



**STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE**

**RAPPORT
REPORT No 5**

Snabba ödometerförsök

**RUDOLF KARLSSON
LEIF VIBERG**

LINKÖPING 1978



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

RAPPORT REPORT No 5

Serien "Rapport" ersätter våra tidigare serier: "Proceedings" (27 nr),
"Särtryck och Preliminära rapporter" (60 nr) samt "Meddelanden" (10 nr).

Our new series "Report" supersedes the previous series: "Proceedings" (27 Nos),
"Reprints and Preliminary Reports" (60 Nos) and "Meddelanden" (10 Nos).

Snabba ödometerförsök

RUDOLF KARLSSON
LEIF VIBERG

Denna rapport hänförs till forskningsanslag C 202:2 Da från
Statens råd för byggnadsforskning.

LINKÖPING 1978

FÖRORD

Föreliggande rapport avser en av laboratoriechef Rudolf Karlsson initierad och ledd undersökning vid Statens geotekniska institut. Huvudparten av laboratoriearbetet utfördes av framlidna fru Aina Sköldström. Sammanställningen och viss bearbetning av undersökningsresultaten har utförts av tekn lic Leif Viberg i nära samråd med Rudolf Karlsson.

Linköping januari 1978

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

I N N E H Å L L S F Ö R T E C K N I N G

| | Sid |
|---|-----|
| SUMMARY | 7 |
| SAMMANFATTNING | 13 |
| FIGURFÖRTECKNING | 19 |
| BETECKNINGAR | 21 |
| 1. INTRODUKTION | 23 |
| 1.1 Bakgrund och syfte | 23 |
| 2. LITTERATURÖVERSIKT | 24 |
| 3. DATA OM UNDERSÖKNINGEN | 30 |
| 3.1 Omfattning och utförande | 30 |
| 3.2 Jordmaterial | 31 |
| 3.3 Försöksapparat | 32 |
| 4. RESULTAT | 32 |
| 4.1 Försöksserie A | 32 |
| 4.2 Försöksserie B | 33 |
| 4.3 Förkonsolideringstryck och förkonsolideringskvot | 35 |
| 4.4 Kompressionsindex | 39 |
| 4.5 Konsolideringskoefficient | 40 |
| 5. DISKUSSION | 41 |
| 6. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER | 42 |
| 6.1 Allmänt | 42 |
| 6.2 Förkonsolideringstryck | 43 |
| 6.3 Kompressionsindex | 43 |
| 6.4 Konsolideringskoefficient | 43 |
| 6.5 Utvärdering av primärkonsolideringen | 44 |
| 6.6 Rekommendationer beträffande utförande av snabbförsök | 44 |
| 7. LITTERATUR | 45 |
| TABELLBILAGA | |
| FIGURBILAGA | |

RAPID TESTS

SUMMARY

The compression properties of clays are normally examined by means of oedometer tests. The usual procedure is that the load is applied step-by-step and that the load increment, $\Delta\sigma$, in each step is equal to the load applied earlier, σ , i.e. the load increment ratio $\Delta\sigma/\sigma = 1$. The duration of each load increment is twenty-four hours. This type of test is called conventional 24-hours test in this report. The method was introduced in 1926 by Karl Terzaghi (oral information from A Casagrande) and has for a long time been the normal way of examining the compression properties of fine grained soils.

Tests carried out in this way take a lot of time, normally at least one working week. This results in an unrationnal use of oedometers and a long waiting time unless a large number of oedometers are at hand which demands big investments and large laboratory areas. At consulting firms there are generally only a small number of oedometers which limits the number of simultaneous tests.

Another way of carrying out oedometer tests is the so called rapid tests. The principle for these tests is to increase the load as fast as the primary consolidation has been completed. Such tests can be carried out in a considerable shorter time than the 24-hours tests.

The purpose of this report is to compare rapid tests with 24-hours tests carried out by step-by-step load application and with the load increment ratio = 1.

SCOPE OF THE INVESTIGATION

The investigation has included two series of oedometer tests, called test series A and B respectively.

All tests have been carried out with the load increment ratio $\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = 1$, i.e. a doubling of the load at each increment.

In series A, which includes 7 different types of soil, four compression tests have been carried out for each soil type with a displacement of the load increments to obtain several points for the determination of the compression curve. Rapid as well as conventional oedometer tests have been carried out in series A.

The test series B includes rapid and conventional oedometer tests with measurements of the pore pressure at the bottom of the soil sample. Two types of soil have been examined in this way. In these tests the sample height was 10 mm in order to obtain the same time lag as the tests without pore pressure measurements, in which the sample was drained at both the top and the bottom and the height was 20 mm.

The rapid tests were carried out in the following way. For pressures below the preconsolidation load the time for each load increment was 15 minutes. For $\sigma' > \sigma'_c$ the time for each load increment was equal to the time which was necessary to complete the primary consolidation, i.e. $U = 100\%$. The primary consolidation was calculated according to Taylor. The consolidation process was supervised continuously so that a new loading could be done at $U = 100\%$. In series B it is possible to study how the theoretically calculated primary consolidation corresponds to the measured pore pressures.

The evaluation of the preconsolidation pressure, σ'_c , was done by Casagrande's method for the 24-hours as well as the rapid tests. In addition the σ'_c of the rapid tests were evaluated by means of the position of the maximum bending of the curve, which corresponds to the minimum bending radius, r_{\min} ,

(r_{\min} -evaluation method).

SOIL MATERIAL

The sampling sites are shown in FIG 1 and the properties of the soil samples are shown in TABLE 1 and 2. The soil samples represent the following geological formations: fresh or brackish water sedimented post-glacial clay (A4, A7, B1), fresh or brackish water sedimented glacial clay (A5, A6) and marine clay (A1, A2, A3, B2). Sample A7 is a sulphide clay (so called "svartmocka") which can be found along the Norrland coast. Sample A2 is a quick clay with a water content much higher than the liquid limit. This type of soil has earlier been analysed in other respects by Karlsson and Pusch (1967).

The shear strength of the clays is generally very low (A2, A4, A5, A7). However, two of the samples (A1, A3) can be characterized as medium firm.

All samples are normally consolidated or slightly overconsolidated with the exception of Strandbacken (sample A3) where the soil is overconsolidated.

RESULTS

Results in series A are shown in FIGS 3-9.

The compression curve in FIG 3 consists of values from the four separate oedometer tests. Through these points a medium curve has been fitted in. The spread between the four separate tests is generally small.

By means of these four separate tests a clear picture of the compression curve has been obtained. Especially the break in the curves at the pre-consolidation pressure is well defined. The medium curves are considered to give a good picture of the compression properties of the samples. How good the agreement with the in situ properties of the soil is,

depends on the degree of disturbance of the collected samples.

In series B pore pressure measurements for 24-hours as well as rapid tests were carried out. The results are shown in FIGS 10-11.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

General remark

The investigation shows that the results from rapid oedometer tests carried out with a load increment ratio = 1 are different from the 24-hours tests. The differences concern the calculated preconsolidation pressure, σ'_c , and the minimum value of the coefficient of consolidation. Thus these parameters are dependent on the loading time.

By experience the 24-hours tests have proved to give acceptable values. The differences between the 24-hours tests and the rapid tests which have been measured does not seem to prevent the use of the results from rapid tests in practice, if the preconsolidation pressure is evaluated by the r_{min} -method.

The relationship between rapid test values and 24-hours test values, which have been obtained in this investigation are only valid for the accomplished way of loading. Other loading times in the rapid test should have given other results.

