



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R12:1976

**Bestämning av kom-
pressionsegenskaper hos
djupa lerlager genom
kontrollerad grundvatten-
sänkning**

Bo Alte



Byggforskningen

R12:1976

BESTÄMNING AV KOMPRESSIONSEGENSKAPER
HOS DJUPA LERLAGER GENOM KONTROLLERAD
GRUNDVATTENSÄNKNING

Bo Alte

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730077-8 från
Statens råd för byggnadsforskning till civ.ing. Bo Alte AB,
Göteborg.

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
ISBN 90-540-2546-x
LiberTryck Stockholm 1976

FÖRORD

Denna utredning gjordes som ett led i projekteringen av Angereds centrum på uppdrag av Göteborgshem AB och tack vare det intresse som dir O Jansson och planchef V Georgescu visade kunde denna provningsmetod komma till utförande. Vi känner stor tacksamhet i synnerhet som det här gällde en relativt okonventionell metod.

För viss långtidsmätning och för utförligare redovisning har vi erhållit medel från Statens råd för byggnadsforskning.

Mätningar och fältarbete har utförts av personal inom Bo Alte AB och vi riktar ett tack för ett gott lagarbete.

Redogörelse för metoden och dess resultat har givits vid föredrag inför Geohydrologiska gruppen och inför Sveriges Geotekniska Förening i Göteborg och Stockholm. Det framkom då värdefulla synpunkter som vi har försökt att beakta.

Göteborg i april 1975

Bo Alte

Bo Berggren

INNEHÅLL

BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER	5
1 FÖRKONSOLIDERINGSTRYCK	6
2 NORMALKONSOLIDERAD OCH ÖVERKONSOLIDERAD LERA	9
3 FÖRHÅLLANDENA INOM ANGERED	13
4 TEORI FÖR PROVBELASTNING GENOM GRUNDVATTENSÄNKNING .	16
5 JORDLAGER INOM FÖRSÖKSFÄLTET	17
6 BESKRIVNING AV FÖRSÖKSANORDNINGEN	19
6.1 Pumpanordning	19
6.2 Mätutrustning	19
7 TIDANGIVELSER OCH ETAPPINDELNING	20
8 FÖRSÖKSRESULTAT	22
9 UTVÄRDERING AV FÖRSÖKSRESULTAT	27
10 FÖR- OCH NACKDELAR	29
11 LITTERATUR	31

BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER

E	elasticitetsmodul
H, ΔH	jordlagertjocklek
h	tjocklek hos lerprov
Δh	tjockleksändring hos lerprov
p	tryck
t	tid
u	portryck
ϵ	kompression
ϵ_2	kompressionsindex över förkonsolideringstrycket
ϵ'_2	kompressionsindex under förkonsolideringstrycket
δ	sättning av markytan
σ'	effektivt vertikalktryck
σ'_0	effektivt vertikalktryck under förkonsoliderings- trycket
$\Delta\sigma'$	ändring av effektivt vertikalktryck
σ'_c	förkonsolideringstryck
σ'_{c1}	förkonsolideringstryck för "nybildad" lerjord
σ'_{c2}	förkonsolideringstryck för "normalkonsoliderad" åldrad lera
T	skjuvhållfasthet för lera
T_{kon}	skjuvhållfasthet enligt konprovning
T_{vb}	skjuvhållfasthet enligt vingborring in situ

1 FÖRKONSOLIDERINGSTRYCK

Lera som byggnadsmaterial deformeras vid belastning både elastiskt och plastiskt. Den elastiska deformationen är förhållandevis liten och som regel acceptabel för bebyggelse. Den plastiska deformationen, som sker genom att vatten pressas ur leran under lång tid, ger däremot upphov till så stora rörelser, "sättningar", att byggnader ofta skadas. Den belastning, då de stora plastiska deformationerna börjar, kallas för lerans förkonsolideringstryck.

Som regel bestäms förkonsolideringstrycket på laboratoriet i en sködometer enligt FIG. 1, där ett lerprov insättes i en stålring och belastas mellan två porösa filterstenar så att porvatten kan avgå. Sambandet mellan belastning och deformation brukar åskådliggöras i ett $(\log \sigma' - \varepsilon)$ diagram (FIG. 2). Typiskt för denna kurva är, att den har en markerad krökning vid förkonsolideringstrycket σ'_c .

Lerans kompressibilitet ökar mycket starkt när lasten överstiger förkonsolideringstrycket σ'_c , vilket framgår av FIG. 2, där normala värden på kompressionsindex ε'_2 och ε_2 anges. Man inser att värdet på förkonsolideringstrycket är av största betydelse vid sättningsberäkningar och således även för val av grundläggningsmetod.

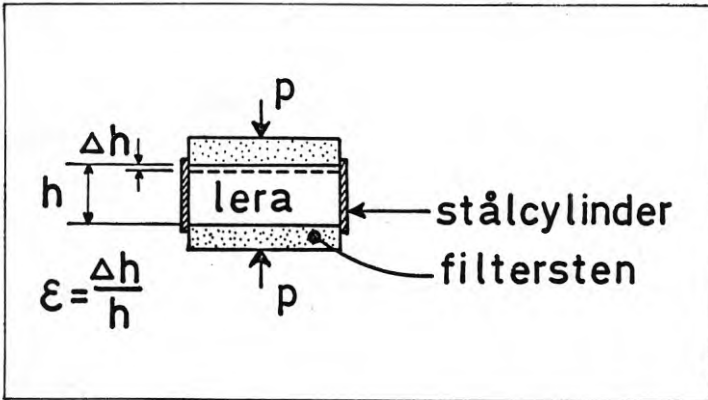


FIG 1

Belastningsförsök i ödometer. Lerprovet belastas stegvis med som regel en fördubbling av lasten p varje dygn. Sammantryckningen Δh mäts kontinuerligt. I standardutförande är provets diameter 50 mm och dess höjd 20 mm.

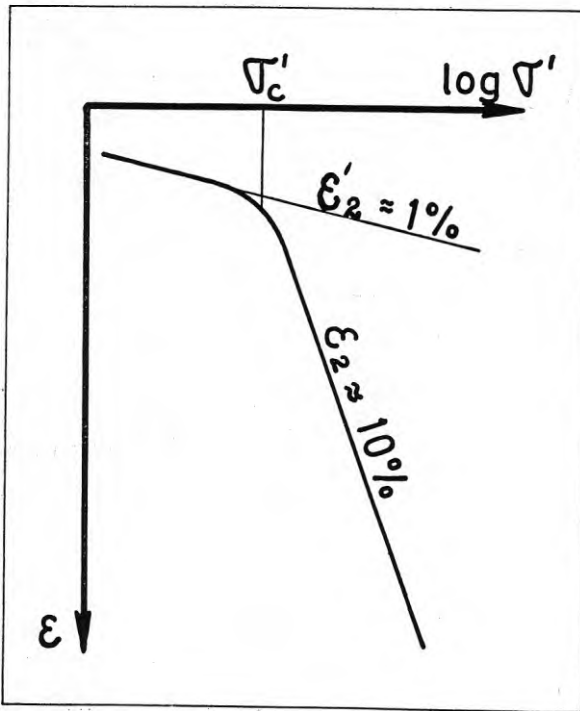


FIG 2

Sambandet mellan belastning σ' och relativ sammantryckning ϵ . Det är karakteristiskt för lerjord att kompressionen är liten upp till det s k förkonsolideringstrycket σ'_c . Vid belastning över σ'_c fås avsevärt större kompression, vilket framgår av angiven storleksordning på kompressionsindex ϵ'_2 och ϵ_2 , d v s relativa sammantryckningen vid fördubbling av lasten.

