finns jordstabilisering inskrivet men med den förändringen att någon "förbättring" av materialet ej kan tillgodoräknas. I BYA 84 är genomförandet indelat i olika faser; arbetsrecept, utförande och kontroll.

Under 80-talet upphörde användandet av stabilisering i Sverige (och i Norden). Anledningarna var främst följande:

- en del arbetsmiljöproblem uppstod i samband med t.ex. transport och spridning av släckt och osläckt kalk,
- vissa inblandningsproblem med sättningar som följde,
- förändrade normer som inte längre "belönade" stabilisering vid dimensionering.
- marknaden var inte tillräckligt omfattande för att motivera den stora maskinutrustning som krävs.

Men även andra aspekter har gjort att man i princip helt har slutat med metoden i Sverige, trots att många fördelar finns. Vid problem med bärlighet och uppblötta terrasser har istället använts geotextiler eller urschaktning/utskiftning. Dessutom har troligen i vissa fall överbyggnaden påförts icke bärliga terrasser vilket kan leda till framtida skador och minskad livslängd.

Vid kalkstabilisering av en blöt, lerig vägterrass har man tidigare, överslagsmässigt räknat med att bärligheten på det kalkstabiliserade skiktet ungefär blir den samma som på ett 0,3 - 0,5 m mäktigt grus lager, lagt direkt på den ostabiliserade terrassytan eller urskiftat.

Tidigare utfördes inblandningen för mindre projekt ibland med jordbruksredskap som t.ex. tallriksharvar.

Dåvarande Skånska Cementgjuteriet, numera Skanska AB, förfogade över en fräs fram till i slutet på 80-talet då den avvecklades pga vikande marknad.

Nuförtiden finns i princip inga utrustningar på den Svenska marknaden. Vid bygget av Öresundsbron landanslutning har SVEDAB utfört omfattande kalkstabilisering av terrasser. Entreprenören PEAB har härvid använt en fräs som normalt används för bundna överbyggnadslager. I Norden och vårt närområde finns däremot viss tillgång till utrustningar, se nedan.

2.3 Danmark

Sverige och Danmark har utvecklats på liknande sätt vad gäller kalkstabilisering. I Danmark har man inte använt sig av kalkstabilisering i lermorän i någon större utsträckning. Ett antal försökssträckor har utförts och rapporterats. I ett par år har en arbetsbeskrivning för utförande av stabilisering vid Vejdirektoratet varit inskriven för motorväg och trafikled. Men det har visat sig vara utan större genomslagskraft. Vid de få tillfällen där kalkstabilisering har använts på statliga vägar har det inte dokumenterats och det har varit vid mindre samt begränsade förekomster av lös kalkfri lermorän vilken medfört användning av kalkstabilisering.

Det finns idag i princip ingen dansk praxis för stabilisering av (lermorän) terrasser. Enligt dansk norm skall hela arbetsgången skall utföras med kortast möjliga arbetstid och helst under samma dag. Detta gäller för användande av cement, kalk och flygaska. Dosering av cement och kalk skall utföras inom samma dag enligt danska normer. I dag urskiftas normalt lös jord om inte tillräcklig bärförmåga kan uppnås.

3. Kalkstabilisering utförande

3.1 Definitioner och syfte

Med terrasstabilisering menas att ursprungsmaterialet modifieras genom att ett stabiliseringsmedel blandas in i den översta delen (minst 0,15 m) av jorden. Syftet är att dels skapa ett framkomligt arbetsunderlag och dels att förbättra markens egenskaper så att bärigheten ökar och underlaget kan fungera som en bärig terrass för överliggande överbyggnadslager. I denna rapport behandlas främst stabilisering med kalk som bindemedel.

3.2 Förundersökningar

Terrasstabilisering av jord kan erfarenhetsmässigt användas med god effekt om det naturliga terrassmaterialet består av kohesions- eller mellanjord och är mycket blött eller plastiskt.

Jordstabilisering med kalk kan vara lämpligt under följande förutsättningar:

- Halt (0,074/2) är minst 35%
- Halt (0,002/2) är minst 10%
- Största kornstorlek är högst 50 mm (kan variera något beroende på utrustning)

Den geotekniska utredningen skall ge svar på jordens sammansättning, naturlig vattenkvot samt dess packbarhet och optimala vattenkvot, alternativt MCV -värde. Materialet ska vara i princip fritt från humus (<2%) och svavelföreningar. Provinblandningar i lab bör utföras för att bestämma rätt inblandningsmängd och medel.

Vid större arbeten kan det vara idé att göra en provsträcka med stabilisering för att i fält kontrollera inblandningsmängder samt vattenkvoten före och efter inblandning. När det stabiliserade skiktet även används konstruktivt i den permanenta konstruktionen bör dess tjälegenskaper undersökas.

3.3 Förberedelser på arbetsplatsen

Innan stabiliseringen utförs, skall entreprenören till beställaren överlämna skriftligt förslag till arbetsrecept. Arbetsreceptet skall baseras på förprovning med det jordmaterial som skall stabiliseras. Arbetsreceptet skall omfatta;

- kalktyp ($\text{CaO}/\text{Ca}(\text{OH})_2$)
- kalkkvot
- optimal vattenkvot
- skrymdensitet
- kornfördelning

Normalt är erforderlig kalkkvot ca 5 viktsprocent, dvs ca 15 kg/m^2 . (BYA 84)

Underlaget bör vara väl planerat och ha en profil som tillåter vattenavrinning. Profilplanet bör ligga under det planerade slutliga dels med tanke på att man ju tillför massor, dels med tanke på att jordvolymen sväller vid den uppluckring som infräsningen innebär.

Jordstabilisering med kalk skall utföras under den varma årstiden och skall avslutas minst en månad före tidpunkt när tjälning av jorden kan förväntas. Jord som innehåller isklumpar får inte användas. (Vejdirektoratet 1990). Frost kan verka nedbrytande på hållfastheten i kalkstabiliserad jord (Thagesen 1971).

3.4 Spridning, fräsning och packning

Stabiliseringsmedlet sprids vanligen ut på marken före fräsning. Alternativt kan stabiliseringsmedlet blåsas in i samband med fräsningen, vilket kan ske i flera omgångar. Detta förfarande torde vara att föredra med tanke på arbetsmiljö och omgivningspåverkan.

Den föreskrivna mängden kalk bör spridas i ett jämnt lager och i full bredd innan blandningen påbörjas. Omedelbart efter att kalken är utspridd skall omblandningen/fräsningen påbörjas till föreskrivet djup. Fräsning skall pågå tills jordmaterialet är väl sönderdelat och inblandningen är homogen. Sönderdelningsgraden hos jordmaterialet har stor betydelse för hur kalken och jorden reagerar med varandra.

Därefter packas blandningen med gummihjulsvält eller annat lämpligt packningsredskap som t.ex. fårfotsvält beroende på jordtyp. Det är önskvärt att underlaget är fast eller välpackat. Vibrerande vältar är i regel inte lämpliga eftersom finkornigt jordmaterial, som ligger under kalken kan få en så lös konsistens att det tränger upp genom kalken (Assarson 1974). Statiska vältar rekommenderas också i BYA 84. När man blandat in kalken i leran är reaktionen omedelbar och vattenkvoten sänks. Så snart som möjligt efter packningen skall vägbanken täckas med slitlager på minst 0.1 m grus eller liknande (Aktieselskabet Faxe Kalkbrud 1983). Detta lager skall skydda mot mekanisk påverkan samt täta ytan för att minska kalkens karbonatisering, dvs reaktionen med luftens CO_2 åter till CaCO_3 vilket minskar kalkens reaktiva del, dessutom finns risk för återfuktning vid regn.

Om terrassen är för torr är förvattning att föredra gentemot vattning under infräsningen.

För att en blandning av kalk och lera ska bli vattenfast samt hållbar krävs det att den blir välpackad, annars blir den mycket vattenkänslig och vattengenomsläpplig. Kalkstabiliserad jord blir efter packning mycket vattenavvisande.

Exempel på rekommenderat tillvägagångssätt vid kalkstabilisering;

- Upprivning och sönderdelning av hårt jordmaterial, ta bort större stenar, utläggning och profilering.
- Underlaget packas och profileras, (om så erfordras).
- Eventuell förvattning, ett dygn före stabiliseringsarbetet sätts igång.
- Kalkinblandning med jordfräs.
- Eventuell eftervattning, bör utföras omedelbart efter inblandningen.
- Packning med gummihjulsvält eller fårfotsvält.
- Profilering och slutpackning.
- Täckning
- Efterkontroll, av bindemedelshalt, blandning vattenhalt och packning m.m. bör utföras.

Samtliga faktorer är beroende av varandra för den slutliga hållfastheten och beständigheten (Gullhögen 1971).

3.5 Transport och utrustning

Osläckt kalk kräver, p.g.a. sin reaktivitet, varsam behandling, vilket betyder att den ej får exponeras för fukt eller luft innan blandning. Detta betyder i sin tur att om materialet skall transporteras långa sträckor krävs stora mängder som är väl tillslutna. Transport sker med

bulkbil, trycktankbil, i behållare, på flakbil eller med tåg (Assarson 1972). Även släckt kalk måste behandlas med varsamhet.

Ett alternativt förfarande är att blanda vatten och kalk och därefter sprida blandningen (slurrymetoden). Denna teknik är dock inte lämplig vid mycket blöta jordar.

Problem som uppkommer i Sverige är bristen på maskiner som kan utföra arbetet och även avsaknad av kunskap om metoden. I Finland och Tyskland finns dock maskiner som är väl lämpade för denna teknik. Det är dock troligen så att en maskinutveckling är nödvändig för anpassning till olika förhållanden och för att minimera problem med arbetsmiljö och omgivningspåverkan. De fräsar som skall användas för stabilisering måste arbeta så att jorden sönderdelas och homogena blandningar kan erhållas.

Cement finns att tillgå i princip i hela landet. Även kalk finns tillgängligt på ett flertal platser.

3.6 Miljöaspekter på stabiliseringsmaterialen

Kalk i sig är en ren miljövänlig produkt. Dess pH-höjande effekt gör att risken för metallurlakning i den mån det kan vara aktuellt minskar genom att de flesta metallers löslighet är minimerad vid högt pH. Stabilisering utgör samtidigt en process som skapar ett bundet material vilket också talar emot eventuella negativa effekter. Man ska också komma ihåg de låga vattenströmningar som i regel råder i de jordar av lertyp som detta handlar om (Phil och Kuusipuro 1997).

Efter förundersökningar kan det också visa sig möjligt att använda mineraliska tillsatsmineral (masugnsslagg, aska och gips) som delkomponent i bindemedlet. Gips bör dock undvikas i ystabiliseringsssammanhang eftersom det kan leda till ettringit-bildning och svällning. På så vis kan man minska behovet att deponera sådana material. De eventuella negativa miljöaspekterna i form av möjlig urlakning av oönskade komponenter ger ibland orsak till farhågor. Trots att ett antal utredningar utförts i ämnet återstår troligen ännu ett visst utredningsbehov.

4. Val av bindemedel

De mest förekommande stabiliseringsmaterialen är kalk och cement. Men det finns även andra bindemedel för att stabilisera jordar, som t.ex. flygaska eller masugnsslagg

I BYA 84 angavs följande specifikation på kalkmaterialet:

Kalken skall vara finpulvriserad med största kornstorlek mindre än 2 mm.

Osläckt kalk skall ha en CaO-halt större än 85%, släckt kalk en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -halt större än 85%.

När vattenkvoten överstiger den optimala bör osläckt kalk användas.

Inom djupstabilisering används oftast 80% som ett gränsvärde. I CEN standard finns olika klasser med t.ex. 80% resp 90 %, osv.

4.1 Kalk

Kalk används som ett samlingsnamn för flera olika kalkprodukter där kalksten är råvaran.

Kalksten består i princip enbart av mineralet kalcit, CaCO_3 . Då kalksten bränns fås osläckt/ bränd kalk. Vid upphettningen drivs koldioxid ur kalciumkarbonaten och kalciumoxiden, CaO, återstår.

Kalk i denna form är en reaktiv kemikalie. Reaktiviteten hos osläckt kalk är en av de viktigaste egenskaperna, därmed kan en eventuell felaktig behandling av kalken inverka mycket negativt.

Osläckt kalk kan släckas med vatten vilket sker under kraftig värmeutveckling. I reaktionen övergår kalciumoxid till kalciumhydroxid, Ca(OH)_2 , som ger släckt kalk, vilken även är en reaktiv kemikalie. Vid kalkstabilisering används aldrig enbart ren obehandlad, kalksten utan alltid osläckt eller släckt kalk (National Lime Association 1987).

Kalk med hög reaktivitet är lösbränd, d.v.s. bränd vid låg temperatur. Den kan även vara bränd vid relativt hög temperatur, men under kortare tid. Resultatet blir en osläckt kalk med porös struktur, som släcks snabbt. Kalk som bränts vid högre temperatur under längre tid, ger en osläckt kalk som har tätare struktur och på grund av denna uppvisar en lägre reaktivitet samt fordrar längre tid för släckning (Cementa 1974). När kalken är bränd mals den ned till ett pulver, ju finare korn desto snabbare släckning. Höga lufttemperaturer ger en accelererande härdning av jord-kalkblandningen. (Detta är troligen ytterligare en anledning till att man slutade med horisontell kalkstabilisering i Norden medan man fortsatte söder ut i varmare länder, Sherwood 1993).