Preconsolidation pressure, σ'_c

The preconsolidation pressure is dependent on the duration of the loading time so that σ'_c increases with a shorter loading time, see FIG 13. The difference can mostly be explained by the fact that a larger part of secondary compression has time to develop at a longer duration.

The test carried out have shown that the precon-

consolidation pressures evaluated by Casagrande's method are 8-27%, on an average 15%, higher at rapid tests than at 24-hours tests. However, if σ'_c in the rapid tests is evaluated by the r_{\min} -method the rapid test values come closer to the 24-hours values (evaluated by Casagrande). The rapid test values are on an average only 4% higher and at a maximum 15% higher compared to 24-hours values.

Compression index, ϵ_2

The compression index, ϵ_2 , becomes on the whole equal for rapid and 24-hours tests in the region immediately above the preconsolidation pressure, see FIG 17. For higher vertical pressures the rapid tests give somewhat higher ϵ_2 -values.

Coefficient of consolidation, c_v

The minimum value of the coefficient of consolidation, c_v , which occurs in the load increment above the preconsolidation pressure, is generally higher at rapid tests, see FIG 18.

However, the coefficient of consolidation, c_v , shows no clear dependence on the way of loading. The rapid test values are both larger and smaller than the 24-hours values. The values which are smaller than the 24-hours values are sample A5 and A7 which also have the highest liquid limits 90% and 136% respectively.

For higher pressures the two types of tests give equal results.

Taylor's method gives higher c_v -values than Casagrande's method, see FIG 19.

Evaluation of the primary consolidation

A comparison between different methods to evaluate the end of the primary consolidation at a load in-

crement shows that the method according to Casagrande gives considerably higher time values than Taylor and the "pore pressure method" and that the values according to the "pore pressure method" lie between Taylor's and Casagrande's values.

Recommendations concerning the carrying out of rapid tests

The following procedure is recommended for the practical carrying out of rapid tests on normally consolidated or slightly overconsolidated clay soils.

At loadings below σ'_c : At least 2 load increments with a duration of 15 minutes.

At loadings over σ'_c : At least 3 load increments with a duration of 2 hours. For organic soils a duration of more than 2 hours is required.

Estimation of σ'_c before the test can be done by means of Hansbo's formula
$$\sigma'_c = \frac{\tau_{fu}}{0,45 \cdot w_L}$$

Evaluation of σ'_c : σ'_c is equal to that σ' -value in the log σ' - ϵ -diagram which corresponds to the position of the maximum bending of the compression curve (r_{min} -method).

If oedometers with manual loading are used and the test cannot be completed during a working day the apparatus can be locked over night and a new load can be applied the following day.

SNABBA ÖDOMETERFÖRSÖK

SAMMANFATTNING

Lerors kompressionsegenskaper undersöks normalt med ödometerförsök. Det vanliga förfarandet är att belastningen påförs stegvis och att lastökningen, $\Delta\sigma$, i varje steg är lika med den tidigare påförda lasten, σ , dvs lastökningskvoten $\Delta\sigma/\sigma = 1$. Varje laststeg får verka under ett dygn. Denna försökstyp kallas dygnsförsök i föreliggande rapport. Metoden introducerades 1926 av Karl Terzaghi (muntlig uppgift från A Casagrande) och har sedan länge varit det normala sättet att undersöka finkorniga jordars kompressionsegenskaper.

Försök utförda på detta sätt är tidskrävande och tar normalt minst en arbetsvecka. Detta medför bl a orationellt utnyttjande av ödometrar och lång väntetid såvida inte ett stort antal ödometrar finns till hands, vilket dock kräver stora investeringar och stora laboratorieytor. På konsultfirmor finns som regel endast ett fåtal ödometrar, vilket begränsar antalet samtidiga försök.

Ett annat sätt att utföra ödometerförsök är s k snabbförsök. Principen för dessa försök är att öka lasten när primärkonsolideringen avslutats. Sådana försök kan genomföras på avsevärt kortare tid än dygnsförsök.

Syftet med föreliggande undersökning är att jämföra snabbförsök med dygnsförsök utförda med stegvis påförd belastning och med lastökningskvoten = 1.

UNDERSÖKNINGENS OMFATTNING OCH UTFÖRANDE

Undersökningen har omfattat två serier ödometerförsök, kallade försöksserie A respektive B. Alla försök har utförts med lastökningskvoten $\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = 1$, dvs en fördubbling av lasten vid pålastning.

I serie A, som omfattar 7 olika jordtyper, har fyra

konventionella standardförsök utförts på och samma jordtyp med förskjutning av laststegen för att erhålla fler punkter för bestämning av kompressionskurvan. Såväl snabba som konventionella ödometerförsök har utförts i serie A.

Försöksserie B omfattar snabba och konventionella ödometerförsök med portrycksmätning. Två jordtyper har undersökts på detta sätt. Vid dessa försök var provhöjden 10 mm, för att man skulle erhålla jämförbara tidsförlopp med försöken utan portrycksmätning, som hade dubbelsidig dränering och provhöjden 20 mm.

Snabbförsöken utfördes så att lasttiden för laster under förkonsolideringslasten var 15 min. För $\sigma' > \sigma'_c$ fick varje laststeg verka så lång tid som erfordrades för primärkonsolideringens fullbordande, dvs $U=100\%$. Primärkonsolideringen utvärderades enligt Taylor. Tidsförloppen övervakades kontinuerligt så att pålastning kunde ske vid $U=100\%$. I serie B kan man studera hur den teoretiskt utvärderade primärkonsolideringen stämmer med de uppmätta portrycken.

Utvärderingen av förkonsolideringstrycken, σ'_c , utfördes enligt Casagrandes metod för både dygns- och snabbförsöken. För snabbförsöken användes dessutom läget för kompressionskurvans maximala krökning (minsta krökningradien) för utvärdering av σ'_c (r_{\min} -metoden).

JORDMATERIAL

Provtagningsplatser för de undersökta jordproverna framgår av FIG 1. Jordprovernas egenskaper har sammanställts i TABELL 1 och 2. Jordproverna representerar följande geologiska bildningar: söt- eller brackvattenavsatt postglacial lera (A4, A7, B1), söt- eller brackvattenavsatt glacial lera (A5, A6) och marin lera (A1, A2, A3, B2). Prov nr A7 är en sulfidlera (s k svartmokka) som förekommer utmed Norrlandskusten. Prov nr A2 är en kvicklera med en vattenkvot, w , som är mycket högre än flytgränsen. Denna jordtyp har tidigare undersökts i andra avseenden av Karlsson och Pusch (1967).

Lerornas skjuvhållfasthet är i allmänhet mycket låg (A2, A4, A5, A7). Två av proverna (A1, A3) kan emellertid karakteriseras som medelfasta.

Samtliga prov är normalkonsoliderade eller svagt överkonsoliderade, med undantag av Strandbacken (prov A3) där jorden är överkonsoliderad.

RESULTAT

Resultaten i försöksserie A redovisas i FIG 3-9. Kompressionskurvan i FIG 3 består av värden från de fyra enskilda ödometerförsöken. Genom dessa punkter har en medelkurva passats in. Spridningen mellan de fyra delförsöken är i allmänhet liten.

Med hjälp av de fyra delförsöken har en klar bild av kompressionskurvans utseende erhållits. Framför allt framträder brytningen i kurvorna vid förkonsolideringsstrycket med skärpa. Medelkurvorna kan anses ge en god bild av de upptagna provernans kompressionsegenskaper. Hur god överensstämmelsen med jordens in situ-egenskaper är beror på störningsgraden hos de upptagna proverna.