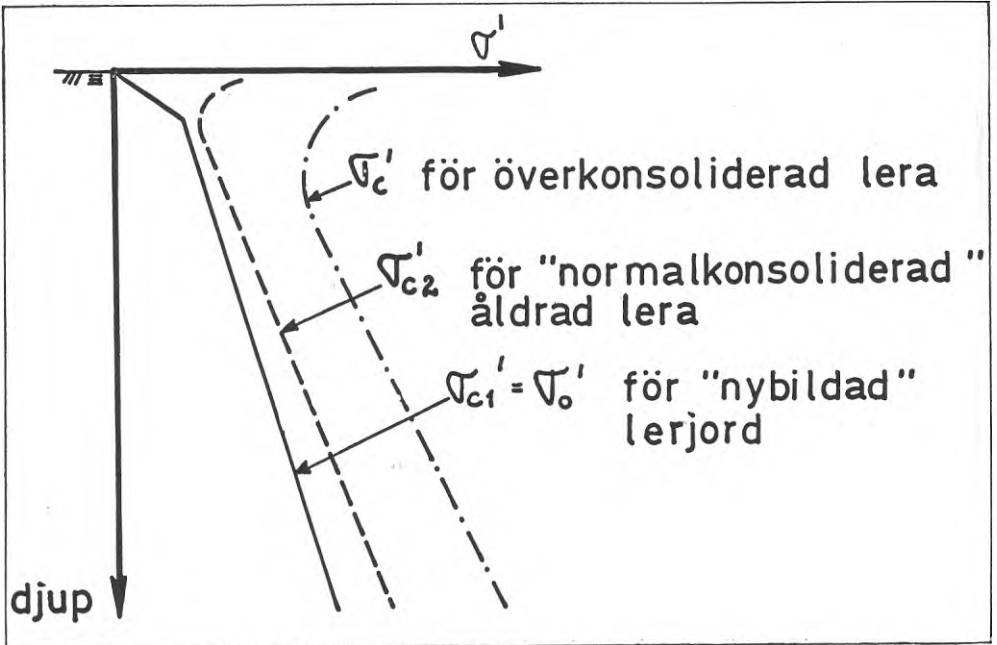


FIG 3 Exempel på olika förkonsolideringstryck jämfört med det effektiva vertikalktrycket σ'_0 i jordlagren. Sambandet σ'_{c2}/σ'_0 för normalkonsoliderade åldrade leror är enligt Bjerrum konstant för leror med samma plasticitetsindex. För överkonsoliderade leror kan σ'_c ha högst varierande värden beroende på tidigare geologiska betingelser.

2 NORMALKONSOLIDERAD OCH ÖVERKONSOLIDERAD LERA

Förkonsolideringstrycket σ'_c kan sägas ange den belastning, som leran tidigare varit utsatt för under så lång tid, att lerans porvattentryck hunnit utjämnas. Den minsta belastning som då kan tänkas, är det nuvarande lerlagrets egenvikt reducerad med porvattentrycket i leran, d v s man antar att lerlagret ej tidigare varit utsatt för en större belastning än det nu har. Denna typ av lera kallas för normalkonsoliderad lera.

Emellertid är leran i många fall fastare och vid provning finner man, att förkonsolideringstrycket överstiger det nuvarande effektiva vertikallytrycket i jorden (FIG. 3). Denna s k överkonsoliderade lera har således tidigare vid något tillfälle varit utsatt för en större belastning än i dag och följande förklaringar kan nämnas:

1. Nuvarande markyta har varit belastad av jordlager, som borteroderats av havsvågor, vindar eller vattendrag. Som exempel kan nämnas den relativt fasta lera, som ofta påträffas under älvbottnar och bäckraviner.
2. Grundvattenytan kan under geologisk tid ha legat lägre än i dag beroende på lägre nivå hos havsvattenytan eller sjöar, varierande permeabilitet i jord och berg o dyl. En uppmätt överkonsolidering av 50 à 80 kPa (5 à 8 Mp/m²) hos leran i södra Halland förklaras av att havsytan för ca 9000 år sedan låg ett 10-tal meter lägre än i dag.
3. Lerans ålder har enligt ingående studier av Bjerrum (1973) inverkan på förkonsolideringstrycket i princip på det sätt som visas i FIG. 4. Den överkonsolideringseffekt som uppkommer genom långtidskrypningen är till viss del skenbar eftersom den är tidsberoende, men med hänsyn till den korta livslängden för normal byggnation jämfört med geologiska tidsperspektiv är det möjligt att utnyttja större delen av överkonsolideringslasten $\sigma'_{c2} - \sigma'_c$. I Norge har redovisats flera exempel

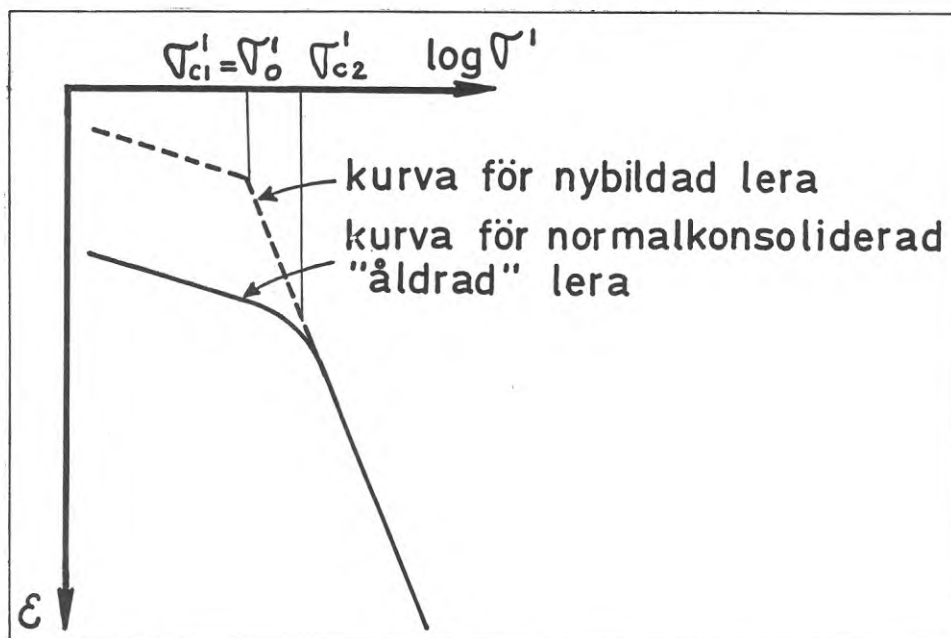
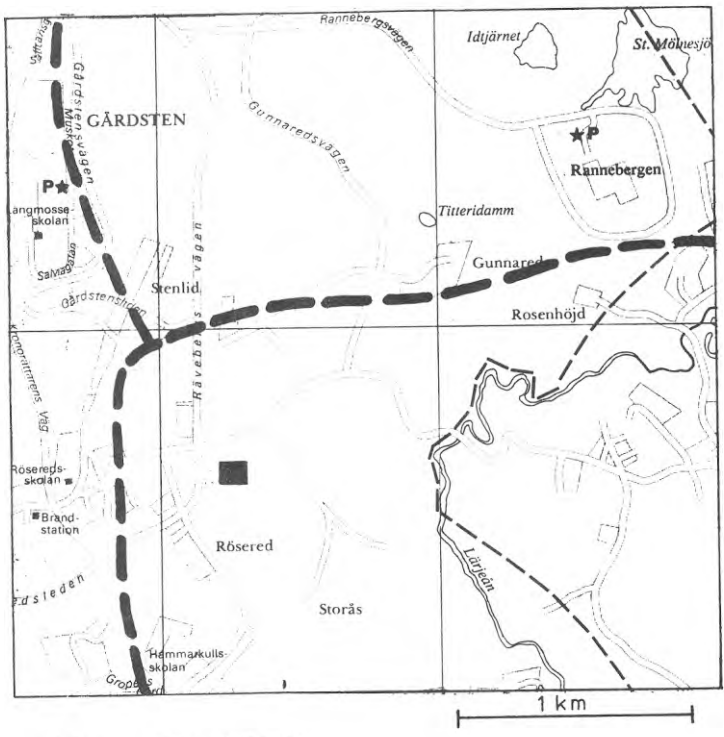
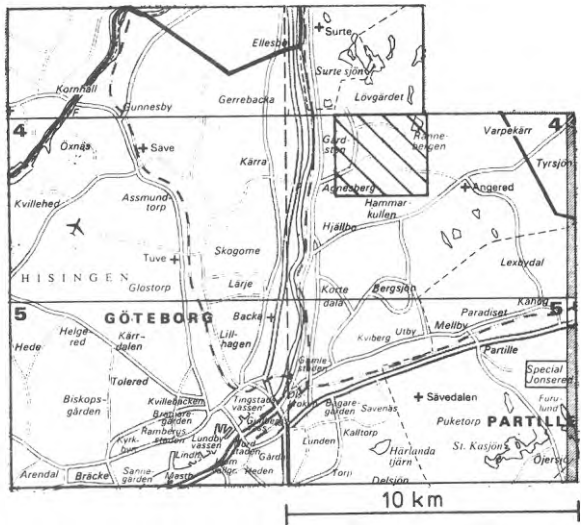