Både släckt och osläckt kalk kan användas vid stabilisering. Bränd kalk har högre kalkinnehåll per mängd massa jämfört med släckt kalk, 4% släckt kalk är ungefär lika med 3% osläckt kalk. Bränd kalk är tätare än osläckt kalk och tar därför mindre utrymme vilket ger färre transporter. Osläckt kalk är mycket mindre dammig jämfört med släckt. Om osläckt kalk används istället för släckt kalk kommer fukthinnehållet i jorden kraftigt att minska. Osläckt kalk tar omedelbart upp ca. 32% av den egna massan av vatten från omgivande jord (släckning) och bildar släckt kalk (Greaves 1994).

4.2 Osläckt kalk

Bränd kalk i kontakt med vatten är mycket reaktiv. Osläckt kalk ger alltså momentant en värmeutveckling och minskning av vatteninnehållet. I blöta leror ger det även en tidig effekt av jonbyte. Summan av dessa två effekter ger möjlighet att redan första dagen få en arbetsplattform som går att jobba på samt en begränsad ökad bärighet som i vissa fall kan vara fullt tillräcklig.

Med tiden sker också reaktioner mellan Ca(OH)_2 och leran i form av s.k. "puzzolanreaktioner". Dessa tillväxer långsamt och fördelen med detta är att man kan arbeta med materialet under någon dag. Nackdelen är att puzzolanreaktionerna är mycket långsamma varför bärighetstillskott som de inte ger praktisk tillgänglighet förrän efter en månad. I längden ger det dock i princip samma effekt som cement.

Fördelarna med osläckt kalk, jämfört med släckt kalk, är att den anses vara mindre kostsam än släckt kalk, eftersom den innehåller ca 25% mer tillgänglig kalk. Osläckt kalk ger kortare torktid än släckt kalk på våt mark. En snabbare reaktion mellan jord och lera ger kortare torktid vilket kan bidra till minskade byggtider. Nackdelarna är att fältsläckningen är mindre effektiv och ger ett mer poröst material samt lägre fördelning i jordmassan. Osläckt kalk kräver mer vatten än släckt kalk, för stabilisering vilket kan ge problem i torra områden samt potentiellt högre skadlighet på de som arbetar med materialet. (Sherwood 1993).

Osläckt kalk har större förmåga att kemiskt binda vatten och att vid släckningen utveckla värme, vilket bidrar till vattnets avdunstning. Denna typ av kalk bör användas då man har ogynnsam väderlek eller om materialet har en hög vattenkvot (Leijonhufvud 1974).

4.3 Släckt kalk

Släckt kalk har en vattenbindande effekt men den är betydligt mindre och långsammare, värmeutveckling och jonbyte är betydligt mindre jämfört med osläckt kalk. Detta ger normalt en lägre momentan bärighetsökning, vilket kan vara att föredra när den ursprungliga jordens vatteninnehåll är liten. Vid lika vikt, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, har den samma säkra men långsamma hållfasthetstillväxt som osläckt kalk.

Släckt kalk kan användas när jordmaterialets vattenkvot inte nämnvärt överstiger den s.k. optimala vattenkvoten.

Vid en jämförelse mellan släckt och osläckt kalk, sker släckningen hos osläckt kalk effektivare i fabrik än i fält, så vid samma mängd $\text{Ca}(\text{OH})_2$ är släckt kalk något effektivare än osläckt kalk. I gengäld innehåller samma vikt släckt kalk mindre $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (eftersom den innehåller vatten) (muntligt Andersson 1998).

Fördelarna med släckt kalk är att den kan spridas med något mindre risker än osläckt och två till tre gånger snabbare än slurry och är mer effektiv när det gäller att torka ut jorden i jämförelse med slurry. Dock ej lika effektiv som osläckt kalk.

Nackdelarna med släckt kalk är att den ger dammproblem vilket gör metoden mindre eftertraktad i urbana områden. Det krävs stora mängder vatten under hårdningen vid varma väderleksförhållanden. En grövre fraktion av osläckt kalk kan användas (0 - 2 mm) för att minska spridning av damm (Sherwood 1993).

Vid en jämförelse mellan släckt och osläckt kalk med avseende på kostnader och hållfasthet har ingen nämnvärd skillnad påvisats. Det är andra faktorer som utgör skillnader främst t.ex. arbetsmiljön och jordens naturliga vattenkvot (Kirk 1976).

4.4 Kalkslurry

Fördelarna med kalkslurry är att den är dammfri och därför mer arbetsmiljömässigt fördelaktig.

Kalkslurry har en bättre fördelning av spridning och blandning. Materialet minskar processkostnader samt är lättare att arbeta med under varm och torr väderlek p.g.a. att torkningen går långsammare.

Nackdelarna med kalkslurry är att den gör att spridningen av materialet går långsammare. Högkapacitetspumpar krävs för att nå acceptabla spridningsmassor. Extra utrustning krävs och kostnaderna blir därför högre. Mer manipulation krävs vad gäller torkning under kalla, våta och/eller fuktiga väderförhållanden. Slurrymetoden är mycket svår att arbeta med i leror med höga vattenkvoter (Sherwood 1993).

4.5 Cement

Vid en jämförelse mellan kalk och cement framgår att det finns skillnader i stabiliseringseffekt vilket kan kopplas till olika hållfasthetsutvecklande reaktioner. Cement har förmågan att vid reaktion med vatten i jorden generera hållfasthets höjande produkter. Användandet av cement medför en snabb hållfasthetsutveckling som växer med mängden cement, samtidigt bildas krympsprickor. Med cement som bindemedel möjliggörs även korta byggtider. Cement ger en uttorkning någonstans mellan den hos osläckt den hos släckt kalk. Man bör dock vara

uppmärksam på att det är flera faktorer som inverkar på cementstabiliseringen än bara cementen i sig som t.ex. jorden/leran, vattenkvot o.dyl.

4.6 Reaktionen mellan kalk och lera

Blandas kalk i lera blir lerkornen grövre och leran i sig torrare. Detta beror på basutbyte eller jonbyte. För att kunna ställa upp en komplett teori för reaktioner mellan kalk och lera bör man känna till lermineralogin. Lermineralen är till stor del uppbyggd av vatteninnehållande aluminium-silikater. De vanligast förekommande lermineralen består av extremt små bladformade kristallina partiklar. Lerpartiklarnas ytor är negativt laddade. De negativa laddningarna kan kompenseras med adsorption av positiva joner (Thagesen 1971). De fina lerpartiklarna sluter sig samman till grövre vattenfasta ansamlingar.

Om leran är mycket blöt används i regel osläckt kalk. Vid blandningen släcks kalken av vatteninnehållet i leran. Lerans vattenhalt minskas genom att en större mängd vatten avdunstar i samband med den temperaturhöjning som sker då kalken släcks. Leran förlorar sin plasticitet och omvandlas till ett grusliknade material.

Lermineral är naturliga puzzolaner och har förmågan att reagera med kalk inblandad i jorden för att producera en cementös produkt. Kalken (kiseldioxid/aluminiumet) lägger sig som en gelé runt jordkornen för att bilda vidhäftning, vilken till slut kristalliseras till kalcium kiseldioxid/aluminium hydrat (Greaves 1997).

Vid inblandning av kalk förändras, som nämnts, jordens struktur, (vilket i sin tur i hög grad underlättar bearbetningen). Endast 1% kalk behövs för att åstadkomma en strukturomvandling i jordarten. Omvandlingen tros bero på att envärda Na^+ , K^+ och H^+ -joner i den leriga jordarten byts mot tvåvärda Ca^{2+} -joner, de sistnämnda ger upphov till större partiklar (Assarson 1959).

Jonbytet är omedelbart och avslutad efter några timmar. På lång sikt har man puzzolana reaktioner mellan lermineralen och resterande kalkhydrat, vilket leder till bildning av ett cementliknande bindemedel. Dessa reaktioner är mycket långsamma i början och det är svårt att påvisa att de har kommit igång. Egentlig kalkstabilisering bygger på utnyttjandet av långtidsreaktioner, vilka avslutas först efter många år. Långtidsreaktionerna medför en styrkeutveckling i jorden som liknar cementstabiliserande material men mycket långsammare..

Ett flertal faktorer inverkar på kalk-jord reaktioner som t.ex. vittringsbenägenhet, pH, kisel-aluminiumhalt, klimat (ju varmare ju bättre), halt organiskt material samt lösligheten hos sulfater m.m. (National Lime Association 1987). Lösliga sulfater i marken kan orsaka problem med de puzzolana reaktionerna.

Alla jordmaterial som innehåller leriga och siltiga jordmaterial kan stabiliseras med kalk eller cement. En äldre tumregeln säger att om mer än 35% av jordmaterialet passerar en sikt med 0,06 mm maskvidd så är den lämplig att stabiliseras med kalk. Mängd kalk som krävs per m^2 och 0,15 m färdigpackat skikt är 10 kg med minst 80% aktiv CaO eller 14 kg släckt kalk med en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -halt på minst 80%. Denna dosering har använts i ca. 15 år med ett gott resultat.

För stabilisering i friktionsjordar väljs vanligen cement och för kohesionsjordar kalk. Kalkåtgången är vanligen 4 - 8 viktsprocent av jordmaterialets torrsvikt. Även styvlera kan stabiliseras med kalk detta kräver dock lång blandningstid för ett homogent blandningsresultat (Gullhøgen 1971). För att en kohesionsjord ska kunna packas effektivt bör den vara i, fast

tillstånd. Som en följd av strukturförändringen som sker vid inblandningen av, kalk får jorden genast betydligt större inre friktion, vilket medför förbättrad bärighet.

Kalken är släckt eller osläckt och levereras lös eller finkrossad. Finkrossad osläckt kalk kan spridas relativt jämnt men tar längre tid att släcka och i regel krävs omfräsning följande dag.

4.7 Exempel på översiktliga riktlinjer för val av bindemedel

Flera olika stabiliseringsmedel har använts i Sverige genom tiderna t.ex. cement (fyra olika sorter), osläckt kalk, finsand och restmaterial från industrin (granulerad masugnsslagg). I nya undersökningar har man försökt att stabilisera organiska material med framgångsrika resultat.

För terrasstabilisering av t.ex. lermorän fungerar kalk erfarenhetsmässigt bra.

Kalk är ett mer komplicerat material i jämförelse med cement eftersom hållfastheten beror av mängden puzzolant reaktiva, material som finns i leran och det går inte att vinna mer genom att lägga till ytterligare kalk om det inte finns material att reagera med. Vattenkvoten i kalkstabiliserade jordar påverkar också hållfastheten, tester på detta utfördes 1962 av Dumbleton som kom fram till att hållfastheten minskar då vattenkvoten ökar. Detta gäller även i viss utsträckning för cementstabilisering (Sherwood 1993), stabiliseringen utfördes på "London clay".

Olika stabiliseringsmedel används för olika material som ska stabiliseras t.ex. kan cement användas i sand med låg plasticitet. I blandat material med mellanplasticitet kan cement, masugnsslagg, kalk eller blandningar härav användas. I slagg och leror med hög plasticitet kan företrädesvis kalk användas. Vid val av stabilisering i olika jordarter kan nämnas att i organisk jord som torv är cement eller cement-masugnsslagg -blandningar troligen lämpligast. I gyttja och gyttjig lera används idag med fördel kalk/cement baserade blandningar, och i sulfidhaltig lera fungerar cement troligen bäst. Slutsatsen av detta är att kalk- och cementstabilisering mer bör ses som komplement av varandra än som konkurrenter.

Syftet med att blanda olika produkter är att få en blandning som teknisk fungerar bättre än "ren" kalk (främst i gyttja i samband med djupstabilisering) och inte är dyrare, (miljöaspekter enligt kretsloppstänkandet i det fall att man kan påvisa nyttoanvändning av en produkt som annars skulle läggas på deponi).

Det finns inget som tyder på att det skulle vara någon större skillnad i långtidsstabilitet mellan olika stabiliseringsmedel (Åhnberg *et al* 1995). Hållfasthetstillväxten påverkas med tiden, den första månaden med temperaturen och med ökande mängd bindemedel. Vid användning av kalk som stabiliseringsmedel medför släckningsvärmets att temperaturen ökar. Detta gäller även för blandningar mellan kalk och cement.

Vid mycket höga vattenkvoter bör man utgå från enbart osläckt kalk eller i kombination med cement. Vid höga vattenkvoter används osläckt kalk eller cement. Vid låga vattenkvoter används släckt kalk, cement eller eventuellt kalkslurry vilket i Sverige dock är en okänd metod.