I försöksserie B utfördes portrycksmätning för såväl dygns- som snabbförsök. Resultaten redovisas i FIG 10-11.

SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Allmänt

Föreliggande utredning visar att resultaten från snabba ödometerförsök utförda med stegvis belastning (lastökningskvot = 1) och i ödometerutrustning av standardtyp skiljer sig från dygnsförsöksresultaten. Skillnaden gäller framför allt det (med Casagrandes metod) utvärderade förkonsolideringstrycket, σ'_c , och minimivärdet på konsolideringskoefficienten, c_v . Dessa parametrar är sålunda beroende av belastningstiden.

Dygnsförsöken har erfarenhetsmässigt visat sig ge godtagbara värden. De skillnader mellan dygnsförsök och snabbförsök som uppmätts bedöms inte utgöra något

hinder mot att resultat från snabbförsök utnyttjas för praktiskt bruk.

De samband mellan snabbförsöksvärden och dygnsförsöksvärden som erhållits i denna utredning och som sammanfattas nedan, gäller endast för det genomförda belastningssättet. Andra belastningstider i snabbförsöken skulle ha givit andra resultat.

Förkonsolideringstryck, σ'_c

Förkonsolideringstrycket σ'_c är beroende av belastningstidens varaktighet på så sätt att σ'_c ökar med kortare lasttid, se FIG 13. Skillnaden kan till större delen förklaras av att större andel sekundär kompression hinner utbildas vid längre varaktighet.

De utförda försöken har visat att förkonsolideringstrycken utvärderade enl Casagrande ligger 8-27%, i genomsnitt 15%, högre vid snabbförsök än vid dygnsförsök. Utvärderas förkonsolideringstrycken från snabbförsök enl r_{min} -metoden fås värden som ligger mycket nära dygnsvärdena, maximalt 15% högre och i genomsnitt 4% högre.

Kompressionsindex, ϵ_2

Kompressionsindex, ϵ_2 , blir i stort sett lika för snabb- och dygnsförsök i regionen närmast över förkonsolideringstrycket, se FIG 17. För högre vertikaltryck ger snabbförsöken något högre värden.

Konsolideringskoefficient, c_v

Minimivärdet på konsolideringskoefficienten, c_v , som inträffar i laststeget över förkonsolideringstrycket, är i allmänhet högre vid snabbförsök, se FIG 18.

Konsolideringskoefficienten, c_v , visar emellertid inget entydigt beroende av belastningssättet. Snabbvärdena ligger både över och under dygnsvärdena. De värden som är mindre än dygnsvärdena är prov A5 och A7 som också har de högsta konflytgränserna 90 resp 136%.

För högre tryck ger emellertid de båda försökstyperna likvärdiga resultat.

Taylor's metod ger högre c_v -värden än Casagrandes metod, se FIG 19.

Utvärdering av primärkonsolideringen

Jämförelse mellan olika metoder att utvärdera primärkonsolideringens slut i ett laststeg visar att metoden enligt Casagrande ger betydligt högre tidsvärden än Taylor och "portrycksmetoden" samt att värdena enligt "portrycksmetoden" ligger mellan värdena enligt Taylor och Casagrande.

Rekommendationer beträffande utförande av snabbförsök

För praktiskt utförande av snabbförsök på normalkonsoliderade eller något överkonsoliderade lerjordar rekommenderas följande förfarande.

Vid belastningar under σ'_C : Minst 2 laststeg med 15 min varaktighet.

Vid belastningar över σ'_C : Minst 3 laststeg med 2 tim varaktighet. För organiska jordar (gyttja och dytorv) krävs >2 tim.

σ'_C kan före försöket uppskattas m h a Hansbos formel

$$\sigma'_C = \frac{\tau_{fu}}{0,45 \cdot w_L}$$

Utvärdering av σ'_C : σ'_C ansätts det σ -värde i $\log \sigma$ - ϵ -diagrammet som läget för kompressionskurvans största krökning (minsta krökningsradie) har (r_{min} -metoden).

Om ödometrar med manuell lastpåföring används och försöket inte hinner slutföras under en arbetsdag, kan apparaten låsas och ny last påläggas följande dag.

FIGURFÖRTECKNING

FIG NR

1. Provtagningsplatser
2. Skiss över ödometerutrustning med portrycks-
mätning
3. Ödometerförsök prov A1
 - a Dygnsförsök
 - b Snabbförsök
 - c Jämförelse mellan dygnsförsök och snabbförsök
4. Ödometerförsök prov A2
 - a Dygnsförsök
 - b Snabbförsök
 - c Jämförelse mellan dygnsförsök och snabbförsök
5. Ödometerförsök prov A3
 - a Dygnsförsök
 - b Snabbförsök
 - c Jämförelse mellan dygnsförsök och snabbförsök
6. Ödometerförsök prov A4
 - a Dygnsförsök
 - b Snabbförsök
 - c Jämförelse mellan dygnsförsök och snabbförsök
7. Ödometerförsök prov A5
 - a Dygnsförsök
 - b Snabbförsök
 - c Jämförelse mellan dygnsförsök och snabbförsök
8. Ödometerförsök prov A6
 - a Dygnsförsök
 - b Snabbförsök
 - c Jämförelse mellan dygnsförsök och snabbförsök
9. Ödometerförsök prov A7
 - a Dygnsförsök
 - b Snabbförsök
 - c Jämförelse mellan dygnsförsök och snabbförsök
10. Ödometerförsök prov B1

| | | |
|---|-------------------------------|-------------|
| a | Portrycksmätning | Dygnsförsök |
| b | Tidsförlopp - kvadratrotskala | Dygnsförsök |
| c | Tidsförlopp - logskala | Dygnsförsök |
| d | Portrycksmätning | Snabbförsök |
| e | Tidsförlopp - kvadratrotskala | Snabbförsök |

11. Ödometerförsök prov B2
 - a Portrycksmätning Dygnsförsök
 - b Tidsförlopp - kvadratrotskala Dygnsförsök
 - c Tidsförlopp - logskala Dygnsförsök
 - d Portrycksmätning Snabbförsök
 - e Tidsförlopp - kvadratrotskala Snabbförsök
12. Utvärdering av primärkompression. Jämförelse mellan Taylors metod, Casagrandes metod och portrycksmätning.
13. Jämförelse mellan förkonsolideringstryck från dygnsförsök och förkonsolideringstryck från snabbförsök i försöksserie A.
14. Jämförelse mellan ödometerförsök och empiriska metoder att bestämma förkonsolideringstrycket.
15. Jämförelse mellan förkonsolideringstryck utvärderade från enskilda ödometerförsök och från medelkurva.
 - a Dygnsförsök
 - b Snabbförsök
16. Förkonsolideringskvot $\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}$, för enskilda ödometerförsök.
 - a Dygnsförsök
 - b Snabbförsök
17. Jämförelse mellan kompressionsindex från dygnsförsök och från snabbförsök i försöksserie A. Maximivärden enligt FIG 3-9.
18. Jämförelse mellan konsolideringskoefficient enligt Taylor från dygnsförsök och från snabbförsök i försöksserie A. Minivärden enligt FIG 3-9.
19. Jämförelse mellan konsolideringskoefficient enligt Taylors metod och Casagrandes metod. Minivärden enligt FIG 3-9.