FIG 4 För normalt konsoliderad lera har sambandet belastning-sammantryckning följt den streckade kurvan, då lerjorden nyligen bildades. Förkonsolideringstrycket σ'_{c1} var då lika med vertikalt trycket σ'_0 . En långsam krypning under 1000-tals år har därefter komprimerat leran, så att sambandet $\sigma' - \epsilon$ i dag följer den heldragna kurvan, vilket innebär att vi nu mäter ett förhöjt förkonsolideringstryck σ'_{c2} , d v s en överkonsoliderings-effekt.

på hur denna överkonsolidering kunnat utnyttjas och i Sverige kan pekas på de som regel positiva erfarenheterna av kohesionspålar, där byggnadsvikten förs ned till större djup med större överkonsolideringslast.

4. Slutligen skall nämnas kemisk påverkan på leran, s k kemisk vittring. Sedan länge har man känt till att lerans torrskorpa påverkas av kemisk vittring - tillsammans med tjälning och vattenutsugning av växt-rötter - men enligt Simons (1964) kan vittringsprocesser ske till stort djup i lera. Man saknar ännu kunskap om hur leran kan ha påverkats kemiskt efter att den bildades för 10 å 20-tusen år sedan, men måhända kan kemisk vittring vara orsak till de överkonsoliderade leror ofta inom begränsade partier, som man finner vid geotekniska undersökningar.



- FÖRSÖKSFÄLT
- TUNNELSYSTEM

FIG 5 Kartbild över Angeredsområdet.

3 FÖRHÅLLANDENA INOM ANGERED

Angeredsområdet, som ligger ca 10 km nordnordost om Göteborgs centrum, är ett sådant terrängsavsnitt, där leran är starkt överkonsoliderad men där man inte kan ge en entydig geologisk förklaring till överkonsolideringen. Inom området skall uppföras en centrumbebyggelse för omkringliggande bostadsområden. När projekteringen 1972 tog fastare form, upptäcktes att tre i berg utsprängda och djupt liggande försörjningstunnlar för va, el, tele och värme givit upphov till en grundvattensänkning av 20 å 30 m, som i hög grad berörde framtida centrumområde. Det var i detta skede helt nödvändigt för fortsatt projektering att få klarlagt lerans förkonsolideringstryck, eftersom man under antagande av normalkonsoliderad lera beräkningsmässigt skulle få sättningar av 1 å 2 m, vilket givetvis inte är acceptabelt. I FIG. 5 finns en karta över Angeredsområdet och i FIG. 6 åskådliggöres i en sektion uppmätt vattentryck i friktionsjorden under lera.

Svårigheterna var i detta fall, liksom det ofta är, att de upptagna jordproverna oundvikligen blivit störda vid provtagning speciellt från stora djup, då proverna utsättes för en stor tryckförändring. Resultatet av rutinprovningen på laboratoriet samt vingborresultatet redovisas i FIG. 7. Okulärt är leran grå-gråbrun och innehåller rikligt med millimetertunna siltskikt. Leran är likartad i hela sin tjocklek, men lokalt finns markerade skikt av silt eller lerig silt. Tjockleken på lerlagret är som störst 40 å 50 m, varunder finns ett tunt (0-2 m) lager av silt - sand - morän vilande på berg. Skjuvhållfastheten bestämd genom konförsök är låg i lerans undre del och påminner om normalkonsoliderad lera.

Skjuvhållfastheten med vingborr är högre och tyder på starkt överkonsoliderad lera, men det finns även vingborringar som ger förvånansvärt låga värden. Sensitiviteten (H_3/H_1) är som regel 30-70, vilket är förhållandevis höga värden. I FIG. 7 visas också porvattentrycket i leran uppmätt intill provtagningspunkten. Jämfört med ett antaget

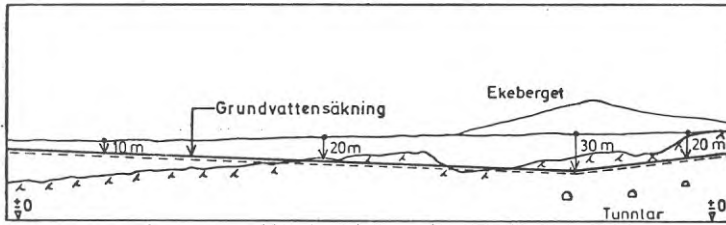


FIG 6 Sektion genom Angeredsområdet.

hydrostatiskt porvattentryck i lerlagret - och detta antagande är väl underbyggt av långvariga grundvattenobservationer av STEGA-gruppen - konstaterade man en trycksänkning hos porvattnet i lerans underdel av ca 22 m men ingen trycksänkning i lerans överdel, d v s ytvatten perkolerar ned genom lerjorden.

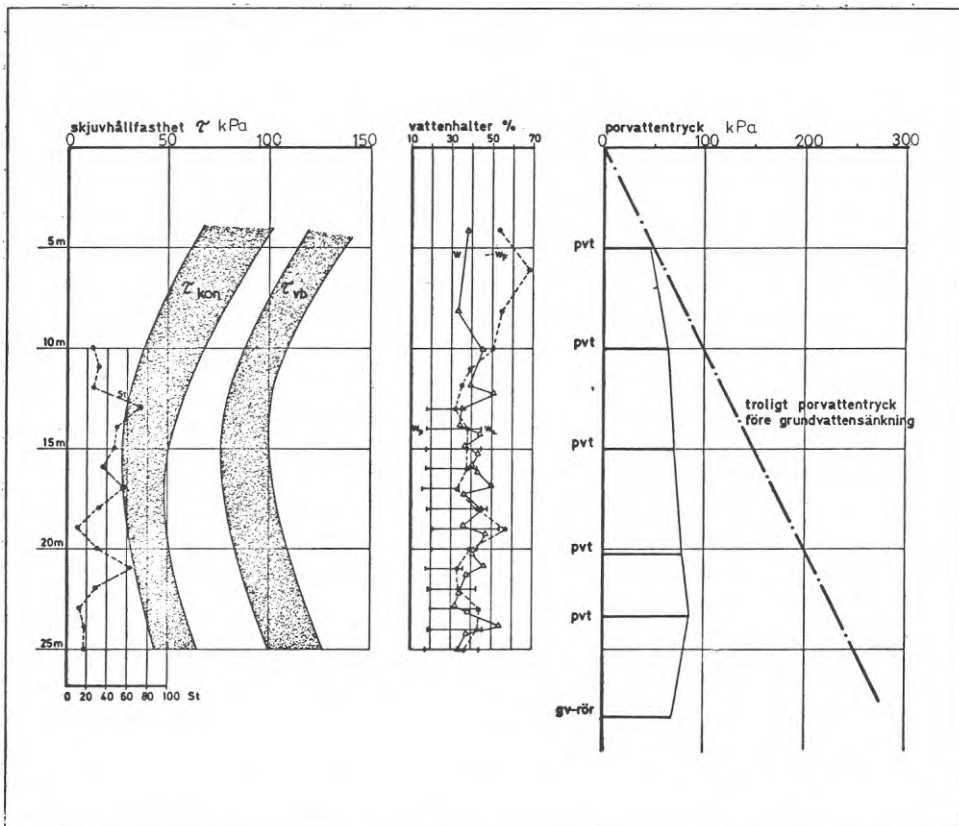


FIG 7 Exempel på lerjordens karaktär i Angered samt mätning av porvattentrycket. Undersökningspunkten är belägen intill befintliga tunnlar, som orsakat en kraftig grundvattensänkning.