Då blöt kohesiv jord stabiliseras med cement ger inblandning av bindemedlet ofta problemet att jorden blir mer lerig innan bindningen skett. Det är därför som jordbehandling med cement mest används till sandiga och siltiga jordar. När jorden är behandlad med kalk blir blöt kohesiv jord lättare att arbeta med, som ett resultat av granulering (t.ex. att göra *stable crumbs*). Detta gör at

inblandning, av andra ämnen som cement och bitumen går lättare att arbeta med (Verhasselt 1997).

Om behovet av avvattning är stort (lös lera) bör man utgå ifrån blandningar av osläckt kalk. Om det krävs att bärighetsökningen skall vara stor, i princip större än effekten av avvattning, utgå från cement. Om erforderlig bärighetsökning är liten (om det i princip räcker med avvattning) görs en jämförelse mellan aktuella bindemedel. Erhållen stabiliseringseffekt, arbetsutförande, byggtider, tillgänglighet av bindemedel, kostnader och arbetsmiljö avgör då val av bindemedel (muntligt Andersson 1998).

5. Kalkstabilisering - för och nackdelar samt exempel

5.1 Nackdelar med kalkstabilisering

- Svårigheter kan uppkomma om lagret med kalk som fräses ned i jorden blir ojämnt. Men med dagens maskiner bör detta ej vara ett problem.
- Efterarbete som uppgrävningar kan ge sättningar om inte stabilisering utförs.
- Försiktighet skall iakttas och personlig skyddsutrustning ska användas vid osläckt (och släckt) kalk annars kan ge hudskador och brännsår.

Arbetsmiljö

Tidigare arbetsutförande vid stabilisering i Sverige har till stor del varit improviserade eftersom den kommit till användning vid akuta situationer som en sista utväg där andra metoder har misslyckats. Om metoden däremot är föreskriven eller det är i god tid känt att stabilisering med kalk ska utföras kan arbetet planeras på ett bra sätt.

Svårigheter som kan medföra problem vid kalkstabilisering;

- markens inhomogenitet
- felaktig tjockleksdimensionering
- dålig omblandning, vilket kan ge sprickor
- otillräcklig packning
- närvaro av organisk jords inverkan
- bristande gardering mot trafikens inverkan under den första tiden
- bristande kunskaper, eftersom metoden inte används i någon större utsträckning idag.
- tjälsäkerhet bör förprovas
- lång liggtid om puzzolanreaktioner behövs för att uppnå erforderlig hållfasthet

Andra problem som uppstått vid användandet av kalkstabilisering i pulverform är att man ej kan arbeta vid stark blåst. Men istället för kalk i pulverform kan man använda granulat som är grövre och med tiden ger samma resultat som i pulverform (muntligt Ericsson 1997).

5.2 Fördelar med kalkstabilisering

- A) Terrassen kan utan att deformeras användas för transporter, men först sedan en del av förstärkningslagermaterialet påförts som slitlager.
- B) Material för överbyggnad kan påföras och byggas in oberoende av vädret.
- C) Jordmaterial under det stabiliserade skiktet skyddas från vatten uppiifrån.
- D) Tjälfarligt jordmaterial hindras att tränga upp i överbyggnaden.
- E) Packningsgraden för samtliga skikt i överbyggnaden förbättras avsevärt.

B och C anses ge tidsvinster vid byggnation och D samt E ger den färdiga vägen längre livslängd och bättre bärighet, jämfört med traditionella byggmetoder.

Fördelar med kalkstabilisering är förbättrad styrka och bärighet i jorden, reduktion av svällning- och krympningsegenskaper, en ökning av beständigheten mot belastning från trafik och klimat, reduktion av fukthalt och en ökning i arbetbarhet samt förbättrad kompaktion av överliggande lager (Verhasselt 1997).

- Ökad bärighet hos jordmaterial och stabilitet under bankfyllnad.
- Minskade kostnader och resursförbrukning genom minskad överbyggnadstjocklek.
- Minimerad jordkompression.
- Minskat flöde eller migrationen av undre ytans fuktighet.
- En stabil plattform att arbeta på.
- Minskade sättningar och minskade skillnader i sättning.
- En hjälp till mekanisk kompaktion av jorden och att minska expansionen hos jorden.
- Möjligheten att kunna arbeta med kalkstabiliseringen även dagen efter man lagt ut den d.v.s. om fräsning är möjlig, till skillnad mot cement som måste läggas på plats med en gång.
- Kalk är ett utmärkt material att arbeta med på stora öppna ytor.
- Snabbtorkning av blöt jord

Runt om i Europa håller man nu på med att producera "*European Standards for lime treated materials*" (kalkbaserade material) liksom för "*hydraulic road binders*" (cementbaserade material) för att få en enhetlighet på kraven för utförande metoden.

Restmaterialen ska dels ha minst samma effekt, dels vara miljömässigt ofarliga enligt VÄG 94.

5.3 Miljö och naturresurser

Kalkstabilisering passar väl in i ett kretsloppsamhälle. Genom metoden förädlas befintlig jord och omvandlas till duglig byggnadsjord. Transporterna minskas, uttag av naturresurser minskar och deponier undviks. Men man bör dock ha i åtanke att kalk även är en naturprodukt som kräver kalkbrott för uttag även om mängderna är mycket mindre.

Vägverket och flera kommuner föreskrev 1975 kalkstabilisering för att minska schaktkostnader och för att spara grus. Grustillgångarna i Sverige är begränsade om hänsyn tas till naturvårdsintressen och behov av grundvattenreservoarer. Detta gör att det finns bristområden där man kan spara både pengar och grus genom att utnyttja kalkstabiliseringsteknikens fördelar genom att göra sådant material som normalt, inte får finnas i överbyggnaden användbara till förstärknings- och bärlager (Assarson 1975).

Förstärkning av terrass betyder lägre schaktkostnader, eftersom man kan lämna kvar material motsvarande tjockleken på det skikt som ska stabiliseras. Man sparar även borttransport av dessa massor liksom transport- och materialkostnaden för förstärkningslagermaterial, som skulle ersätta det kalkstabiliserade skiktet. Består terrassytan av material i bank kan man överslagsmässigt räkna med att kostnaden för det skikt som skulle stabiliseras med kalk inte överstiger summan av transport- och materialkostnaden för motsvarande skikt-tjocklek av förstärkningslagermaterial. Dessutom minskar miljöpåverkan genom minskad användning av grus och bergkross. Men man har fortfarande transportkostnader för kalken samt miljöpåverkan från både transport och från kalkbrotten.

5.4 Exempel på utförd kalkstabilisering

Både lyckade och misslyckade ytstabiliseringar av terrasser har utförts, nedan följer ett par exempel.

Redan 1964 gjordes den första stora ytstabiliseringen exploateringsområde på västsvensk lera. Området skulle bebyggas med källarlösa tvåplansvillor, vilka stabiliserades några månader innan betongplattorna för husen gjöts. Efter stabilisering försågs alla blivande gator med grusbärlager som fick tjänstgöra som slitlager under byggtiden. Ledningsarbeten utfördes efter stabiliseringen och samtidigt med gjutningen av betongplattor för villorna. Trots att ledningsgravar togs upp under en mycket regnig period förekom inga ledningsras (Assarson 1975). Projektet får anses som lyckat.

Vid stabilisering i Linköping lade man på ett för tjockt lager kalk som krävde tillförsel av vatten, vilket i sin tur gav en "gungflyeffekt" vilket medförde att maskinerna sjönk och satte sig.

I Staffanstorp utfördes kalkstabilisering där man efter stabiliseringen grävde ledningsgravar. Vid återfyllnaden uppstod problem då man valde att fylla igen med ostabiliserat material vilket efter en tid gav sättningar. Detta hade troligen kunnat undvikas om man ävent utfört stabilisering av återfyllningen.

Idag (1998) planeras kalkstabilisering på Väg E6, Yttre ringvägen i Malmö som följd av krav på ökad bärighet enligt VÄG 94. Genom ett samarbete mellan Scandiaconsult Bygg och Mark AB i Malmö, Lunds Tekniska Högskola avd. för Geoteknik, Vägverket Region Skåne, Cementa AB och Skanska AB har ett fullskaleprojekt av terrasstabilisering påbörjats. Idag (1998) utför Svedab (PEAB) stabilisering av terrasser för Öresundförbindelsens landanslutningar.

5.5 Resultat av inledande laboratorieundersökningar av stabiliserad lermorän

Eftersom detta projekt har haft en tyngdpunkt mot stabilisering av lermoräner utfördes ett antal laboratorieundersökningar och inblandningsförsök med olika stabiliseringsmedel. Såväl bränd som släckt kalk testades, liksom cement och slaggaska. Dessutom testades i viss utsträckning olika inblandningsmängder. Laboratieförsöken utfördes vid SCC -Viateks geotekniska laboratorium i Finland.

Jordmaterialet utgjordes av ett blandprov och ett enskilt prov till vilka olika stabiliseringsmedel enligt ovan testades. På proverna bestämdes kornstorleksfördelning, organisk halt, naturlig vattenkvot och densitet. (De redovisade organiska halterna är inte reducerade för förluster pga jordens kalkinnehåll). Proverna packades i proctor. På varje inblandning utfördes dubbelprov. Provkropparna testades med avseende på tryckhållfasthet. Resultaten redovisas dels som en sammanställning, dels som grafer med deviatorspänning mot töjning för varje test, i bilaga 1-7.

Resultaten visar att en kraftig hållfasthetsökning erhöles för samtliga stabiliseringsmedel. Störst förefaller den vara vid stabilisering med blandningar av bränd kalk och cement eller med släckt kalk och "Finnstabi" (ett medel som framgångsrikt använt i Finland vid massastabilisering och som huvudsakligen är en blandning av cement och aska).

Ytterligare försök har utförts för byggandet av yttre ringvägen, dels inom ramen för de aktuella projekten dels inom ramen för ett SBUF projekt (SKANSKA - Jim Bengtsson).

5.6 Rekommendationer för fortsatta undersökningar

Det krävs att fler undersökningar och tester görs för att en säker behandling av ytstabilisering med kalk/cement skall kunna uppnås i framtiden.

Ny erfarenheter tillkommer från de pågående projekten som bör tas till vara och spridas. Dessutom pågår doktorand arbeten och examens-arbeten vid LTH med denna inriktning som kommer att tillföra ytterligare kunskap. En fortsatt och utökad omvärldbevakning bedöms också kunna ge värdefulla tillskott. Vid en utvärdering av dessa erfarenheter kan troligen ytterligare forskningsbehov identifieras. En rimlig målsättning borde kunna vara att ge ut en svensk handbok i ämnet.

Det viktigaste i den närmaste framtiden borde vara att se till att de erfarenheter som nu erhålls verkligen tas till vara, samordnas och sprids. En oberoende arbetsgrupp under SD med uppgift att följa utvecklingen kunde vara ett bra sätt för detta. Även så dåliga erfarenheter är viktiga, kanske viktigast och de bedöms vara lättare att föra fram opartiskt i en sådan grupp.

Målsättningen med ytstabilisering bör på sikt vara att undersöka om den stabiliserade jorden på något sätt kan medräknas som en del av vägens överbyggnad för att på så sätt minska behov av grus och krossmaterial i vägbyggen. Detta innebär att omfattande beständighets och tjältester krävs.

5.7 Rekommendationer till förundersökningar vid ytstabilisering

Det är av stor vikt att tillräckliga förundersökningar utförs i olika skeden innan en stabilisering utförs, varav en del har nämnts ovan. I de rapporter som redovisar utfallet av nu utförda fullskaleförsök och produktionsstabilisering kan mer kompletta rekommendationer ges till vilka undersökningar som måste utföras. Det är dock dessutom troligt att förundersökningsprogrammet till vissa delar måste bestämmas av de rådande förhållandena på platsen.

Nedan ges dock vissa preliminära råd:

- Terrassen och i viss mån underliggande jords geotekniska egenskaper och deras variation måste vara kända. Detta innebär åtminstone bestämning av jordart, vattenkvot, organisk halt, lerhalt samt fasthetens variation mot djupet. Dessutom bör MCV-värdet bestämmas.
- Inblandningsförsök för bestämning av stabiliseringsmedel och inblandningsmängd måste utföras. Dessa måste utföras så att de täcker alla de rådande geotekniska förhållandena. MCV prov på stabiliserad jord kan ge besked om packbarhet. Det är viktigt att den stabiliserade jorden inte blir för styv utan går att packa.
- I samband med produktionen, strax före, bör kompletterande undersökningar utföras, bl a för att verifiera att de i förundersökningen angivna värdena fortfarande är gällande. Ex vis kan vattenkvoten ändras i en framschaktad terrass. Härvid bestäms huruvida recepten behöver justeras, för-vattning krävs mm.
- Stabiliseringsarbetet bör inledas med en provyta där man noggrant kontrollerar inblandningsmängd och djup, hållfasthetstillväxt och resultat på bärigheten innan man fortsätter med produktionen.

6. Diskussion

Frågor man bör ställa sig vid en fortsatt användning av kalkstabilisering är:

När kan det betala sig att använda sig av kalkstabilisering?

Vem får ta del av gjorda besparingar, upphandlingsproblematik ?

Var lämpar det sig att använda olika typer av stabilisering?