BETECKNINGAR

(Beträffande definitioner hänvisas till Geoteknisk ordlista, Tekniska nomenklaturcentralens publikation nr 59, utgiven år 1975).

| | |
|----------------|-----------------------------|
| c_v | konsolideringskoefficient |
| S_t | sensitivitet |
| t | tid |
| u | portryck |
| w | naturlig vattenkvot |
| w_L | flytgräns |
| w_P | plasticitetsgräns |
| ϵ | kompression |
| ϵ_2 | kompressionsindex |
| ρ | skrymdensitet |
| σ | (vertikal) totalspänning |
| σ' | (vertikal) effektivspänning |
| $\Delta\sigma$ | laststeg vid ödometerförsök |
| σ'_o | effektivt överlagringstryck |
| σ'_c | förkonsolideringstryck |
| τ_{fu} | odränerad skjuvhållfasthet |

1. INTRODUKTION

1.1 Bakgrund och syfte

Lerors kompressionsegenskaper undersöks normalt med ödometerförsök. Det vanliga förfarandet är att belastningen påförs stegvis och att lastökningen $\Delta\sigma$ i varje steg är lika med den tidigare påförda lasten, σ , dvs lastökningskvoten $\Delta\sigma/\sigma = 1$. Varje laststeg får verka under ett dygn. Denna försökstyp kallas dygnsförsök i föreliggande rapport.

Metoden introducerades 1926 av Karl Terzaghi (muntlig uppgift från A Casagrande) och har sedan länge varit det normala sättet att undersöka finkorniga jordars kompressionsegenskaper.

Försök utförda på detta sätt är tidskrävande och tar normalt minst en arbetsvecka. Detta medför bl a orationellt utnyttjande av ödometrar och lång väntetid såvida inte ett stort antal ödometrar finns till hands, vilket dock kräver stora investeringar och stora laboratorieytor. På konsultfirmor finns som regel endast ett fåtal ödometrar, vilket begränsar antalet samtidigt försök.

Ett annat sätt att utföra ödometerförsök är s k snabbförsök. Principen för dessa försök är att öka lasten när primärkonsolideringen avslutats. Sådana försök kan genomföras på avsevärt kortare tid än dygnsförsök.

Syftet med föreliggande undersökning är att jämföra snabbförsök med dygnsförsök utförda med stegvis påförd belastning och med lastökningskvoten = 1.

Här skall för fullständighetens skull nämnas att ödometerförsök även kan utföras med kontinuerligt påförd belastning, typ CRS ("constant rate strain" = konstant deformationshastighet), portrycksstyrda försök, CGT ("constant gradient test") och försök med konstant

spänningsökning. För dessa försökstyper krävs emellertid dyrbarare utrustning. Fördelarna med dessa försökstyper är, att man erhåller flera punkter på kompressionskurvan som därigenom blir korrekt uppritad och att såväl belastning som avläsning och uppritning kan automatiseras. Vidare kan försöken utföras snabbt. Som exempel kan nämnas, att med de ödometrar för CRS-försök, som nu finns på SGI, kan man på ett dygn utföra försök som med traditionella dygnsförsök tar en vecka.

Ödometrar för CRS-försök finns emellertid ännu endast på ett fåtal laboratorier, och utrustningen är som nämnts också dyrbar. Det är därför fortfarande av stort intresse att kunna använda den gamla typen av ödometrar på ett tidsbesparande sätt. I denna rapport kommer fortsättningsvis ej kontinuerliga försök att behandlas utan alla resultat är från försök med den traditionella typen av ödometrar med stegvis påförd belastning.

2. LITTERATURÖVERSIKT

I följande litteraturöversikt har medtagits undersökningar av kompressionsegenskaper där främst effekten av olika belastningssätt studerats.

Det bör observeras, att direkta jämförelser mellan resultaten av utländska och svenska kompressionsförsök är svåra att göra beroende på olikheter i jordarnas sammansättning, ålder och belastningshistoria samt olikheter i provstorlek och apparatur. Flera av de refererade undersökningarna är dessutom utförda på laboratorietillverkade prover medan försöken i föreliggande utredning är utförda på ostörda prover från naturligt avlagrade jordar.

Langer (1936) undersökte effekten av konstanta laststeg i tre olika serier, $\Delta\sigma = 20,7$ resp 4 kPa per dygn jämte den normala lastökningen $\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = 1$ på leror - "argile plastique" - med lerhalterna 37 och 64%. Den

snabbaste lastökningen förorsakade den största kompressionen, vilket Langer förklarade med att snabb lastökning åstadkommer "brott" i lerstrukturen, dvs överskrider sammanhållningskrafterna mellan lerpartiklarna. För en jord med mycket liten lerhalt (ca 15%) fann Langer att kompressionen blev densamma för olika belastningshastigheter. Langer drog slutsatsen att olika belastningshastigheter inverkar olika beroende på jordens styvhet (egentligen lerhalt) och permeabilitet. Jord med högre halt av ler skulle sålunda ha relativt stort motstånd (fler antal kontaktpunkter mellan lerpartiklar) mot kompression vid låg belastningshastighet, dvs ha relativt liten kompressibilitet under sådana förhållanden jämfört med leror med liten lerhalt.

Taylor (1942) utförde ödometerförsök med åtta olika lastökningskvoter, $\frac{\Delta\sigma}{\sigma}$, från 0,2 till 2,4 på tillverkade lerprover. Kompressionskurvorna (portal - logspänning) befanns vara raka och parallella. (Alla lastökningskvoter skulle därmed ge samma kompressionsindex, förf.anm.).

När Taylor avsatte konsolideringskoefficienten, c_v , utvärderad enligt kvadratrotmetoden, mot effektivtrycket visade det sig, att c_v -talet var tydligt beroende av lastökningskvoten och ökade i princip linjärt med ökande värde på lastökningskvoten.

Taylor jämförde permeabilitetskoefficienten mätt med direkta permeabilitetsförsök mellan två laststeg i kompressionsförsöken med det indirekt utvärderade värdet. De direkt bestämda värdena visade mindre spridning än det indirekt bestämda och det fanns ingen märkbar tendens till inverkan av lastökningskvoten. De indirekta bestämda värdena visade mycket stor spridning och var klart beroende av lastökningskvoten.

För låga lastökningskvoter blev de indirekta värdena mycket lägre än de direkt bestämda. Mellan lastökningskvoterna 1,0 och 2,4 ligger de indirekta bestämda

värdena i stort sett inom spridningsintervallet för de direkt bestämda.

Northey (1955) jämförde ödometerförsök med 20 min och 24 tim belastningstid för varje steg, på såväl omrörda som ostörda lerprover. Lastökningskvoten var 1 vid samliga försök. Anledningen till att belastningstiden 20 min valdes var att man skulle hinna med en fullständig belastningscykel under en arbetsdag.

De omrörda proverna härrörde från fyra lertyper med $w_L = 29-277\%$ och $w_p = 28-47\%$ och beskrivna som "soft" till "very stiff". För de ostörda proverna (två lertyper) var $w_L = 44$ resp 113% och $w_p = 28$ resp 73% och fastheten "very stiff". Lerhalterna var 19 resp 34%. Enligt Northey's undersökningar gav de snabba försöken väsentligen samma resultat som dygnsförsöken med avseende på förkonsolideringstryck, konsolideringskoefficient och kompressionsindex. Northey påpekade, att den principiella skillnaden mellan de två belastningssätten var att under den kortare belastningstiden hinner mycket mindre del av sekundärkompressionen utbildas. Detta ansågs emellertid inte utgöra någon nackdel eftersom uppgifter om den sekundära kompressionen sällan eller aldrig utnyttjas vid sättningsberäkningar.