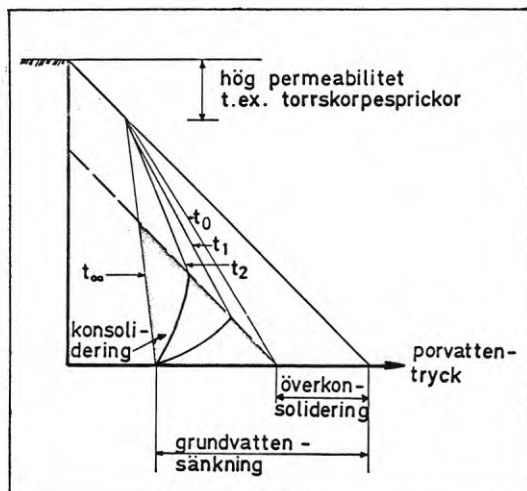


FIG 8 Porvattentryckets tidsberoende vid grundvattensänkning i överkonsoliderad lera. Porvattentrycket enligt kurva t_0 erhålles mycket snabbt d v s inom några dagar eller veckor. Kurvorna t_1 och t_2 erhålles efter lång tid - månader och år. Slutstadiet fås med kurva t_∞ , varvid har antagits att ytvatten kan tillföras ett permeabelt ytskikt.

4 TEORI FÖR PROVBELASTNING GENOM GRUNDVATTENSÄNKNING

Förhållandena var svårbedömbara i detta skede av projekteringen och orsaken var i första hand att förkonsolideringsstrycket hos de djupare lerlagren ej säkert kunde bestämmas på laboratoriet beroende på oundviklig störning av jordproverna. Eftersom förutsättningen var att man måste räkna med minst 20 m grundvattensänkning inom hela centrumområdet, var såväl förkonsolideringstryck som kompressibilitetsförhållanden hos leran helt nödvändiga att bestämma för att kunna beräkna framtida sättningar.

Vid tidigare tillfällen har vi för att bestämma förkonsolideringstrycket provbelastat lerlager med grusfyllning inom en begränsad yta. Man kan dock med denna metod knappast nå en större last än ca 80 kPa på markytan och avtagande belastning i djupare lerlager. Vi föreslog därför i detta fall att sänka grundvattentrycket i friktionsjorden under leran. Genom att välja ett område med 25 m lerdjup kunde man uppnå omkring 20 m grundvattensänkning, vilket i praktiken är det samma som att leran belastas med 200 kPa i lerlagrets underkant och avtagande belastning i högre liggande lerlager.

Idéen att med provbelastning bestämma förkonsolideringsstrycket baserar sig på att porvattentrycket reagerar snabbt för belastningar under förkonsolideringstrycket, medan däremot porvattentrycksförändringen sker mycket långsamt vid laster över förkonsolideringstrycket (jfr Hansbo 1973). Orsaken till denna skillnad i porvattentrycksförändring är att vid belastning under förkonsolideringstrycket är kompressibiliteten liten och utpressad vattenmängd är ringa. Över förkonsolideringstrycket sker en stor utpressning av vatten ur leran, vilket tar avsevärd tid. En teoretisk förklaring åskådliggöres i FIG. 8. Den tid som åtgår för de olika kurvorna i figuren att utbildas kan givetvis variera med lertyp och lertjocklek. I princip bör skillnaden i sättningssänslighet under och över förkonsolideringstrycket vara mera märkbar hos finkornig lera än hos grov lera.

5 JORDLAGER INOM FÖRSÖKSFÄLTET

De lösa jordlagren består av 20 å 30 m mycket fast silt-skiktad lera och därunder ett tunt friktionsjordlager, 0 - 0,5 m tjockt vilande på berg. Lerans skjuvhållfasthet är i medeltal ca 100 kPa, men uppvisar kraftiga variationer med djupet. Värdet på skjuvhållfastheten varierar dessutom beroende på vilken provningsmetod som används. Enligt konprovning på upptagna jordprover är skjuvhållfastheten 70 å 80 kPa och enligt vingborrning in situ 100 å 120 kPa. Friktionsjorden består av silt, sand, morän.

Resultatet av laboratorieundersökningen finns redovisat i FIG 9.

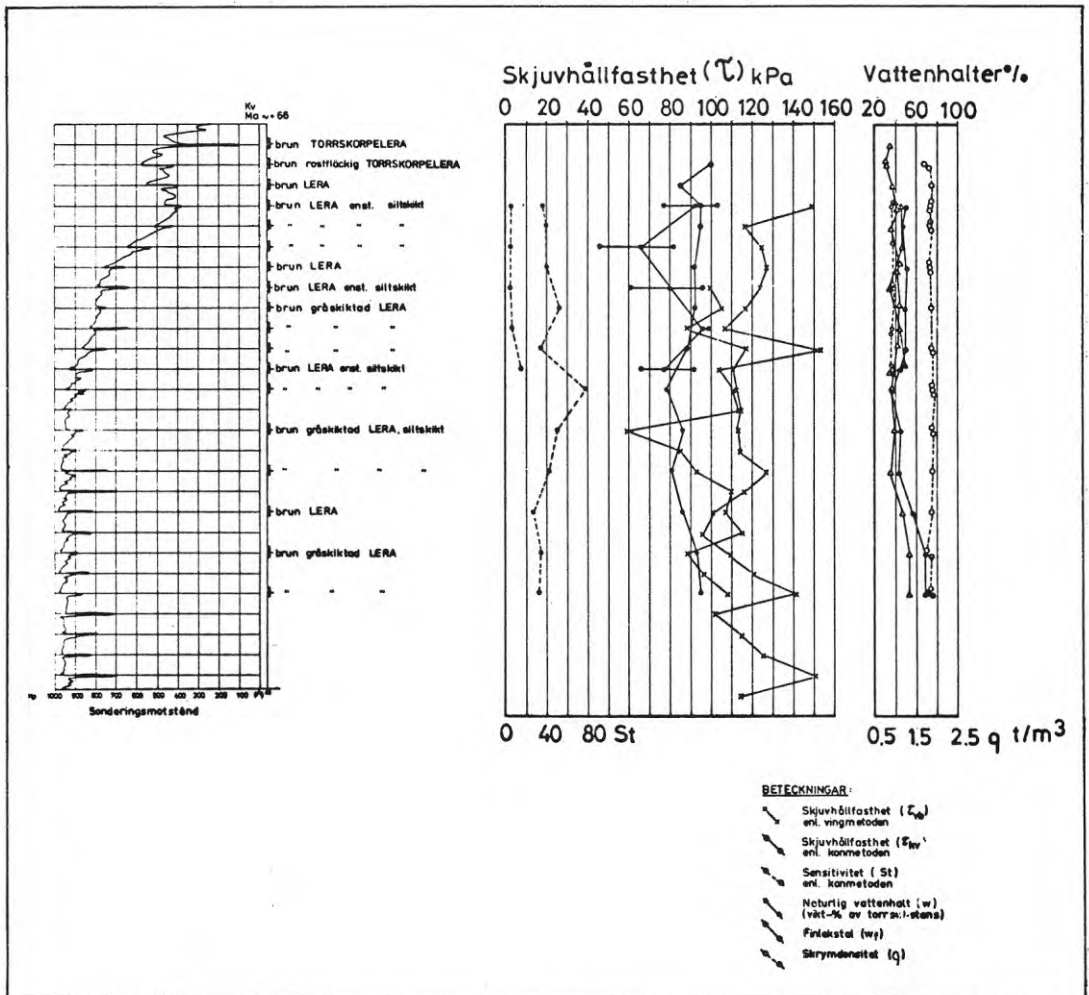


FIG 9 Laboratorieresultat från försöksfältet.