För att stabiliseringsmetoden ska bli attraktiv att arbeta med, måste regler för dimensionering samt utförande vara klara och accepterade av såväl beställare som konsulter och entreprenörer som tänkt sig att använda den.

Vilket som är den teknisk och ekonomiskt optimala lösningen måste avgöras från fall till fall, härvid bör man se till att utföra omfattande förprovning och inblandningsförsök mm på samma sätt som görs för djupstabilisering.

En avgörande framgångsfråga för metoden torde vara möjligheten att tillgodoräkna sig de stabiliserade jordlagrens (terrassens) ökade hållfasthet och styvhet vid dimensioneringen av övriga överbyggnadslager. Detta kan låta sig göras vid någon form av analytisk dimensionering. Det ställer också krav på verifieringsmetoder samt på utredning av beständighets och tjälproblematiken.

7. Referenser

- Aktieselskabet Faxe Kalkbrud, 1983; Jordbundsstabilisering med kalk. Information.
- Assarson, K. G., 1975; Stabilisering med kalk. *Särtryck ur Cementa nr. 3/1975*, Cementa AB, 1974; *Stabilisering och jordmaterialförbättring med kalk*. Cementa AB, Utvecklingssektorn.
- 1972; Stabilisering och jordförstärkning med kalk, Svenska Cementföreningen, Malmö. *Cement och Betong 1972: 1*.
- 1959; Jordstabilisering med kalk. *Cement och Betong nr. 3*.
- Ballantine, R. W. and Rossouw, A. J., 1989; Stabilization of soils. A practical manual detailing up-to-date techniques in all aspects of the subject. *PPC LIME Ltd.*, Johannesburg.
- BYA 84, 1984; Byggnadstekniska föreskrifter och allmänna råd, Vägverket Utvecklingssektionen, TU 154.
- Cementa, 1974; 2 Kalkdosering och kalksläckning. Cementa informerar om kalk, SfB Yq 1. Greaves,
- Gullhögen Handbok, 1971; Jordstabilisering med cement och kalk. SfB C5. Gullhögens Bruk.
- Little, D. N., 1995; Handbook for stabilization of pavement subgrades and base courses with Lime. *The National Lime Association, USA*.
- National Lime Association, 1987; Lime stabilization constructional manual, Bulletin 326. USA.
- Kirk, J. M., 1976; Forsøg med stabilisering af mager moræneler. Intern rapport Nr. 40, Asfaltindustriens Vejforskningslaboratorium.
- Leijonhufvud, S., 1974; Introduktion, Begreppsförklaringar utdrag ur *BYA och Mark AMA*. Cementa AB.
- Phil, H. och Kuusipuro, K., 1997; *Kalk och kalkstabilisering*, Partek Nordkalk AB.
- Sherwood, P., 1993; Soil stabilization with Cement and Lime. State of the Art Review.
- Thagesen, B., 1971; Jordforbedring med kalk. Laboratorierapport 4. Statens Vejlaboratorium, Roskilde.
- Vejdirektoratet, 1990; Enterprise 15.14. Jordarbejder km 78.500 - 86.540. Skolesti ved

- Ottestrupvej, Krøjerup Overdrev Vej, Bro 56 underføring for Krøjerup Overdrev.
Særlige betingelser og beskrivelser. Anlægsområdet, Motorvejskontoret.
- Verhasselt, A., 1997; Lime-Cement stabilization of wet cohesive soils. Belgian Road Research Center, Belgien.
- Åhnberg, H., Johansson, S. E., Retelius, A., Ljungkrantz C., Holmqvist, L. och Holm, G., 1995; Cement och kalk för djupstabilisering av jord. En kemisk - fysikalisk studie av stabiliseringseffekter. *Statens Geotekniska Institut. Rapport nr. 48*, Linköping.
- Andersson, R., 1998: Cements AB, Malmö. (Muntligt)
- Ericsson, E., 1997; Skanska AB Lund (Muntligt)

Bilagor

Redovisning av utförda laboratorieundersökningar.

Scandiaconsult Bygg och Mark Ab
Stefan Gustafsson

MALMÖ STABILIZATION TESTS

1. Initial tests

Grain size distributions of the materials are shown in the appendix number 1. They were determined by using hydrometer analysis. Only sample 2 (8,2 m) was tested by hydrometer analysis and grading. The material was washed before grading.

Ignition loss, water content and density are shown in the appendix number 2. Ignition loss was determined in oven. Temperature of the oven was 800 °C and the sample was there about 1,5...2 hours. Water content was determined by drying the sample in oven. Temperature was 105 °C. Density was determined by compacting the material to a cylinder using Proctor-rammer. We couldn't do the Proctor compaction test because the amount of sample wasn't big enough.

2. Making specimens

Because we didn't get the sample very much, the samples (from points 2,3 and 7) mixed and the specimens were made of that mixture. The sample from point 6 was different as the other samples and that's why it didn't mix with the others.

Moisture content of the materials was initial. We didn't dry or add water for it. The specimens were made by using Proctor-rammer. Work of the compaction was constant and the material was compacted in the 3 layers to the cylinder. Volume of the cylinder was 280 cm³. The material of point 6 was compacted by dropping Proctor-rammer 4 times on the first layer and 5 times on the second and third layers. The material of the points 2, 3, and 7 was compacted by dropping Proctor-rammer 3 times on the first layer and 4 times on the second and third layers. Every sample and binder mixture was made to 2 similar specimens. The height of all the specimens was 77 mm and the diameter was 68 mm.



3. Storage conditions

The specimens stored 28 days in the room temperature and they was surrounded by 2 plastic bags.

4. Compression tests

Unconfined compression strength of the specimens was determined by using speed of compression 2 mm / minute. Before the tests density of the all specimens was measured and after the tests the water content was determined of every specimens.

Unconfined compression strength, water content and density of specimens are shown in appendix number 3. The test results are average values of 2 specimens.

There are shown in appendix number 4. the deviator stress versus axial strain. There aren't the specimens of mixture bränd kalk and slagg 1:1 because we didn't save the data of the test. We caught only the maximum of force.

17.2.1997 in Luopioinen, Finland



Marjo Ronkainen
M.Sc. (Eng.)

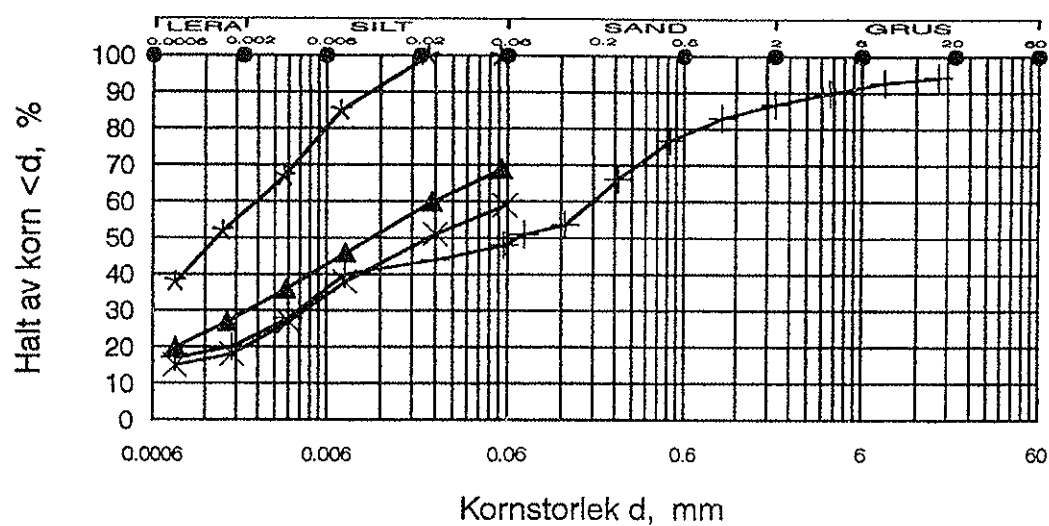
Viatek Group Ltd / SGT
Vohlisaarentie 2
FIN-36760 LUOPIOINEN
FINLAND

Tel. +358-3-536 1571
Fax +358-3-536 1584

VIATEK / SGT

11.2.1997

Malmö yttre ringväg



+ Pg 2 8,2 m × Pg 3 2,5 m
 * Pg 6 4,3 m ▲ Pg 7 3,2 m

MALMÖ (OSTABILISERAD PROVER)

Provgrop	Djup [m]	Glödnings förlust [%]	w [%]	ρ [kg/m ³]
2	8,2	9,1	13,8	2230
3	2,5	8,5	13,0	
7	3,2	13,5	13,2	
6	4,3	9,7	21,0	2080

MALMÖ INBLANDNINGSFÖRSÖK
28 DYGN EFTER INBLANDNING

Prov	Bindemedel	0 kg/m ³			60 kg/m ³			100 kg/m ³		
		σ [kPa]	ρ [kg/m ³]	w [%]	σ [kPa]	ρ [kg/m ³]	w [%]	σ [kPa]	ρ [kg/m ³]	w [%]
blandning Pg 2, 3 och 7	-	110	2175	12,4						
	bränd kalk							1105	2032	9,2
	släckt teknisk kalk							1459	2116	11,0
	bränd kalk + Ce 2:1							2362	2191	9,6
	släckt teknisk kalk + Ce 2:1							2140	2182	11,1
	släckt teknisk kalk + slägrester 1:1							1664	2168	11,2
	bränd kalk +slagg 1:1							2235	2180	9,9
Pg 6	släckt teknisk kalk + slagg 1:1							2106	2193	10,8
	släckt teknisk kalk + Finnstabi 1:1							2957	2152	11,0
	-	541	2004	22,3						
	bränd kalk				1589 ¹⁾	1979	21,3	1610	1982	19,4
	släckt teknisk kalk				1073 ¹⁾	1982	21,7	1228	1933	19,5
	släckt teknisk kalk + Ce 2:1							2506	2007	21,0

¹⁾ = Bara ett provstycke

σ = Tryckhållfasthet

ρ = Densitet

w = Vattenkvot

Job: MALMO

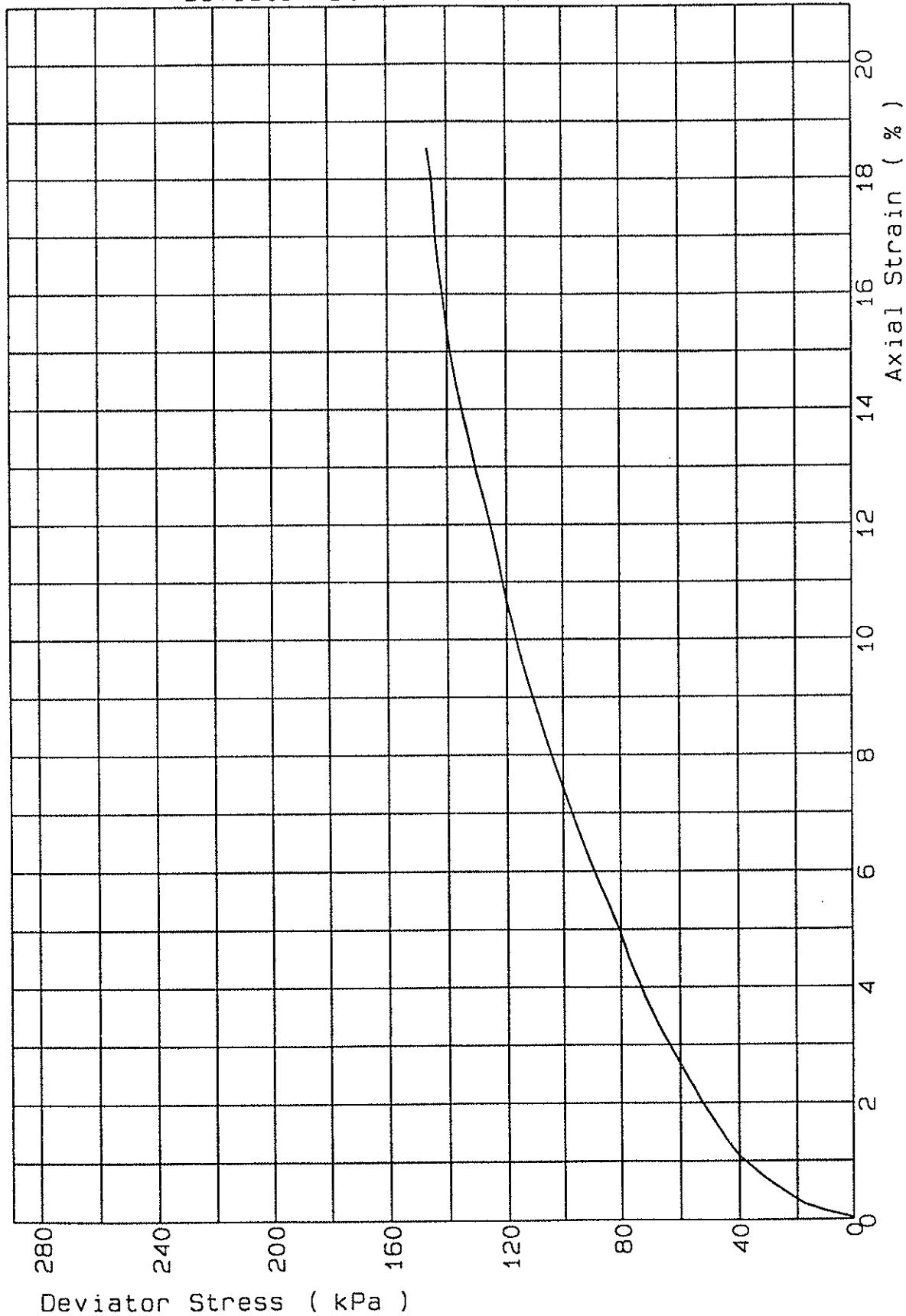
BoreHole:

Triaxial Undrained Shear Inc.No. 1

Sample: MM-0/A

Depth:

Deviator Stress v Axial Strain



Job: MALMO

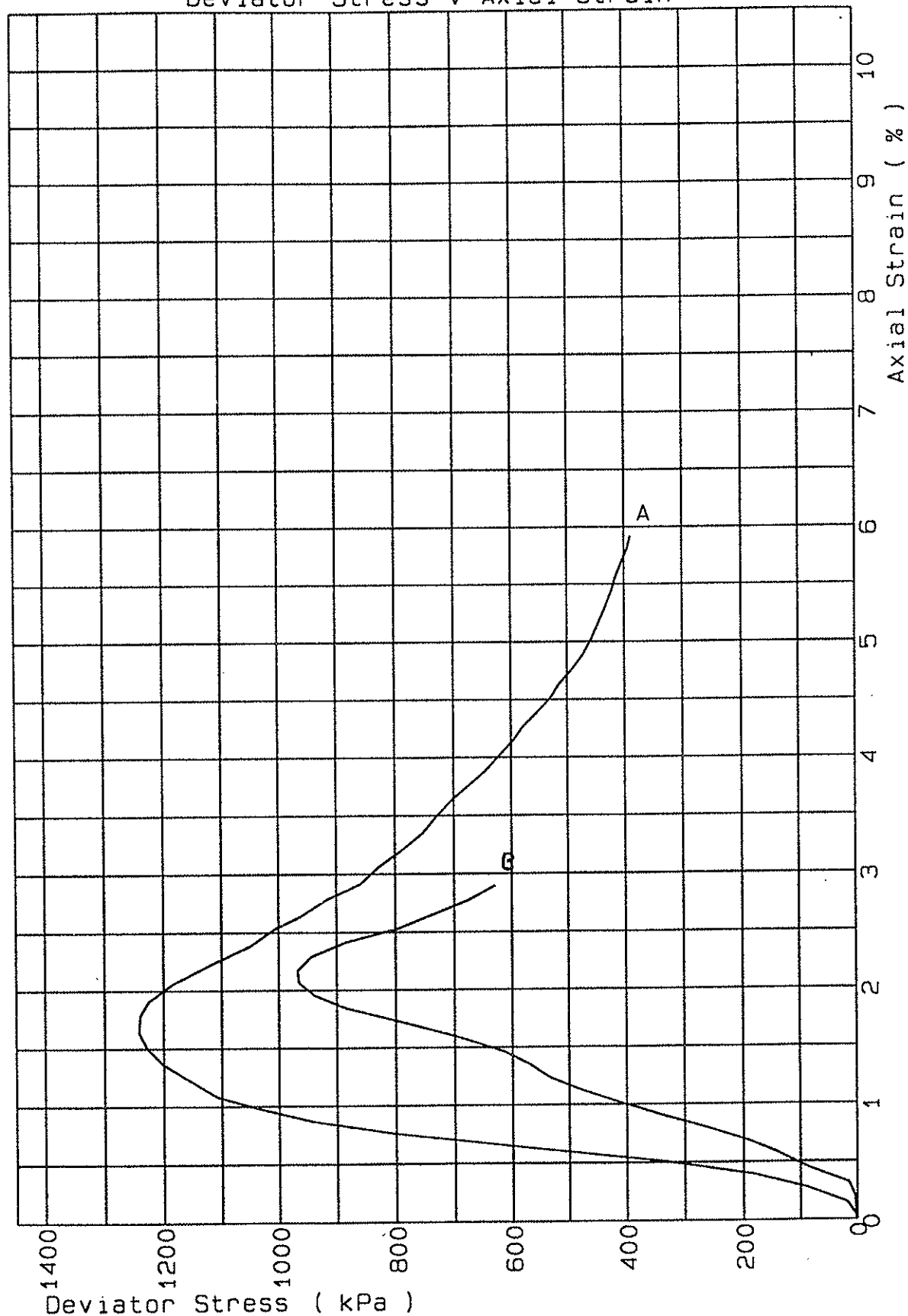
BoreHole:

Sample: MM-1

Depth:

Triaxial Undrained Shear

Deviator Stress v Axial Strain



Job: MALMO

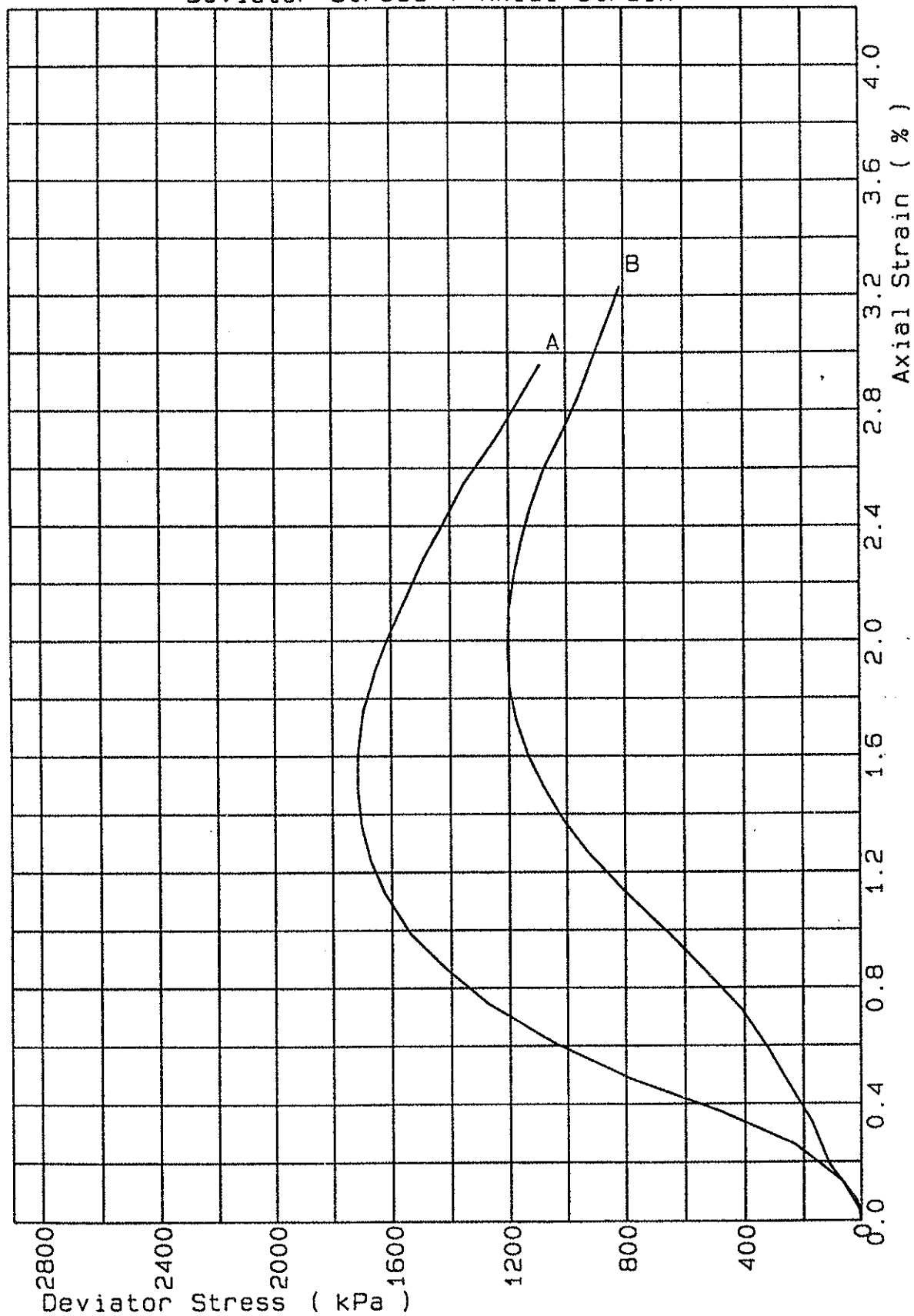
BoreHole:

Sample: MM-3

Depth:

Triaxial Undrained Shear

Deviator Stress v Axial Strain



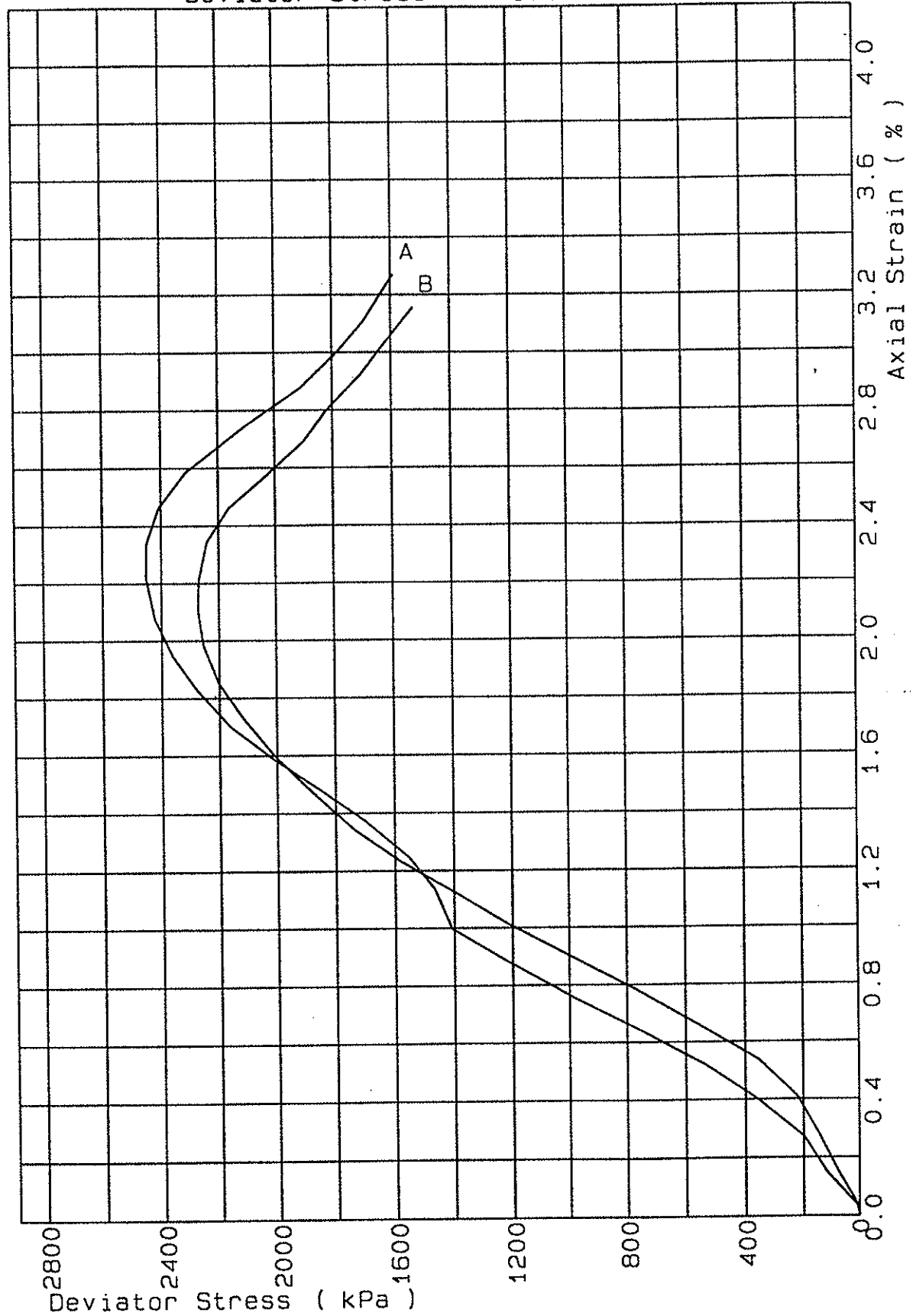
Job: MALMO

BoreHole:

Sample: MM-5

Triaxial Undrained Shear
Depth:

Deviator Stress v Axial Strain



Job: MALMO

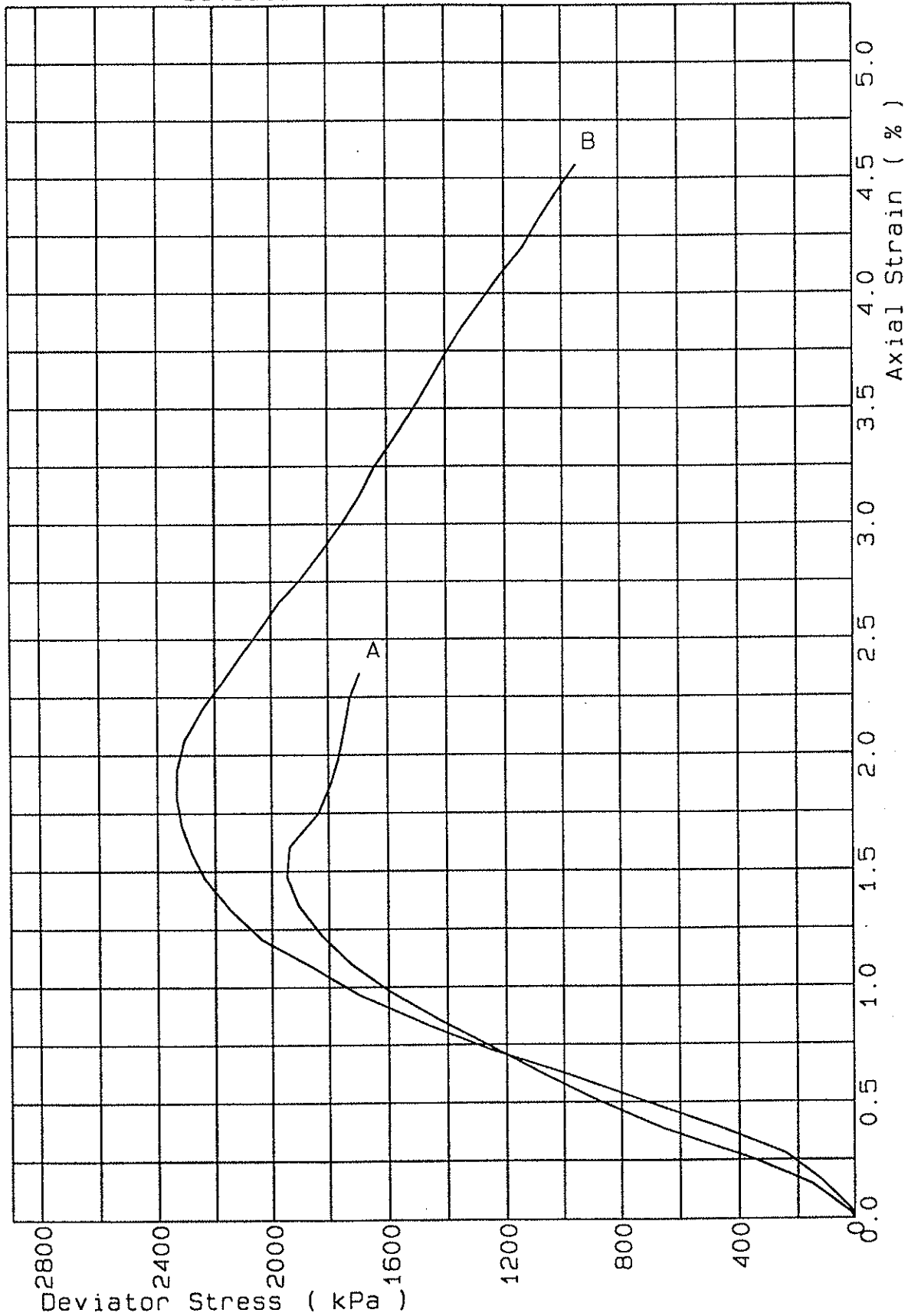
BoreHole:

Sample: MM-7

Depth:

Triaxial Undrained Shear

Deviator Stress v Axial Strain



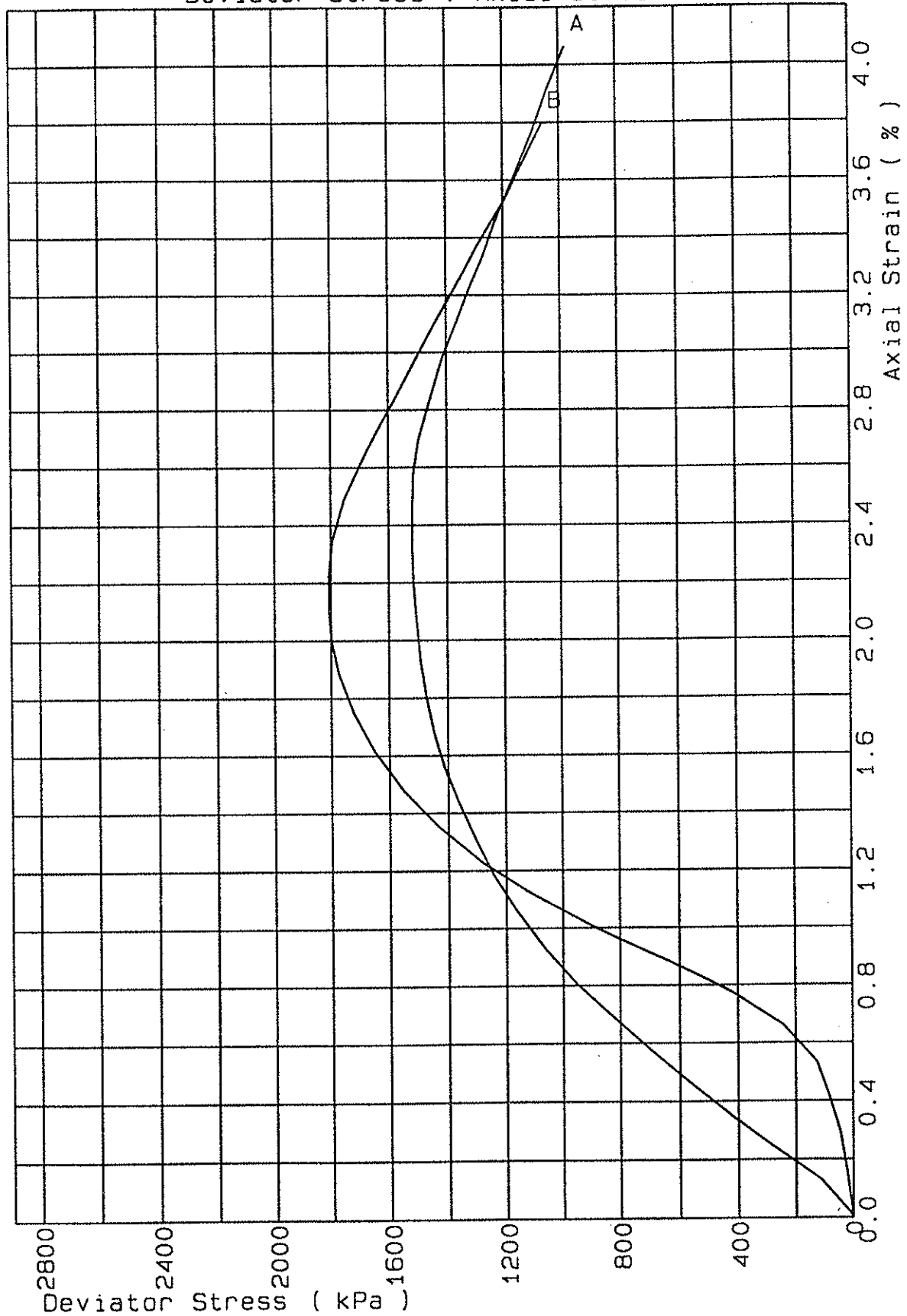
Job: MALMO

BoreHole:

Sample: MM-9

Triaxial Undrained Shear
Depth:

Deviator Stress v Axial Strain



Job: MALMO

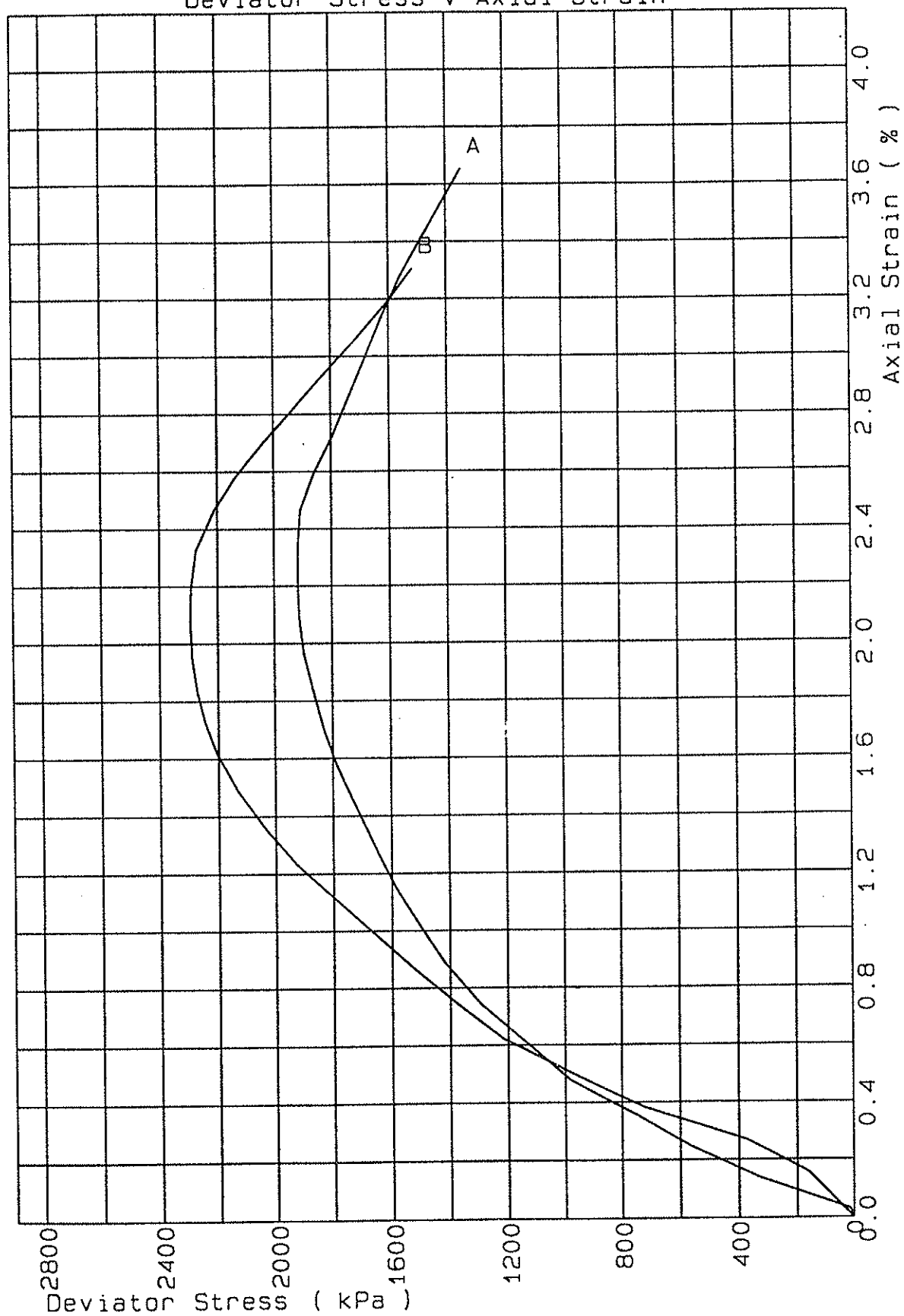
BoreHole:

Sample: 13

Depth:

Triaxial Undrained Shear

Deviator Stress v Axial Strain



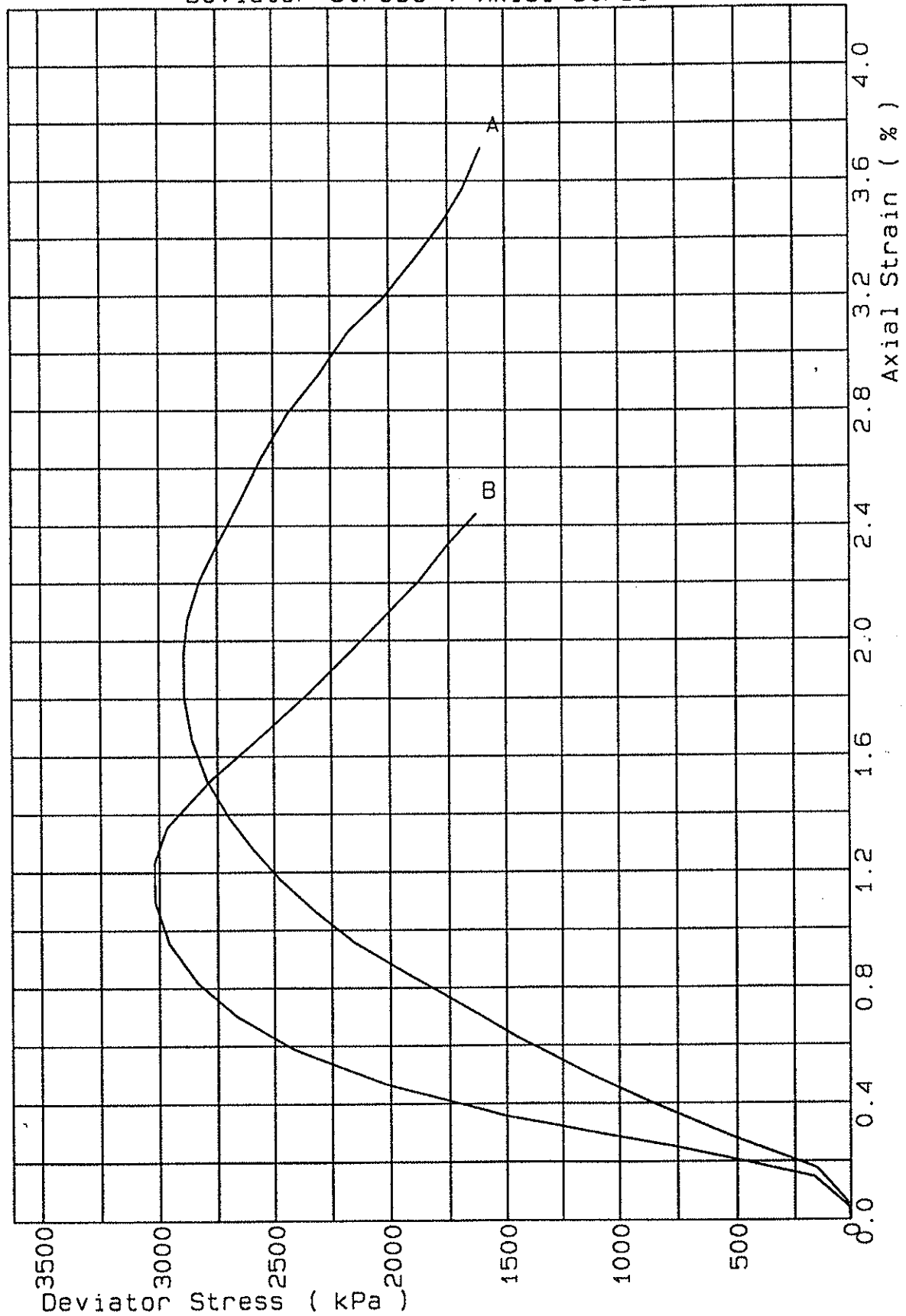
Job: MALMO

BoreHole:

Sample: MM-15

Triaxial Undrained Shear
Depth:

Deviator Stress v Axial Strain



Job: MALMO

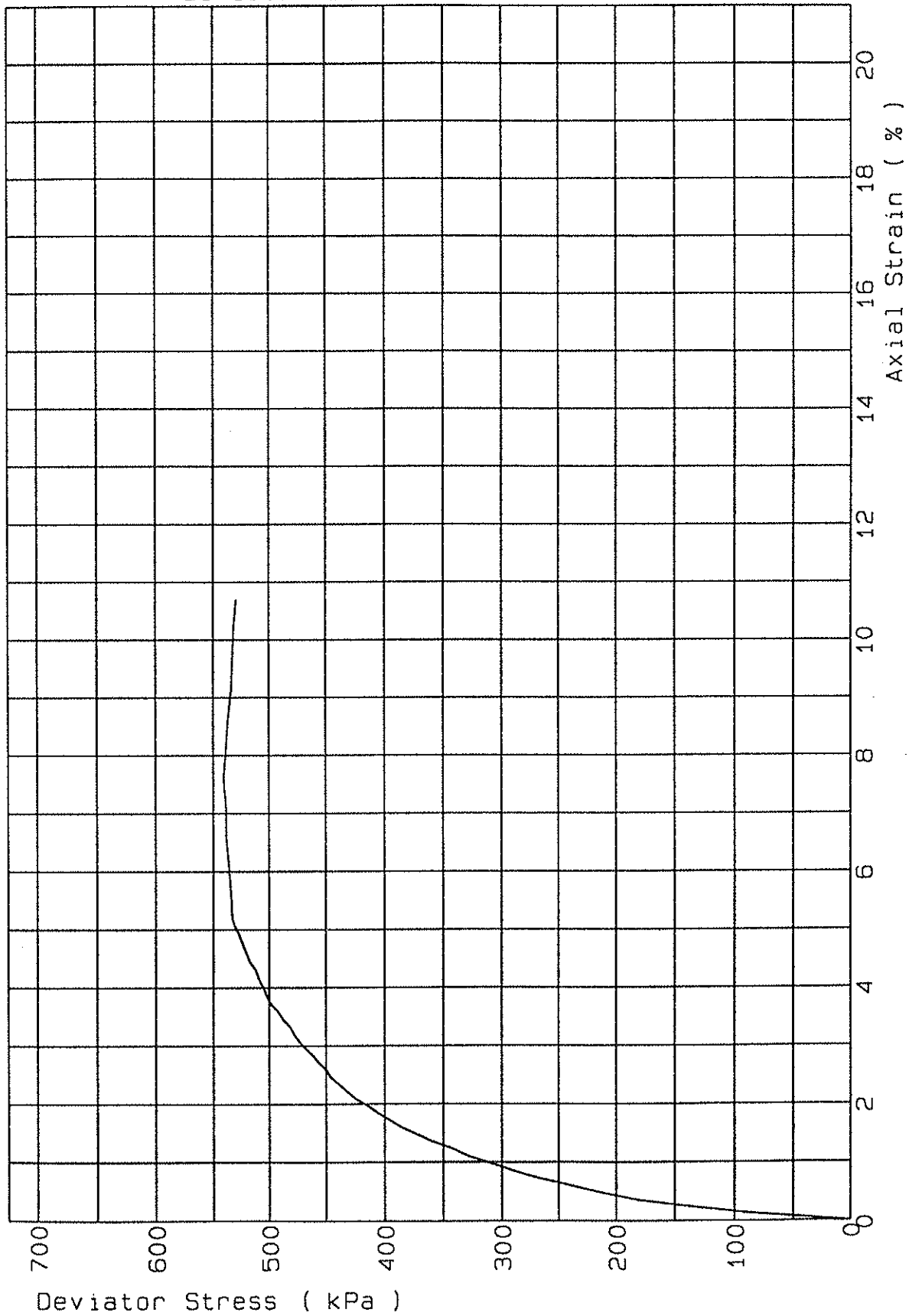
BoreHole:

Triaxial Undrained Shear Inc.No. 1

Sample: MM-22/A

Depth:

Deviator Stress v Axial Strain



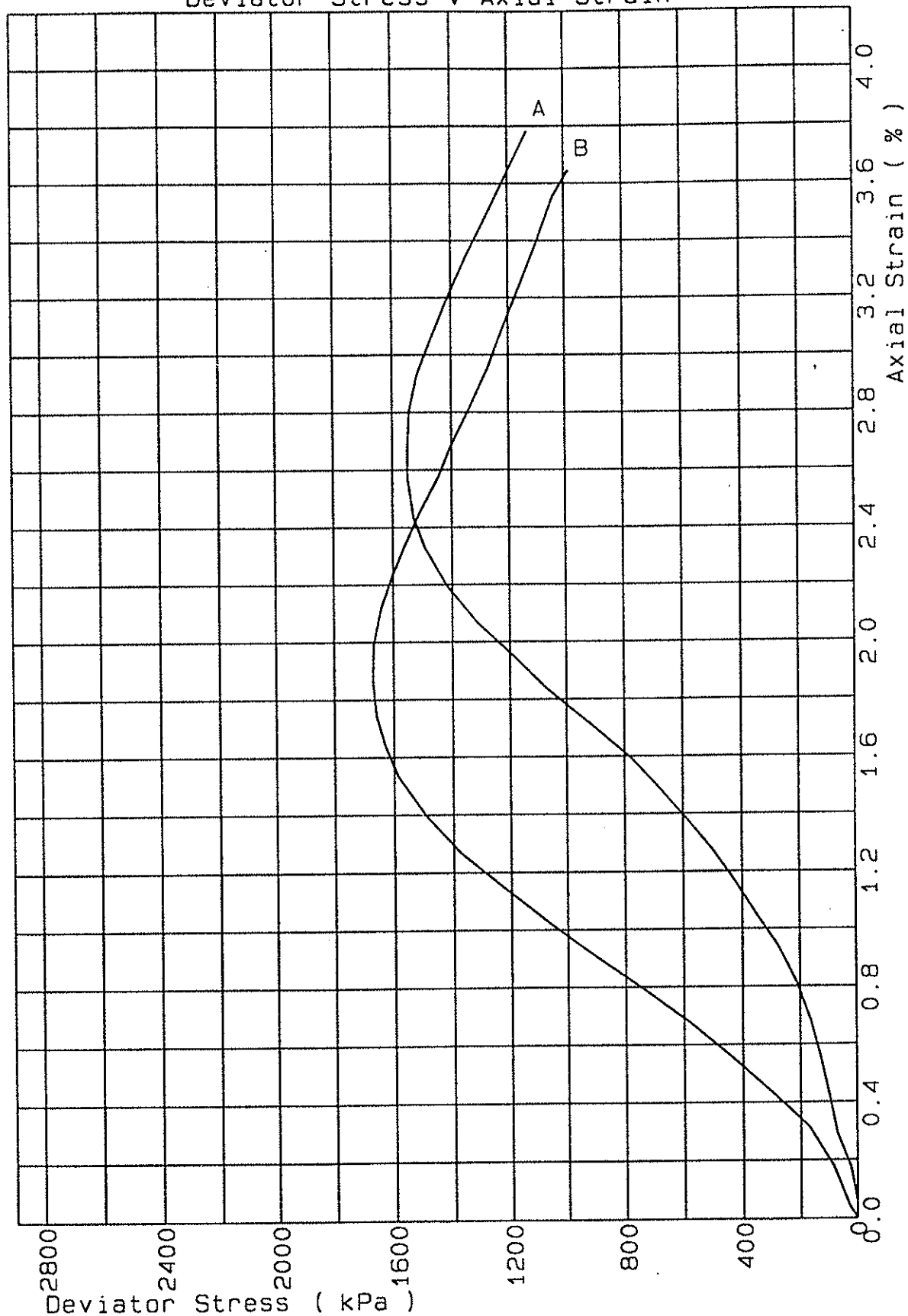
Job: MALMO

BoreHole:

Sample: MM-23

Triaxial Undrained Shear
Depth:

Deviator Stress v Axial Strain



Job: MALMO

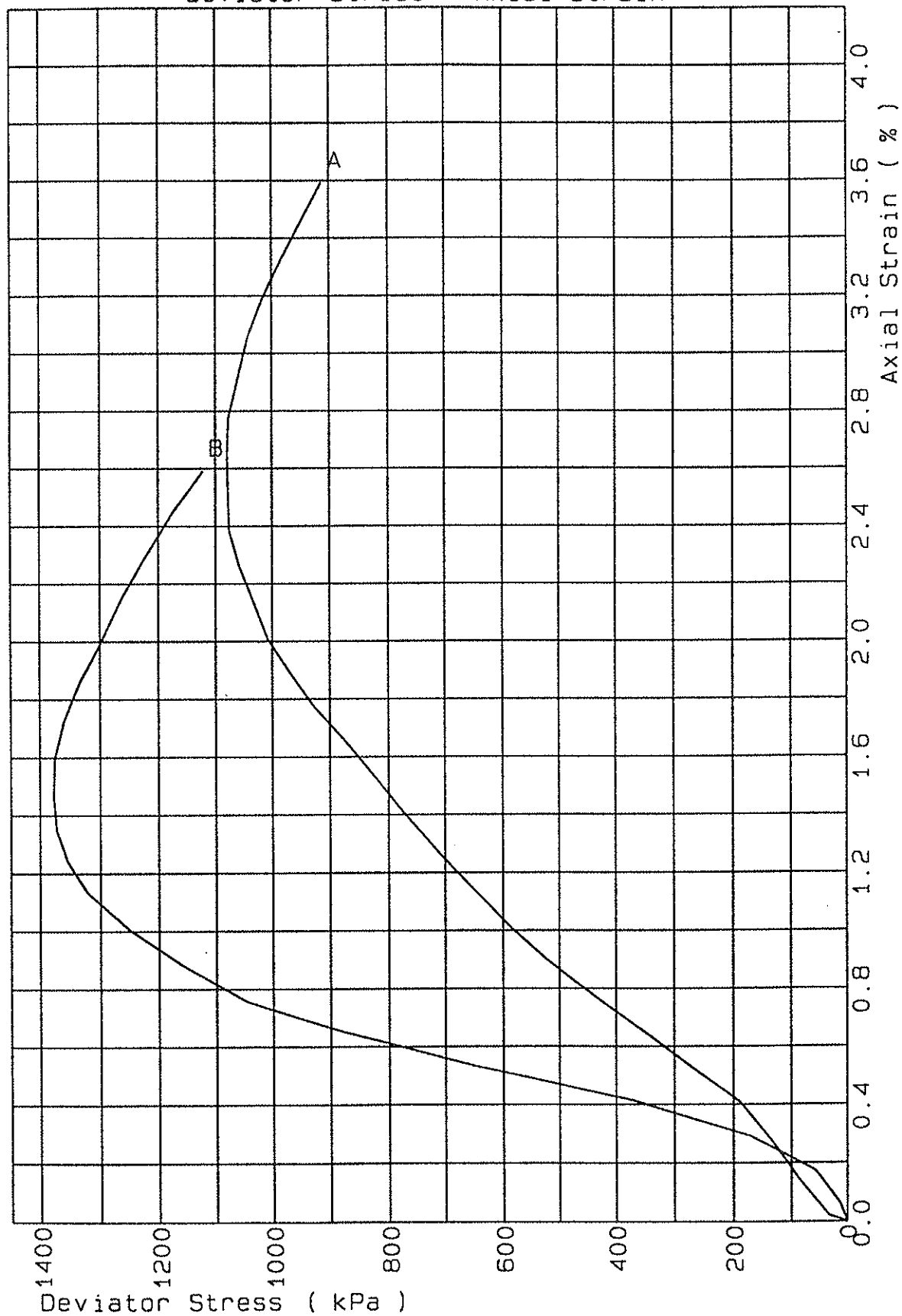
BoreHole:

Sample: MM-25

Depth:

Triaxial Undrained Shear

Deviator Stress v Axial Strain



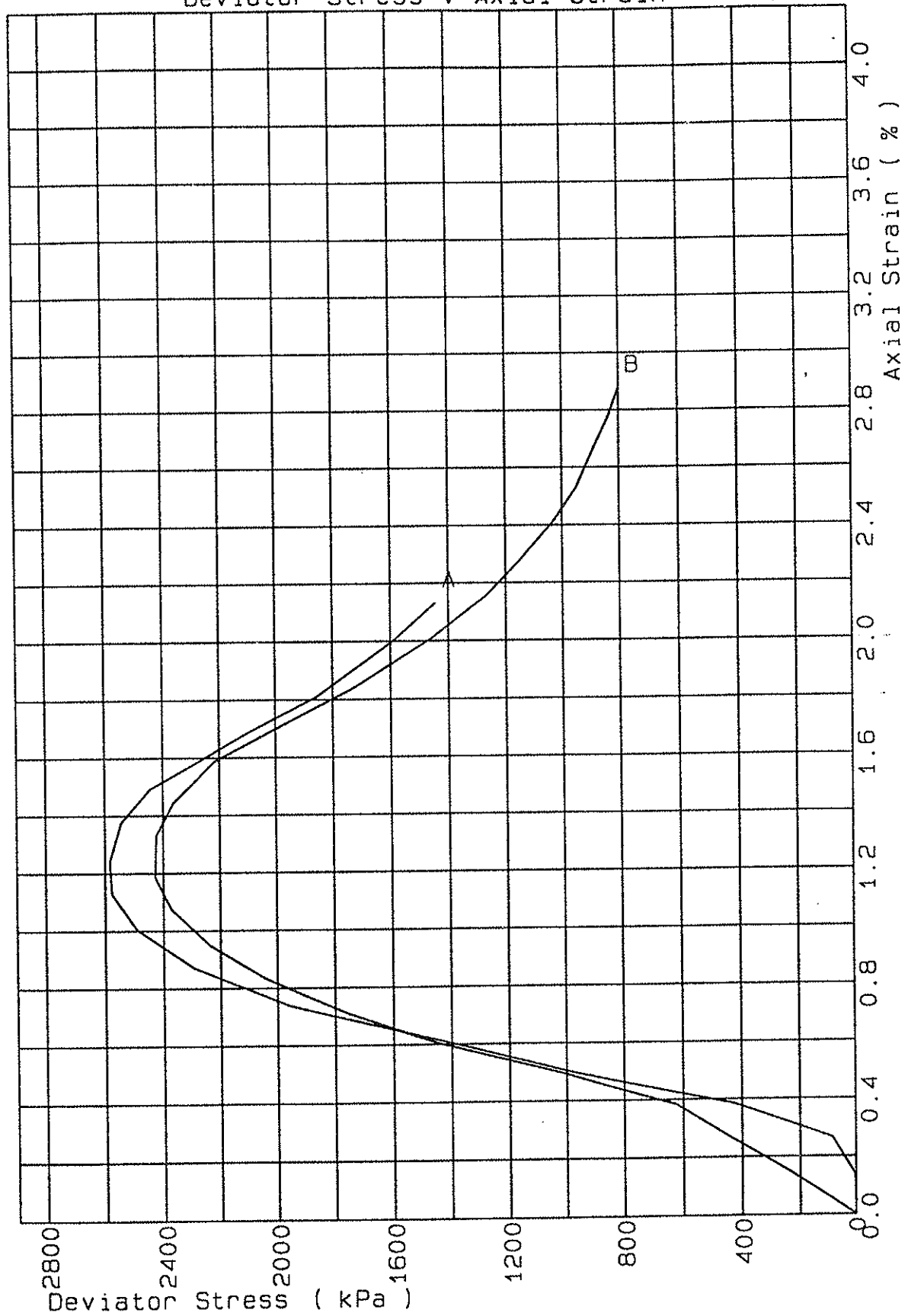
Job: MALMO

BoreHole:

Sample: MM-27

Triaxial Undrained Shear
Depth:

Deviator Stress v Axial Strain



Job: MALMO

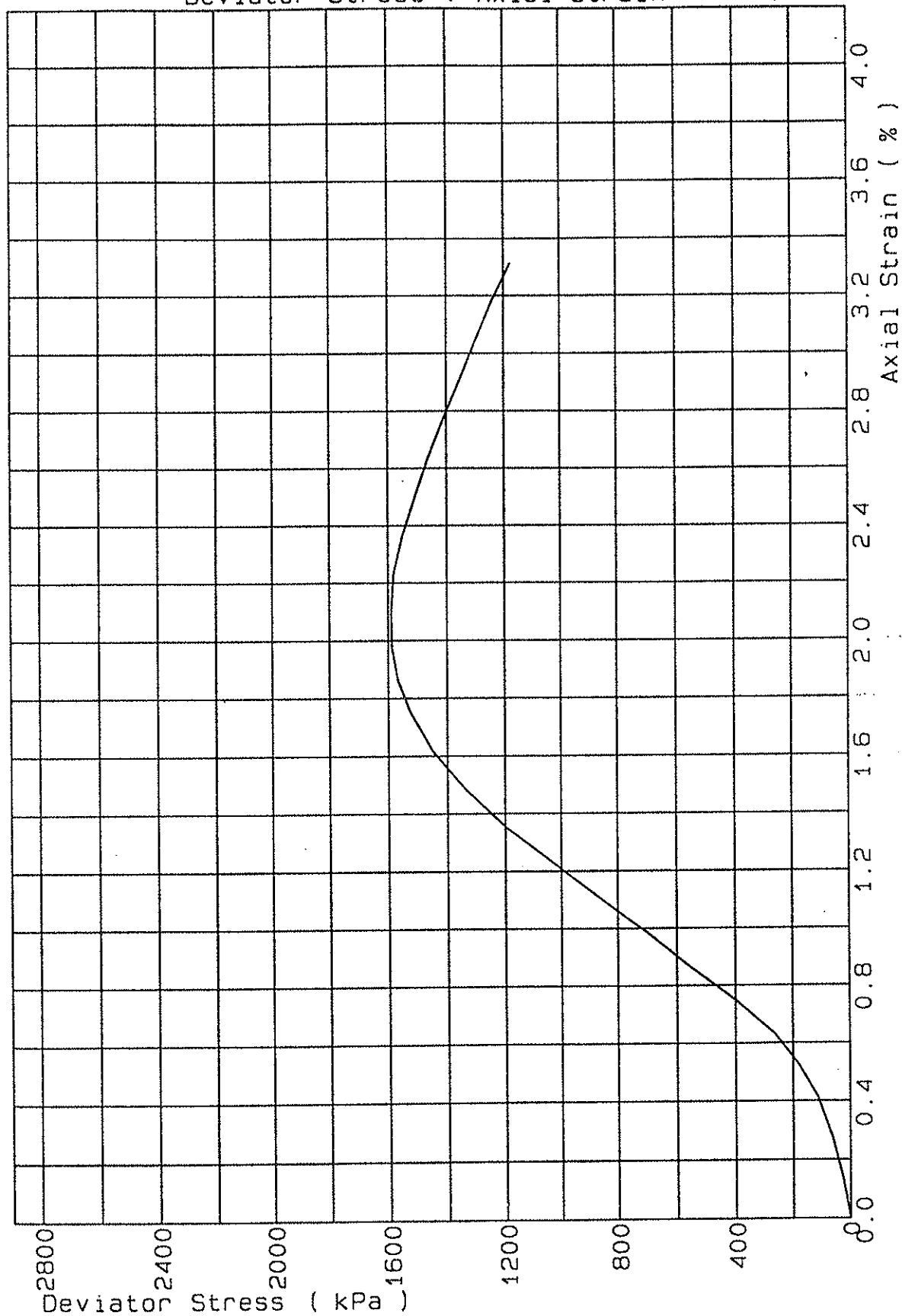
Triaxial Undrained Shear Inc.No. 1

BoreHole:

Sample: MM-29/A

Depth:

Deviator Stress v Axial Strain



Job: MALMO

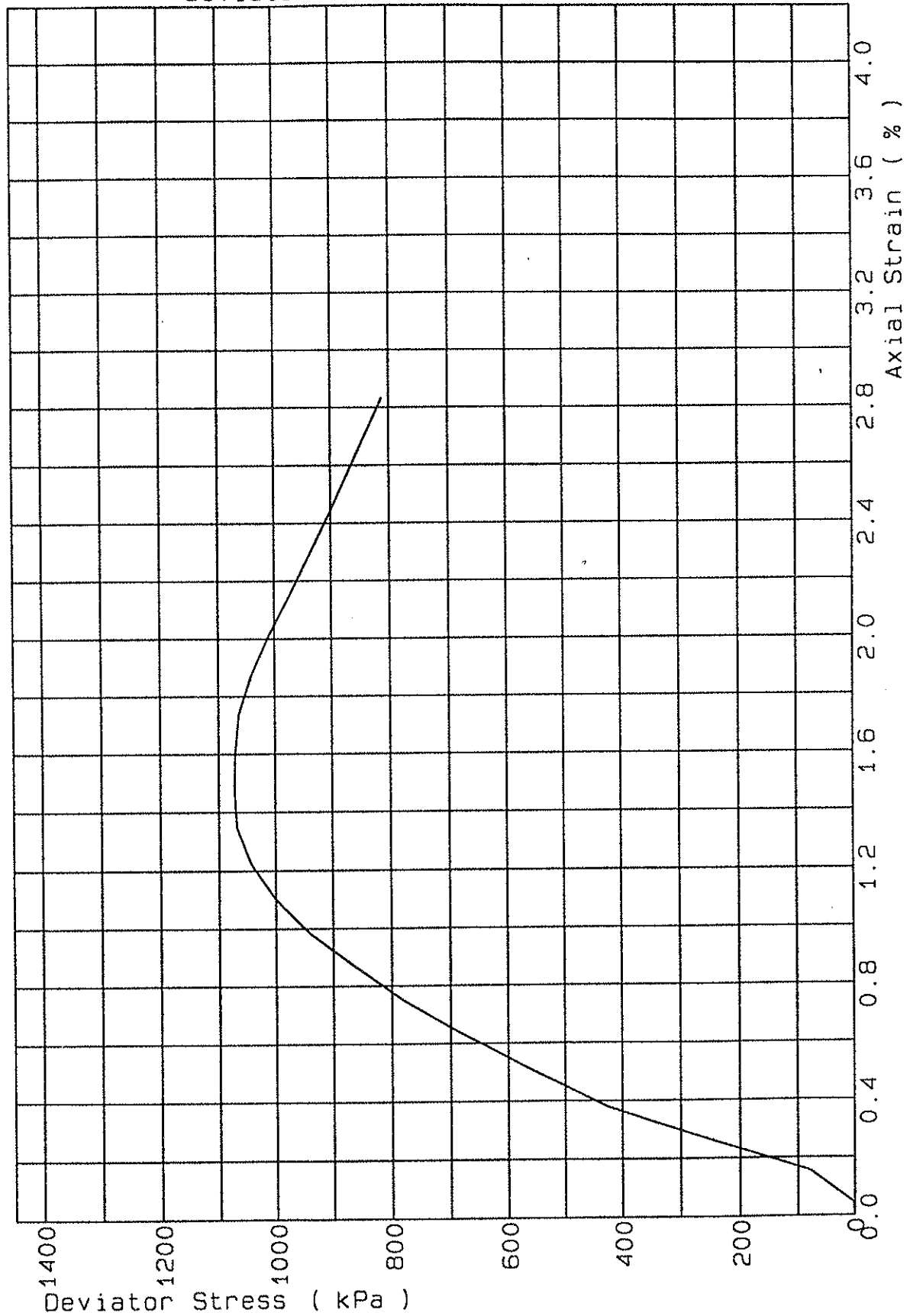
Triaxial Undrained Shear Inc.No. 1

BoreHole:

Sample: MM-30/A

Depth:

Deviator Stress v Axial Strain



Publikationer utgivna av Svensk Djupstabilisering

Arbetsrapport

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

Rapport

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



Svensk Djupstabilisering

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