Leonards och Ramiah (1959) undersökte tidseffekten vid kompressionsförsök på tillverkade lerprover med vattenkvoten = flytgränsen. I en försöksserie var laststegens varaktighet 4 tim, 1 dygn och 1 vecka. Effekten på kompressionskurvorna visade sig vara obetydlig. c_v -talet visade sig däremot vara beroende av belastningstiden förutom av jordart och konsolideringstryck.

Leonards och Ramiah konstaterade, att när lastökningen, $\Delta\sigma$, får ligga på så länge att det mesta av primärkonsolideringen hinner utbildas och när sekundärkompressionen inte är stor, har belastningstiden vid ett ödometerförsök endast obetydlig inverkan på kompressions-

kurvornas utseende vid konstant lastökning $\Delta\sigma$ eller konstant lastökningskvot $\frac{\Delta\sigma}{\sigma}$. Deras slutsats var, att tiden för ödometerförsök skulle avsevärt kunna förkortas om lasten i varje steg finge verka så länge att primärkonsolideringen kunde avslutas. Författarna fastslog att c_v -talet däremot kan variera och avvika betydligt från fältvärdet oberoende av försökstyp.

Reduktion av vattenhalten visade en effekt i kompressionsdiagram motsvarande överkonsolidering. De olika proavernas plasticitet inverkade på kompressionskurvornas lägen i kompressionsdiagrammet.

En serie försök där tiden för ett visst laststeg fick ligga kvar under 12 veckor och den påföljande lastökningen utfördes med olika lastökningskvoter visade att för små kvoter kunde ett s k kvasiförkonsolideringsstryck observeras som var betydligt större än det tidigare konsolideringstrycket. Detta förklarades med att det under en period av konstant belastning utbildas förband mellan lerpartiklarna. Förbanden är dock spröda och bryts snabbt ned när spänningen överskrider ett kritiskt värde.

Hamilton och Crawford (1959) utförde tre serier av försök:

1. Stegvis lastökning med lastökningskvoterna $\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = 1, 1/2, 1/3$ och $1/10$.
2. Konstant spänningsökning med belastningshastigheter mellan 300 och 10 kPa per tim.
3. Konstant deformationshastighet från 0,3% till 9% per tim.

För lastökningskvoterna 1, 1/2 och 1/3 erhöles utvärderade förkonsolideringstryck som varierade mellan 197 och 278 kPa.

Genom att avsätta portalsändringen, Δe , för varje

laststeg i samtliga försök kunde Hamilton och Crawford rita in en medelvärdeskurva som gav $\sigma'_c = 240$ kPa. Storleken på lastökningskvoten angavs ha obetydlig inverkan på kompressionskurvans utseende. Enligt Hamilton och Crawford finns för ett givet jordprov ett entydigt samband mellan portal och spänning och punkter på denna kurva kan bestämmas med olika lastökningskvoter. Detta förefaller emellertid egendomligt med hänsyn till de redovisade skillnaderna i förkonsolideringstryck.

Försöken med konstant spänningsökning visade att kompressionskurvans brytning förflyttades till lägre spänningar vid lägre hastigheter. Vid lägsta hastigheten (14 kPa per tim) överskred dock värdet på σ'_c betydligt ovan angivna värden (stegvis lastökning) vilket antogs bero på att porvattentryck byggs upp i provet även vid små hastigheter i denna typ av försök.

I närheten av σ'_c tycks nedbrytningen av jordstrukturen i stället för permeabiliteten vara den faktor som bestämmer kompressionshastigheten.

Vid försöken med konstant deformationshastighet visade det sig att det lägsta värdet på σ'_c uppgick till 270 kPa för de lägsta värderna på deformationshastigheten, $\epsilon = 0,3\%$ och $4,5\%$ per tim, jämfört med 240 kPa för stegvis lastökning. För $\epsilon = 9\%$ per tim erhöles $\sigma'_c = 340$ kPa. Tyvärr utfördes ingen portrycksmätning.

Crawford (1964) ansåg att både den primära och sekundära kompressionen utgör empiriska uppdelningar av en kontinuerlig kompressionsprocess. Bidraget från båda är i princip beroende av försöksförfarandet, speciellt belastningshastigheten. För sina undersökningar använde Crawford en marin lera med sensitiviteten 50, lerhalten 65%, vattenkvoten 58% och flytgränsen 54%. Tiden för varje laststeg var A) 1 dag, B) 1 vecka och C) tiden för primärkonsolideringen (snabbförsök). Lastökningskvoten var $\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = 1$ vid alla försök. Mätning av portryck utfördes för serie A och C.

Ett linjärt samband mellan förhållandet portryck/pålagd last, $\frac{u}{\Delta\sigma}$, och deformation befanns föreligga för större delen av laststeget. Extrapolering av det linjära sambandet till skärning med deformationsaxeln gav tiden för $u = 0$. Dessa värden på tiden för primärkonsolidering var mindre än motsvarande värden utvärderade enligt Casagrandes metod.

Jämförelse mellan serierna A, B och C visade att jungfrukurvorna var parallella. Kurvorna böjde emellertid av vid lägre tryck i kompressionsdiagrammet vid ökande varaktighet på laststegen vilket förklarades bero på tilltagande del sekundär kompression med ökande lasttid. Det utvärderade förkonsolideringstrycket var 133 kPa för veckoförsök, 185 kPa för dygnsförsök och 265 kPa för snabbförsök.

I ett diskussionsinlägg, Altscheffl et al (1965), påpekas att skillnaden mellan kompressionskurvorna för Crawford's undersökning i stor utsträckning beror på hur man väljer att rita kurvorna, eftersom den sekundära delen ökar i förhållande till primärdelen när långtidförsök utförs på tunna prov. Altscheffl rekommenderar därför att kompressionskurvorna baseras på den primära delen vid sådana försök.

Bjerrum (1967) behandlar effekten av vad han kallar "delayed consolidation" (motsvarar i stort sett sekundär konsolidering) dvs konsolidering förorsakad av konstant belastning under en viss tid. "Delayed" konsolidering medför ett extra "motstånd" mot kompression som ger sig till känna vid förnyad belastning i att jorden uppför sig som överkonsoliderad. "Förkonsolideringstrycket" ökar med ökande belastningshastighet. Detta gäller enligt Bjerrum dock endast vid "instant compression" (motsvarar primär konsolidering). Vid ökande varaktighet för belastningsstegen minskar överkonsolideringseffekten. "Instant compression" följs emellertid av "delayed compression". Den praktiska betydelsen av förkonsolideringstrycket förorsakat av "delayed

compression" är begränsad till lerlager vars ålder är stor i förhållande till en byggnads livslängd. Effekten av "delayed consolidation" är för norska förhållanden endast av betydelse i relativt högplastiska postglaciala leror enligt Bjerrum.

Förhöjda konsolideringstryck kan även uppstå på grund av kemiska orsaker. Det är främst vittring och utfällning av cementerande substans som härvid är av betydelse. Vittring som bl a innebär katjonbyte har konstaterats ned till 6-7 m djup i norska lerlager. Det är Na^+ som utbyts mot K^+ och leran får därigenom ökad skjuvhållfasthet. Vittringen möjliggörs bl a genom nedsipprande vatten. Effekten minskar med djupet.

3. DATA OM UNDERSÖKNINGEN

3.1 Omfattning och utförande

Undersökningen har omfattat två serier kompressionsförsök, kallade försöksserie A respektive B. Alla försök har utförts med lastökningskvoten $\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = 1$, dvs en fördubbling av lasten vid pålastning.