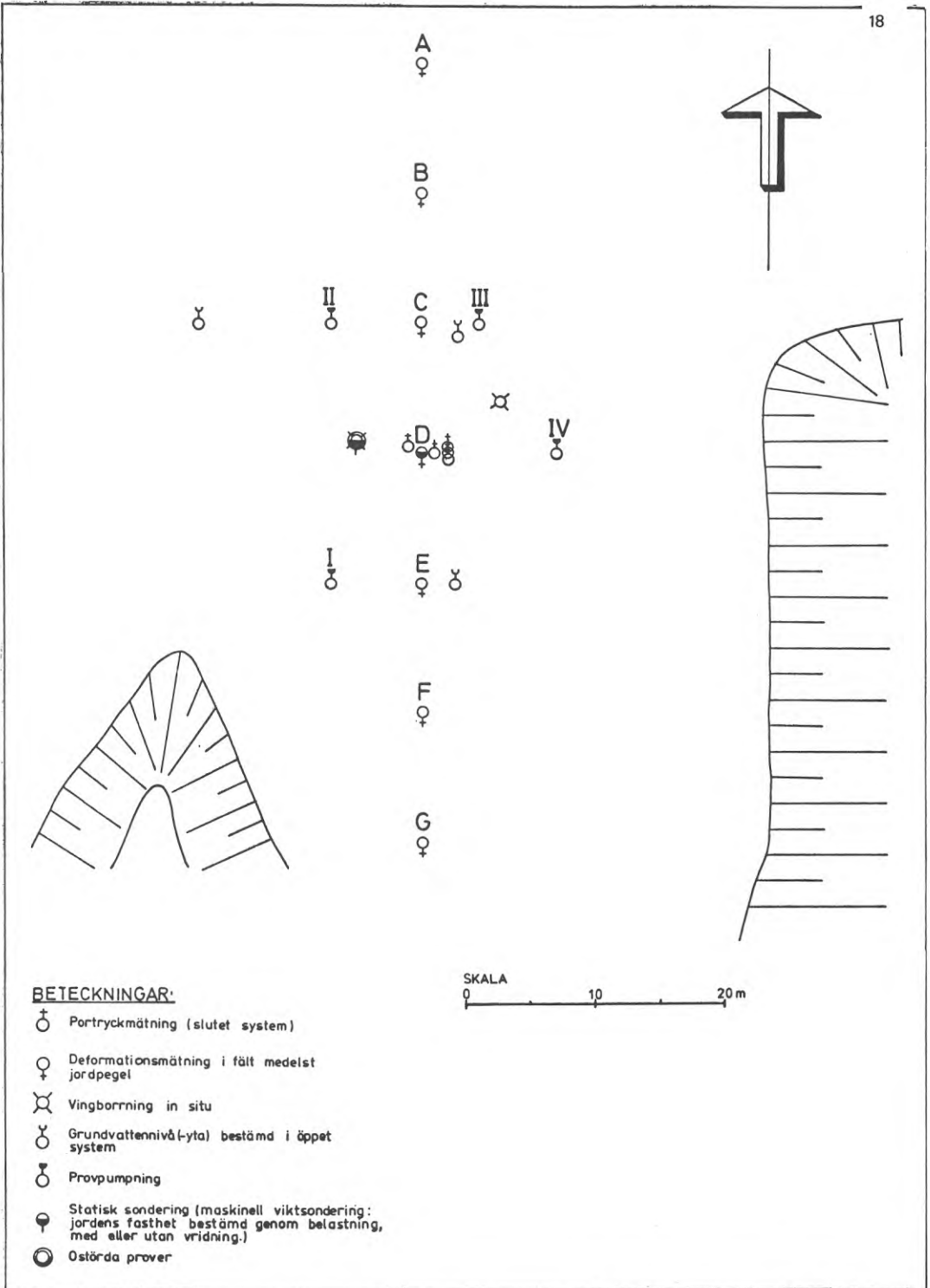


FIG 10 Plan över försöksfältet.

6 BESKRIVNING AV FÖRSÖKSANORDNINGEN

6.1 Pumpanordning

Pumpningen utfördes med 4 pumpar som monterades enligt följande. Med en kedjematad bergborrmaskin sonderades med \varnothing 10 cm borrhkrona ned till friktionsjorden. Sonderingshålet fylldes med vatten och en 2" filterspets på 1" ångrör trycktes ned. Ungefär 11 m över spetsen monterades en ejektor, till vilken två PVC-slangar var anslutna. Höjden 11 m beror på att man ej vill suga torrt, vilket kan ge skador på pumpen. Ångröret och slangarna trycktes därefter ned med samtidig vattenspolning. Pumpen med hydrofor anslöts sedan till slangarna varefter pumpningen kunde starta.

6.2 Mätutrustning

Vattentryck och sättningar skulle mätas. Vattentrycket i friktionsjorden under leran mättes i tre öppna rör försedda med plastsandfilter. Dessutom installerades i leran fyra portryckmätare, typ svängande sträng, på djupen 12, 19, 22 och 24,5 m under markytan.

För mätning av sättningar installerades 7 jordskruvar på 1,5 m djup och c/c 10 m i en sektion genom pumpområdet. Genom precisionsavvägning på jordskruvarna kunde sättningsförloppet följas under försöket.

En plan över försöksanordningen visas i FIG. 10, och i FIG. 11 är en sektion genom försöksfältet uppritad.

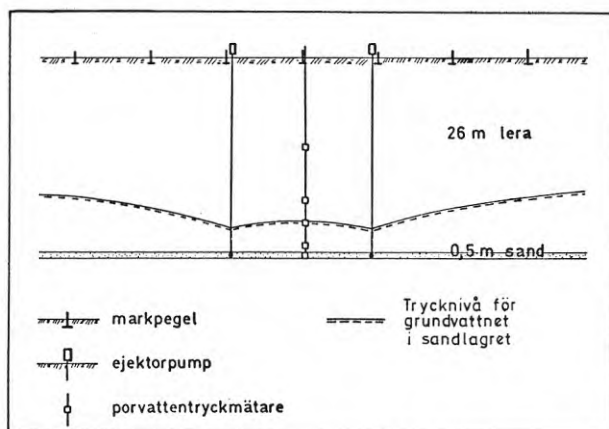


FIG 11 Sektion genom det terrängparti där grundvattensänkningen utfördes.

7 TIDANGIVELSER OCH ETAPPINDELNING

Arbetet med installation av försöksanordningen påbörjades i början av juli 1972. Den 20 juli sattes ett par pumpar igång men det var inte förrän den 10 augusti när ytterligare ett par pumpar tagits i bruk som pumpningen blev effektiv.

Undersökningsresultatet önskades preliminärt redan till den 20 augusti, då principställning skulle tas till fortsatt projektering av Angereds Centrum.

I och med att försöket utföll positivt fick vi av AB Göteborgshem uppdrag att fortsätta fram till årsskiftet 1972 - 73 varefter vi med bidrag från BRF har fortsatt försöket till hösten 1974.