Samtliga prover är tagna med standardiserad kolvprovtagare (St I).

Serie A utgörs av fyra konventionella standardförsök på en och samma jordtyp med förskjutning av laststegen för att erhålla fler punkter för bestämning av kompressionskurvan.

De första laststegen har förskjutits så att de fyra enskilda försöken startar med lasterna 10, 12,5, 15 respektive 17,5 kPa för proverna A2-A7 och med lasterna 20, 25, 30 respektive 35 kPa för prov A1. Serie A har utförts med såväl snabba som konventionella ödometerförsök. Provhöjden i serie A var 20 mm. Data om jordtyperna redovisas i avsnitt 3.2.

Försöksserie B omfattar dels snabba, dels konventionella

ödometarförsök med portrycksmätning. Två jordtyper har undersökts på detta sätt. Vid dessa försök var provhöjden 10 mm, för att man skulle erhålla jämförbara tidsförlopp med försöken utan portrycksmätning, som hade dubbelsidig dränering.

Snabbförsöken utfördes så att lasttiden för laster under förkonsolideringslasten var 15 min. För $\sigma' > \sigma'_C$ fick varje laststeg verka så lång tid som erfordrades för primärkonsolideringens fullbordande, dvs $U = 100\%$. Primärkonsolideringen utvärderades enligt Taylor. Tidsförloppen övervakades kontinuerligt så att pålastning kunde ske vid $U = 100\%$. I serie B kan man studera hur den teoretiskt utvärderade primärkonsolideringen stämmer med de uppmätta portrycken.

Utvärdering av förkonsolideringstrycken, σ'_C , utfördes enligt Casagrandes metod för både dygns- och snabbförsöken. För ^{snabb}dygnsförsöken utvärderades dessutom σ'_C enligt en metod, som innebär att σ'_C ansätts som det σ' -värde som sammanfaller med kompressionskurvans maximala krökning (minsta krökningsradien). Metoden benämns här r_{\min} -metoden.

Kolvborrproverna har disponerats så att nederdelen av jordprovet i den mellersta provtagningscylindern utnyttjats för dygnsförsöken, medan snabbförsöken utförts på överdelen av provet i den undre provcylindern.

3.2 Jordmaterial

Provtagningsplatser för de undersökta jordproverna framgår av FIG 1. Jordprovernas egenskaper har sammanställts i TABELL 1 och 2. Jordproverna representerar följande geologiska bildningar: söt- eller bräckvattenavsatt postglacial lera (A4, A7, B1), söt- eller bräckvattenavsatt glacial lera (A5, A6) och marin lera (A1, A2, A3, B2). Prov nr A7 är en sulfidlera (s k svartmocka) som förekommer utmed Norrlandskusten. Prov nr A2 är en kvicklera med en vattenkvot, w , som är mycket högre än flytgränsen. Denna jordtyp har tidigare undersökts i andra avseenden av Karlsson och Pusch (1967).

Lerornas skjuvhållfasthet är i allmänhet mycket låg (A2, A4, A5, A7). Två av proverna (A1, A3) kan emellertid karakteriseras som medelfasta.

Samtliga prov är normalkonsoliderade eller svagt överkonsoliderade, med undantag av Strandbacken (prov A3) där jorden är överkonsoliderad.

3.3 Försöksapparat

Kompressionsförsöken har utförts i SGI ödometrar. Ödometerringen består av keramiskt material och har innerdiametern 50 mm. Ringen har på insidan smorts med Rocol (molybdenbisulfid) för att nedbringa friktionen.

Försöken utan portrycksmätning utfördes med filterstenar under och ovan lerprovet, dvs med dubbelsidig dränering. Vid försöken med portrycksmätning mättes portrycket vid centrum av provets underdel varvid sålunda dränering endast kunde ske uppåt till den övre filterstenen. Portrycksmätningen genomfördes med en portrycksmätare av membrantyp. Portrycksvärdena och hoptryckningen registrerades automatiskt med hjälp av en skrivare. Portrycksmätarens utseende och funktion framgår av FIG 2.

4. RESULTAT

4.1 Försöksserie A

Avsikten med försöksserie A var att man skulle erhålla punkter på kompressionskurvan mycket tätare än vad som görs med ett enstaka ödometerförsök. Härigenom kan den "verkliga" kompressionskurvan, här kallad medelkurva, konstrueras fram med större noggrannhet jämfört med ett enda ödometerförsök. Det är framförallt i området omkring förkonsolideringstrycket, som viktig information kan gå förlorad om belastningsstegen hamnar olyckligt i förhållande till σ'_c eftersom kompressionskurvans utseende är beroende av rittekniken vid konstruktionen av kurvan.

Resultaten i försöksserie A redovisas i FIG 3-9. Varje

kompressionskurva i FIG 3-9 består av värden från de fyra olika ödometerförsöken. Genom dessa punkter har en medelkurva passats in för varje jordprov.

Spridningen mellan de fyra delförsöken är i allmänhet liten. Vid $\sigma' > \sigma'_c$ uppstår för några jordtyper en viss spridning mellan delförsöken. Spridningen består i en parallellförskjutning mellan delförsökens kompressionskurvor. Denna parallellförskjutning börjar vid förkonsolideringstrycket.

Med hjälp av de fyra delförsöken har en klar bild av kompressionskurvans utseende erhållits. Framförallt framträder brytningen i kurvorna vid förkonsolideringstrycket med skärpa. Medelkurvorna kan anses ge en god bild av de upptagna provernas kompressionsegenskaper med hänsyn till försökens utförande. Hur god överensstämmelsen med jordens in situ-egenskaper är beror på störningsgraden hos de upptagna proverna.

I FIG 3-9 har även redovisats kompressionsindex, $\epsilon_2\%$, och konsolideringskoefficienten, c_v m²/s, utvärderad enligt dels Taylor (1942) och dels Casagrande. För snabbförsöken medgav emellertid ej kurvorna för tidsförloppen någon utvärdering enligt Casagrandes metod.

Variationer i vattenkvoterna mellan delproverna är med undantag av försök A2 och A7 mycket liten. Proverna i dessa försök har emellertid mycket höga vattenkvoter, vilket förklarar den större variationen.

4.2 Försöksserie B

I försöksserie B utfördes portrycksmätning för såväl dygns- som snabbförsök. Resultaten redovisas i FIG 10 och 11.

Utvärdering av primärkompressionen enligt Taylor och Casagrande har jämförts med portrycksmätning, se FIG 10-11.

Kompressionen för $u = 0$ har utvärderats enligt en metod angiven av Crawford (1964, s 92) där den raka delen av portryckskurvan extrapoleras till skärning med abscissan, där $u = 0$. I FIG 12 har skillnaderna mellan de tre metoderna att utvärdera primärkompressionen redovisats grafiskt. Värdena enligt portrycksmetoden har valts som referensvärden, ϵ_{ref} och t_{ref} , i figuren. Kompressions- och tidsvärden enligt Taylor och Casagrande har sålunda minskats med värdena från portrycksmetoden. Av figuren kan följande utläsas:

- o Taylor-metoden ligger närmast portrycksvärdena i både B1 och B2. För försök B1 är överensstämmelsen mycket god med undantag för laststeget 40-80 kPa.

Avvikelsen i kompressionsvärdena är emellertid relativt små (maximum 1%) även för Casagrande-metoden.

- o Tidsvärdena enligt Casagrande avviker kraftigt från tiderna erhållna vid portrycksmätningen. Endast för två laststeg (i B2) är avvikelsen mindre än 30 min. Största avvikelsen är drygt 2 timmar (laststeg 0-20 i B2).
- o Värdena enligt "portrycksmetoden" ligger mellan värdena för de båda andra metoderna i samtliga laststeg.

Det bör betonas, att det förhållandet att värdena från portrycksmetoden valts som referensvärden ej betyder att dessa värden utgör den korrekta beskrivningen av primärkonsolideringen, bl a beroende på att portrycket endast har mätts vid den centrala delen av provets undersida.

Portryckskurvornas utseende stämmer väl överens med de kurvor som Crawford (1964) erhöill vid sina försök. Portryckmätningarna antyder, att 70-85% av den pålagda lasten vid dygnsförsöken bärs upp av porvattnet i

belastningsstegens initialskede. Under dygnsförsöken har portrycken enligt mätningarna hunnit nedgå till noll i samtliga laststeg.

Vid snabbförsöken, FIG 10 d-e och 11 d-e, har däremot uppenbarligen portrycken inte blivit utjämnade i alla laststeg.

I snabbförsök B1, FIG 10 d-e, har i laststeget 40-80 kPa kvarstått ett portryck som i laststeget 80-160 kPa medfört att portrycket i initialskedet blivit större än lastökningen $\Delta\sigma$. Om portrycksmätningen är korrekt, har laststeget 80 kPa avbrutits för tidigt, vilket verifieras av tidsförloppskurvans form, se FIG 10 e, laststeg 80 kPa. De extrapolerade tids- och kompressionsvärdena för $u = 0$ har där hamnat långt utanför de utvärderade värdena för primärkompressionen och har inlagts "svävande" på FIG 10 e.

Liknande förhållanden gäller även för snabbförsök B2, FIG 11 d-e, där det emellertid i varje laststeg efter det första steget 0-20 kPa kvarstår ett portryck, som sedan orsakar att $\frac{u}{\Delta\sigma} > 1$ i laststegens initialskede. Värdena enligt "portrycksmetoden" har inlagts "svävande" utanför tidsförloppskurvorna.

Skillnaden mellan utvärderingarna enligt Taylor och "portrycksmetoden" i snabbförsöken visar på betydelsen att göra korrekt utvärdering av primärförloppet. De krökta kurvorna som erhålls i tids-kompressionsdiagrammen, FIG 10 e och 11 e, ger möjlighet till olika utvärderingar. Om den räta linjen anpassas strikt till den raka delen på tidsförloppskurvan kan en för tidig primärkompression utvärderas.

4.3 Förkonsolideringstryck och förkonsolideringskvot

En jämförelse mellan förkonsolideringstrycken, σ'_c , erhållna från dygnsförsöken och snabbförsöken i försöksserie A redovisas i FIG 13. Värdena på σ'_c lämnas

i TABELL 3. Utvärderas snabbförsöken enl Casagrande blir σ'_c snabb 8-27% (medelvärde=15%) högre än σ'_c dygn. När r_{\min} -metoden används varierar $\frac{\sigma'_c \text{ snabb}}{\sigma'_c \text{ dygn}}$ mellan 0.90 och 1.13 (medelvärde 1.03). Tre snabbförsöksvärden ligger lägre än motsvarande dygnsförsöksvärden. Det lägsta värdet (0.90) kan ifrågasättas, eftersom kompressionskurvan för dygnsförsöket i detta fall (prov A3, se FIG 5) inte har någon väldefinierad brytning och σ'_c dygn sålunda är svår att utvärdera. Att snabbförsök ger högre σ'_c än dygnsförsök är ett sedan länge känt faktum och beror på att större andel s k sekundärkompression hinner utbildas i de långsamma försöken. Detta har påvisats av bl a Crawford (1964).

En jämförelse mellan olika metoder att utvärdera σ'_c redovisas i TABELL 3 och FIG 14 a-d. De direkta Casagrande- och r_{\min} -metoderna jämförs med två indirekta metoder. Den ena metoden är föreslagen av Hansbo (1957) och bestäms genom sambandet

$$\sigma'_c = \frac{\tau_{fu}}{0,45w_L} \quad (1)$$

där τ_{fu} är den odränerade skjuvhållfastheten bestämd med vingborr. I denna jämförelse har emellertid τ_{fu} bestämd med konprov använts. Det "fel" som härigenom uppstår bedöms vara försumbart, eventuellt med undantag för prov A1 som är taget från stort djup (35 m), eftersom konvärden normalt är lägre än vingborrvärden på stora djup beroende på en relativt stor störningseffekt på sådana prov. Den andra metoden baseras på sambandet

$$\sigma'_c = \frac{\tau_{fu}}{0,3} \quad (2)$$

som kan utläsas ur en undersökning av Karlsson och Viberg (1967).

Jämförelsen visar att de empiriska sambanden stämmer väl överens med de direkt bestämda värdena i några fall men

mycket dåligt i andra. Materialet medger emellertid inga andra generella slutsatser än att empiriska samband bör användas med försiktighet och som komplement snarare än ersättning för ödometerförsök. Ytterligare undersökning av de empiriska sambandens giltighet är önskvärd.

En jämförelse mellan förkonsolideringstryck utvärderade för de enskilda ödometerförsöken (1, 2, 3 och 4) och för tillhörande medelkurva redovisas för dygnsförsöken i FIG 15 a och snabbförsöken i FIG 15 b. De rasterfyllda staplarna anger medelvärdena av de fyra ödometerförsöken för varje prov. Förkonsolideringstrycken utvärderade från medelkurvorna för varje prov har valts som referensvärden.

Jämförelsen visar att förkonsolideringstrycken från de enskilda försöken i allmänhet ligger väl samlade kring tillhörande värde från resp medelkurva. Medelvärdena för de enskilda försöken (streckade staplar), vilka teoretiskt bör sammanfalla med medelvärdeskurvornas värden, avviker max 6% (dygnsförsök) och ca 9% (snabbförsök utvärderade enl Casagrande) och ca 12% (snabbförsök utvärderade enl r_{min} -metoden), se nedre delen av FIG 15 a-b. Man kan inte förvänta fullkomlig överensstämmelse p g a subjektiviteten vid utvärderingen och de naturliga variationerna inom varje prov.

Det är intressant att konstatera den relativt stora variationen inom några av proverna, t ex A3 dygnsförsök och A7 snabbförsök.

Variationen inom varje prov, speciellt de nämnda, visar klart och tydligt att laststegens läge i förhållande till σ'_c kan ha stor inverkan på det utvärderade förkonsolideringstryckets storlek.

Ett mått på förkonsolideringsgraden ges av kvoten mellan förkonsolideringstrycket och effektiva överlagringstrycket, $\frac{\sigma'_c}{\sigma_o}$, kallad förkonsolideringskvot.

Enligt ett preliminärt förslag från SGF:s laboratoriekommitté (manuskript till laboratorieanvisningar: Jordarternas indelning) föreslås följande indelning m h t förkonsolideringsgraden:

| Benämning | Förkonsolideringskvot |
|---|-----------------------|
| Normalkonsoliderad eller något överkonsoliderad | 1,0-1,5 |
| Överkonsoliderad | 1,5-10 |
| Starkt överkonsoliderad | >10 |

Förkonsolideringskvoten har beräknats för samtliga enskilda försök i serie A. Fördelningen av kvoterna redovisas i FIG 16 a för dygnsförsök och i FIG 16 b för snabbförsök. Det bör observeras att alla fyra delförsöken redovisas i diagrammen. Av dessa histogram framgår att fler prov blir "överkonsoliderade" vid snabbförsök - 17 vid snabbförsök utvärderade enl Casagrande och 11 enl r_{\min} -metoden mot 7 vid dygnsförsök.