Vid utvärderingen av försöksresultatet har uppdelning skett i fyra tidsperioder, nämligen

etapp 1	72-08-10	-	72-11-20
etapp 2	73-02-10	-	73-04-26
etapp 3	73-06-20	-	73-09-10
etapp 4	73-09-10	-	74-09-10

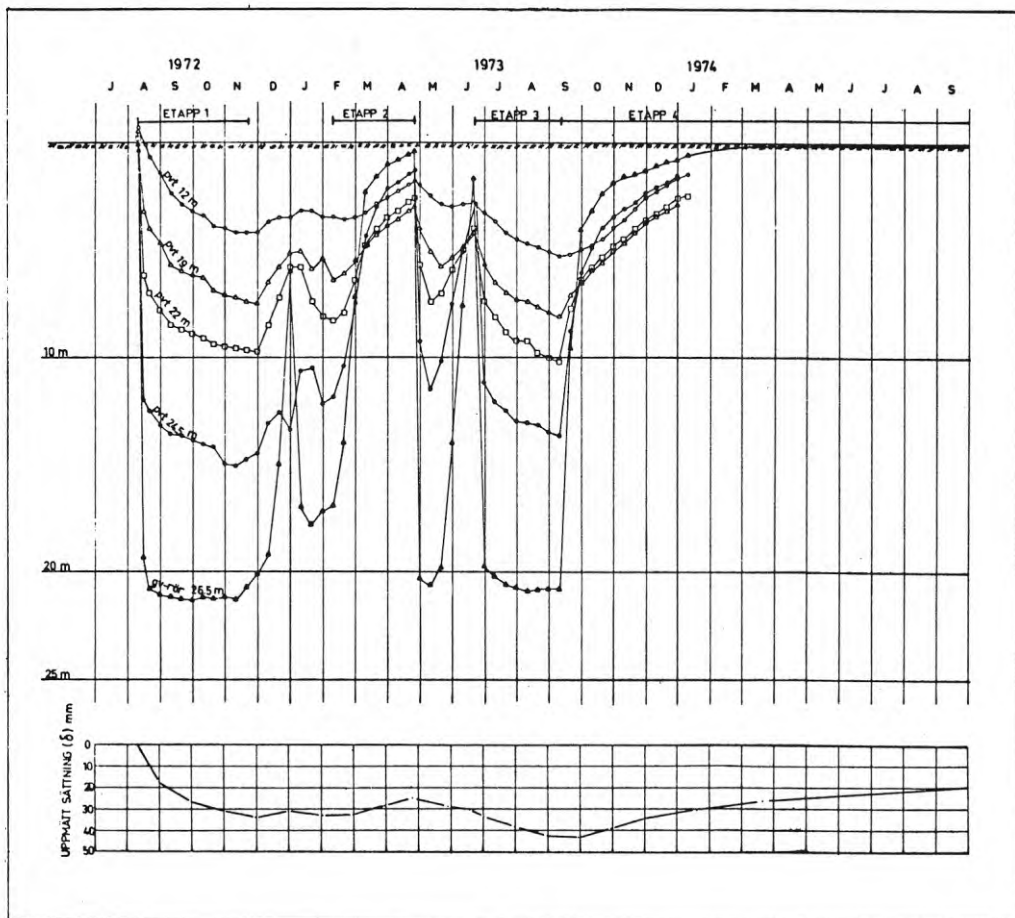


FIG 12 Portrycksnivåer och sättningar under hela försökstiden.

8 FÖRSÖKSRESULTAT

Etapp 1

Sedan pumpningen blev effektiv i mitten av augusti 1972 sjönk vattentrycket i friktionsjorden på ett par dagar med totalt 200 kPa och portrycket i den undre delen av leran 30 å 100 kPa. Pumpningen fortsatte till början av december 1972. Portrycket i den undre delen av leran hade då sjunkit med 80 å 150 kPa. Samtidigt uppmättes i det 26 m tjocka lerlagret en total sättning av 3,5 cm.

Etapp 2

På grund av olika omständigheter avbröts pumpningen fram till slutet av april 1973. Ett par försök gjordes att under den första delen av denna tid starta på nytt. Elavbrott och sönderfrysning av pumparna hindrade dock pumpningen. Därför gjordes avsiktligt ett längre uppehåll för att mäta under en återhämningsperiod. Vattentrycken i leran steg till en början snabbt och därefter långsammare till en trycknivå som endast var 1 å 3 m lägre än den ursprungliga nivån. En hävning på 1 cm erhöles under samma period.

Etapp 3

I slutet av april 1973 startades pumpningen på nytt och reaktionen i vattentryck var även nu mycket snabb både i friktionsjorden och i lerans undre del. Tyvärr erhöles ett ungefär 14 dagars pumpavbrott i juni, men därefter fortsatte pumpningen till början av september. Portrycken i leran var då som lägst under hela provpumpningen och den totala sättningen relativt ursprungsförhållandena var ca 4,5 cm.

Etapp 4

Under återhämningsstadiet har portryck och sättningar registrerats. I mitten av januari 1974 var portrycken ungefär lika som innan pumpstarten i april 1973, men den totala sättningen var 0,5 cm större.

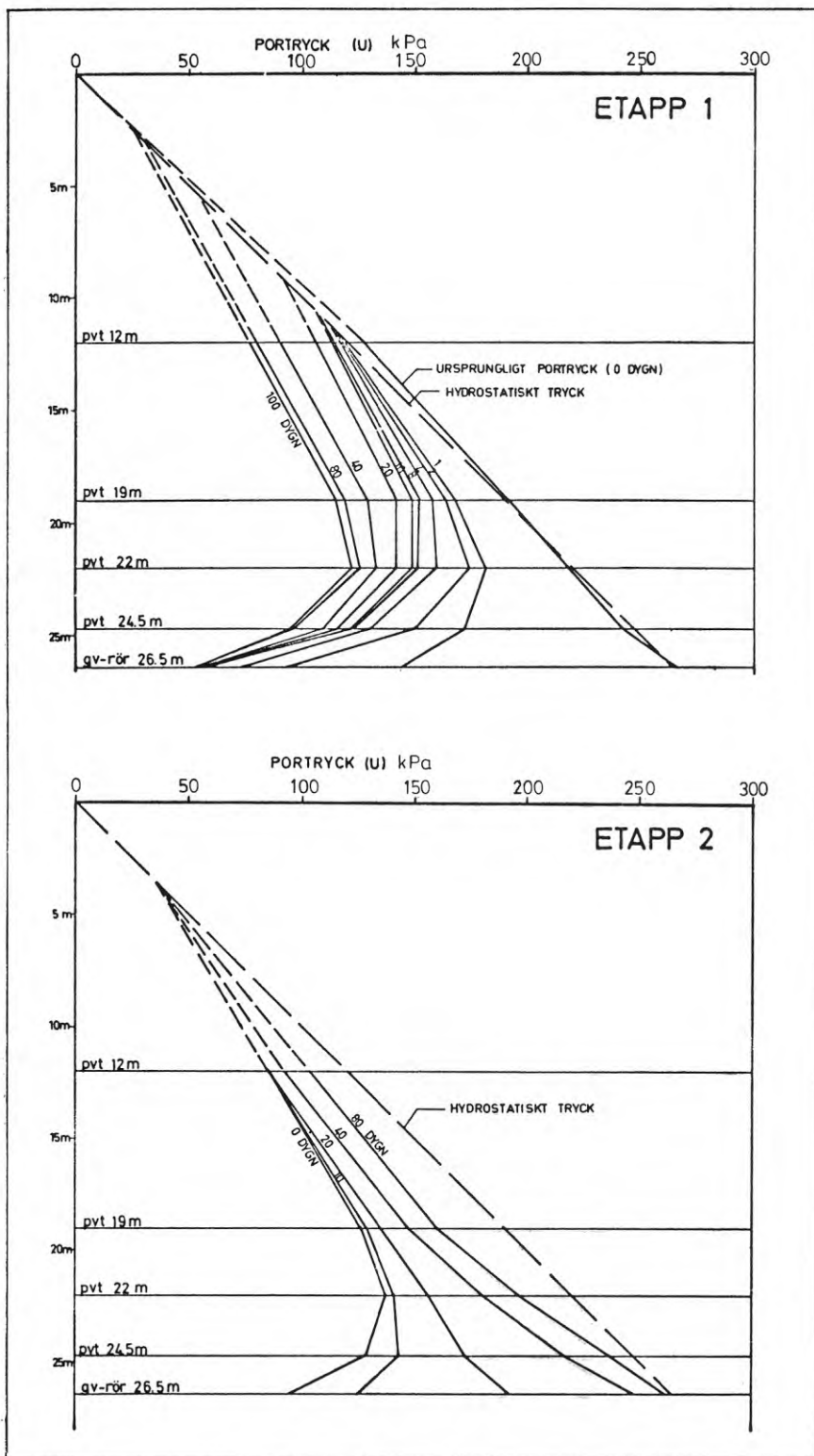
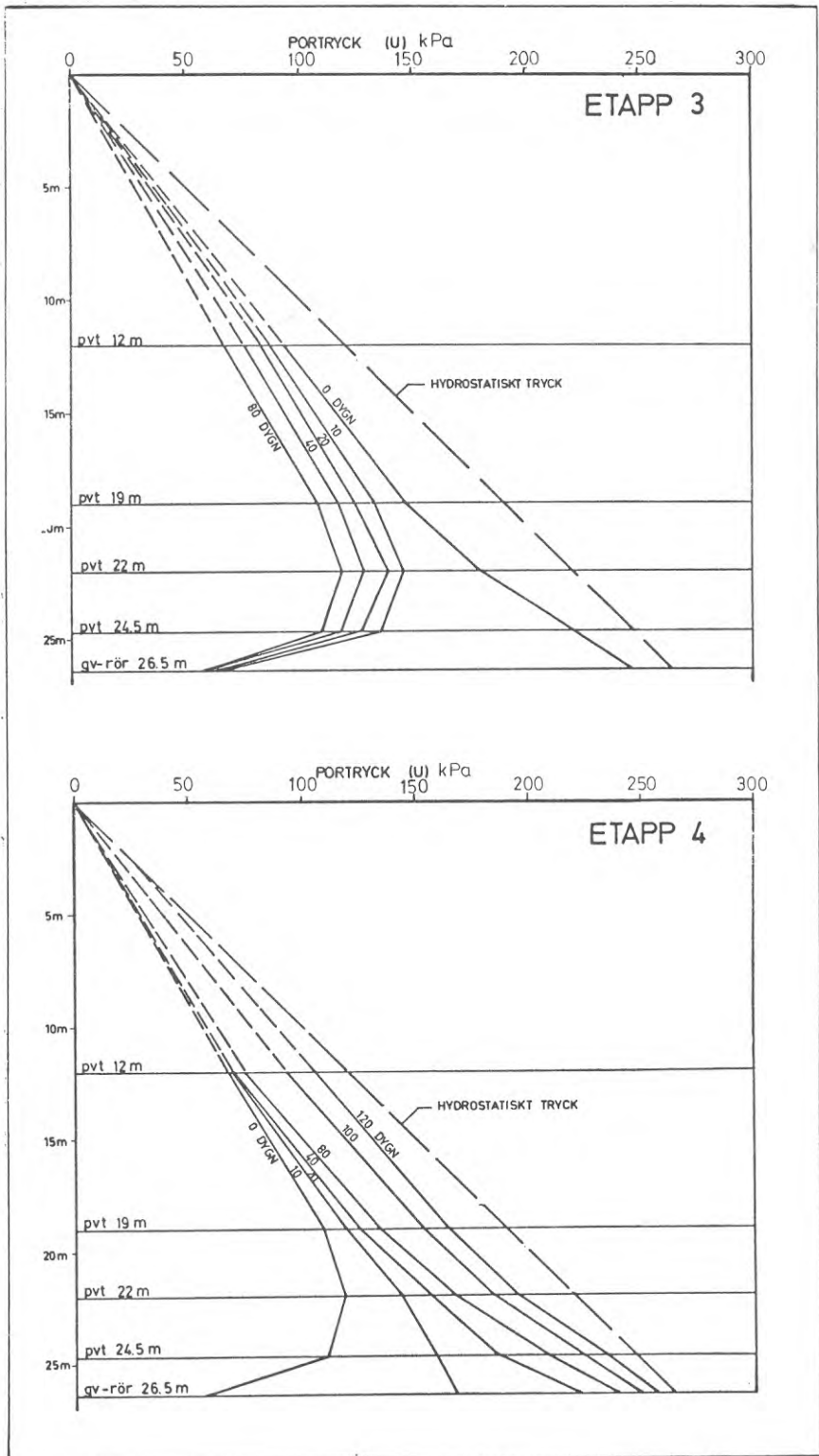


FIG 13 Portryckets variation vid olika tidpunkter och etapper.



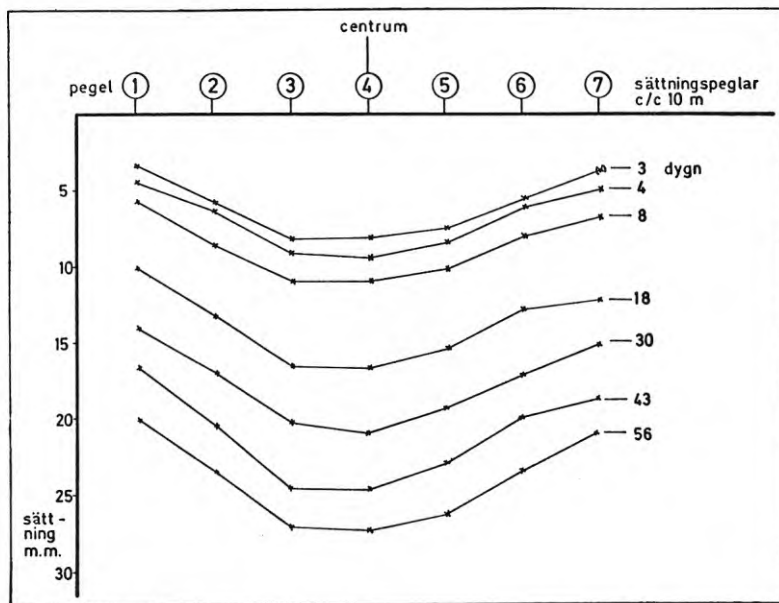


FIG 14 Markytans sättning vid olika tidpunkter från start i en sektion genom försöksfältet.

Portrycknivåer och sättningar under hela försökstiden finns redovisade i FIG. 12. I figuren finns etapp 1 - 4 markerade.

För att på ett åskådligt sätt se effekten av pumpningen redovisas i FIG. 13 portryckets variation vid valda tidpunkter under varje etapp.

FIG. 14 visar markytans sättning vid olika tidpunkter i en sektion genom försöksfältet.

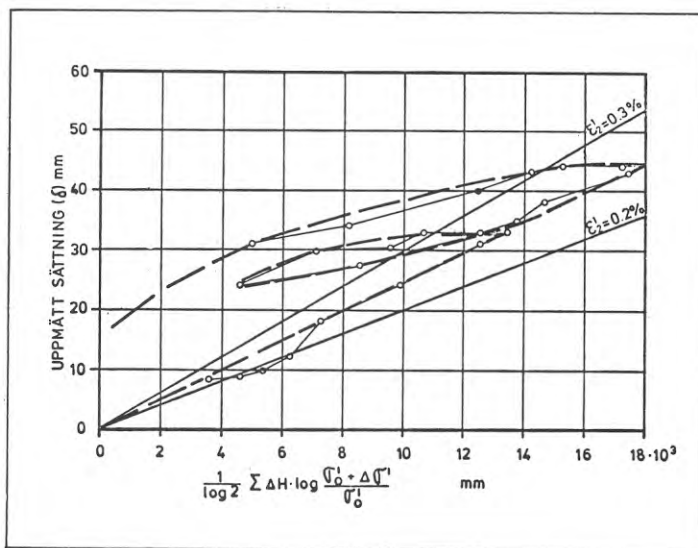


FIG 15 Bestämning av kompressionsindex ϵ_2' .

9 UTVÄRDERING AV FÖRSÖKSRESULTAT

Med ledning av uppmätta portryck och sättningar kan sägas att lerans förkonsolideringstryck ej har uppnåtts. Djupt liggande lerlager har blivit utsatta för tilläggsbelastningen 100 - 200 kPa. De övre lerlagren har ej belastats lika mycket, men tillsammans visar ödometerförsök och provpumpningen att leran genomgående är starkt överkonsoliderad.

Med hjälp av portryckminskningen (= effektivspänningsökningen) och sättningen vid olika tidpunkter under de fyra etapperna kan kurvorna i FIG. 15 och FIG. 16 upptras.

I FIG. 15 har på den vertikala axeln deformationen (markytans uppmätta sättning) avsatts och på den horisontella axeln beräknade värden på

$$\frac{1}{\log 2} \sum \Delta H \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0}$$

Av figuren framgår att de avsatta punkterna vilka motsvarar förhållandena under pumpning i stort ligger kring en rät linje som utgår från origo, d v s

$$\delta = \frac{\epsilon'_2}{\log 2} \sum \Delta H \log \frac{\sigma'_0 + \Delta \sigma'}{\sigma'_0}$$

Enligt figuren är vid första pålastningen värdet på

$$\epsilon'_2 = 0.25 \%. \text{ Vid ödometerförsök har erhållits } \epsilon'_2 = 1 \text{ à } 2 \%.$$

Genom fältförsöket har visats att sättningarna även under förkonsolideringstrycket blir mindre än de som kan beräknas med utgångspunkt från ödometerförsök.

I FIG. 16 har markytans sättning avsatts som funktion av tilläggsbelastning

Under antagande av homogena, elastiska förhållanden gäller Hooke's lag

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

Således erhålles

$$\delta = \epsilon \cdot H = \frac{1}{E} \Sigma (\Delta \sigma' \cdot H)$$

Ur FIG. 16 erhålles $E = 40\ 000$ à $50\ 000$ kPa. Detta värde motsvarar ungefär $E = 400$ à 500 ggr skjuvhållfastheten.

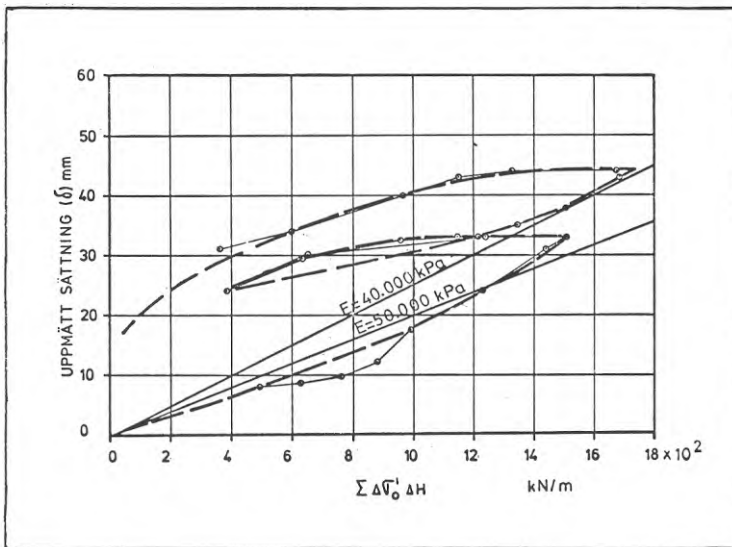


FIG 16 Bestämning av elasticitetsmodul E.

10 FÖR- OCH NACKDELAR

Det mål som uppsattes för försöket uppnåddes och resultatet blev dessutom positivt.

Vid en provning i stor skala i fält erhålles inte de störningar i form av tryck- och temperaturvariationer som finns vid laboratorieprovning på upptagna jordprover.

Med propvpumpningen erhöles på ett enkelt och ekonomiskt sätt en mycket stor belastning av den på djupet liggande leran. Genom att vattentrycksändringen skedde snabbt så kunde också snabba besked lämnas om lerans konsolideringsegenskaper. En alternativ fältundersökning till propvpumpningen hade varit att genom uppfyllning på markytan belasta jordlagren. För att åstadkomma samma belastning som vid propvpumpningen skulle emellertid på grund av lastspridningseffekten uppfyllning göras till minst 10 m höjd över en mycket stor yta. Ett sådant försök ställer sig naturligtvis oerhört dyrt för att inte säga att det är ekonomiskt ogenomförbart.

En ytterligare fördel med propvpumpningen är att ingreppen i naturen är mycket små. Endast några pumpar med hydroforer och rör är de enda synliga bevisen för en belastning som i det aktuella fallet motsvarar lasten av en 20-våningsbyggnad.

Några faktorer verkar negativa på provningen. Jordtacket med sin tjocklek och styvhet kan tänkas motverka deformationer. Mot detta talar dock de uppmätta sättningarna enligt figur 14 och den stora spridningen av grundvattensänkningen.

En faktor som motverkar en snabb porvattentrycksminskning i leran är att leran är genomdragen av fina siltskikt genom vilka vatten strömmar horisontellt till provytan. Försök att med pappdräner (Geo-drains) avskärma detta vattentillflöde lyckades ej, då lerans fasthet omöjliggjorde

att föra ned pappdränerna. Om detta hade kunnat göras hade man erhållit en "jätteödometer".

Ytterligare en svårighet som vi ställdes inför var kylan vintertid. Normalt hade kanske denna ej orsakat problem eftersom kontinuerlig pumpning ger tillräcklig värmeenergi. Men av någon anledning (klåfingrighet eller skadegörelse) hade strömmen brutits under en kort tid med följd att pumphusen sprängdes sönder av istryck vid frysning. För att bemästra detta måste pumparna byggas in så att vatt-net aldrig kan frysa.

Metoden att med provpumpning bestämma en leras förkonsolideringstryck och andra kompressionsegenskaper lämpar sig bäst där mäktigheten hos lerlagret är så stort att andra metoder är behäftade med störningar (kolvprovtagning) eller blir alltför omfattande (provbekastning genom uppfyllning). Självklart kommer provpumpningen främst ifråga vid större projekt såsom Angereds Centrum där kostnaden för undersökning (ca 100.000 kronor i 1972 års prisnivå) är relativt sett liten och där konsekvenserna av bristande kunskaper om lerans egenskaper kan få katastrofala följder.

11 LITTERATUR

- Alte B (1973) Kontrollerad grundvattensänkning för bestämning av förkonsolideringstrycket i djupa lerlager, Väg- och vattenbyggaren nr 6/1973
- Bjerrum L (senast 1973) Int Conf on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moskva, Proceeding no 3, General Report
- Carlsson L (1973) Grundvattensänkning: Evaluering av lågpenneabla lagers hydrauliska diffusivitet med hjälp av provpumpningsdata, Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik, Publikationsserie B 73:2 och 3
- Simons N (1964) Settlement Studies on a Nine Storey Apartment Building at Ökernbråten, Oslo, NGI nr 58
- Hansbo S (1973) Beräkning av portrycksminskning genom grundvattensänkning, Väg- och vattenbyggaren nr 2/1973
- Lindskoug N-E och
Nilsson L-Y (1974) Grundvatten och byggande. STEGAs arbete 1966-73. Byggforskningens rapport R 20:1974

R 12: 1976

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730077-8 från
Statens råd för bygnadsforskning till Civ. ing. Bo Alte AB,
Göteborg.**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm
Grupp: konstruktion**

Pris: 20 kronor + moms