Utvärderingen av förkonsolideringstrycken från de enskilda försöken påverkas i hög grad av rittekniken eftersom flera alternativa kurvor kan anpassas till försökspunkterna i många fall. Sällfors (1975) har visat att spridningen i förkonsolideringstrycket för ett standardödometerförsök, utvärderat av flera geotekniker, kan bli mycket stor - i Sällfors' fall mellan 40 och 70 kPa.

Orsakerna till överkonsolideringseffekten kan ej med säkerhet avgöras. Det bedöms emellertid att det varken är möjligt eller nödvändigt att utreda vad som orsakat överkonsolideringen för respektive prov. Generellt sett är kunskaperna om orsakerna till överkonsolidering idag otillräckliga.

De faktorer som kan ha orsakat överkonsolideringen är följande:

- Borteroderade jordmassor som tidigare belastat den nuvarande markytan.

- Lägre grundvattenstånd under någon eller flera perioder i jordlagrens historia.
- Tjäle
- Vegetation - vattenuppsugning genom rotsystem
- "Sekundär" kompression
- Kemisk omvandling - vittring, cementering.

Eftersom proverna kommer från olika platser kan orsakerna till överkonsolideringen variera från plats till plats. Från geologisk synpunkt är endast prov A3 (Strandbacken) överkonsoliderat.

Vid studier av förkonsolideringskvoterna bör man även beakta osäkerheten i beräkningen av överlagringstrycket, σ'_o . Det är främst läget av grundvattennivån som är den osäkra faktorn. Inverkan av ett felaktigt antagande om grundvattennivåns läge är procentuellt störst på små djup. En sänkning av grundvattennivån med 1 m ökar värdet på σ'_o på 4 m resp 8 m djup med 30% resp 20%.

Förkonsolideringskvoterna för medelkurvorna, såväl dygns- som snabbförsök, $\frac{\sigma'_c \text{ dygn}}{\sigma'_o}$ och $\frac{\sigma'_c \text{ snabb}}{\sigma'_o}$, redovisas i TABELL 3.

4.4 Kompressionsindex

Jämförelse mellan kompressionsindex, ϵ_2 , (utvärderade som sekantvärden) för snabb- och dygnsförsök redovisas i FIG 17. Jämförelsen avser de ϵ_2 -värden som erhålls för laststeget närmast över σ'_c . Dessa utgör de största värdena för varje kurva, se FIG 3-9. Värdena för snabbförsöken är i allmänhet något högre.

Skillnaden är emellertid försumbar ur praktisk synvinkel. Kompressionskurvorna är i det närmaste parallella för laststeget närmast över σ'_c . För större effektivtryck är ϵ_2 (snabb) större än ϵ_2 (dygn) för samtliga jordtyper utom för den gyttjiga sulfidleran från

Morjärv (prov A7). Kompressionskurvorna är sålunda inte parallella för högre effektivtryck. I tre fall (proverna A1, A2 och A5) skär kurvorna varandra. Vid stora vertikaltryck blir sålunda kompressibiliteten enligt snabbförsök större än enligt dygnsförsök. Det bör dock påpekas att vertikaltrycken är betydligt högre än vid rutinförsök, se FIG 3 c - 9 c.

4.5 Konsolideringskoefficient

Konsolideringskoefficienten, c_v , har beräknats med hjälp av kurvorna för tidsförloppen för varje laststeg enligt dels Taylor och dels Casagrande. Utvärdering enligt Casagrandes metod kan ej utföras vid snabbförsök eftersom den "sekundära" delen av tidsförloppet ej kommer med. En jämförelse mellan c_v -värdena från snabbförsöken och från dygnsförsöken utvärderade med Taylors metod redovisas i FIG 18. Värdet på c_v gäller laststeget efter σ'_c (minimivärdet).

Kvoten c_v snabb : c_v dygn varierar mellan 1,6 och 0,8. c_v -värdet vid snabbförsök är större än dygnsförsöksvärden för fem av de sju jordtyperna. De två proverna A5 och A7, som ger större c_v -värden vid dygnsförsök, har de högsta flytgränserna $w_L = 90$ resp 136%. De marina lerorna, prov A1-A3, har i genomsnitt de högsta c_v -värdena vilket sannolikt beror på att de marina lerorna har porösare kornskelett och därmed en högre permeabilitet.

Den ovan beskrivna jämförelsen mellan c_v -värden för dygns- och snabbförsök gäller c_v -kurvornas minimipunkter, som uppträder i laststeget efter σ'_c . För större effektivtryck sammanfaller i stort sett de båda kurvorna för de flesta proverna. Den principiella skillnaden mellan de två c_v -kurvorna är att kurvorna baserade på snabbförsök blir "flackare" och ej får några djupa minimi i likhet med dygnsförsöken för laststeget närmast över σ'_c .

En jämförelse mellan c_v utvärderad enligt Taylor och enligt Casagrande för dygnsförsöken har sammanställts i FIG 19. Taylor-metoden ger i samtliga fall högre c_v -värden. Taylors värden överstiger värdena enligt Casagrande med 25-65%.

5. DISKUSSION

Kompressionskurvans förlopp är beroende av laststegens varaktighet. Detta har visats tidigare genom andra undersökningar av t ex Crawford (1964), Bjerrum (1967) och Sällfors (1975). Vid snabbförsöken i föreliggande undersökning erhöles 8-27% högre förkonsolideringstryck - då de utvärderades enl Casagrande - än vid dygnsförsök. Om man utvärderar σ'_C snabb med r_{min} -metoden reduceras skillnaden mellan σ'_C snabb och σ'_C dygn till belopp som är praktiskt försumbara.

För ett och samma jordprov kan alltså "förkonsolideringstrycket" fås att variera genom att man vid ödometerförsök belastar provet med olika belastningshastigheter. Frågan är då vilket värde man skall använda vid sättningsberäkningen.

Förkonsolideringstrycket σ'_C från ödometerförsöket skall naturligtvis motsvara σ'_C in situ för att meningsfulla beräkningar skall kunna utföras. F n finns ingen praktisk-ekonomisk metod att mäta σ'_C i fält. Ett sätt är att utföra provbelastning och mätning av portryckförändringen under pålastningen såsom utförts av t ex Sällfors (1975). Under σ'_C är portrycken relativt små, men över σ'_C ökar de markant p g a jordstrukturens sammantryckning. Knycken i portryckskurvan kan antas sammanfalla med σ'_C . Metoden är emellertid dyrbar och kan inte användas som rutinmetod.

Svårigheten att jämföra sättningsberäkningar med inträffade sättningar ligger i att primärsättningarna utbildas under mycket lång tid och att svaret sålunda inte föreligger förrän efter flera tiotals år. Osäkerheten i beräkningen av sättningarnas tidsförlopp gör vidare att man inte med någon större tillförlitlighet kan jämföra beräknade värden och fältvärden under hand, speciellt i början av ett sättningsförlopp.

De jämförelser som rapporterats har i allmänhet visat god överensstämmelse mellan beräknade (baserade på dygnsförsök) och uppmätta sättningar. Är de rapporterade lyckosamma fallen "utvalda" så att de inte är statistiskt representativa? Det är förvisso så att man hellre rapporterar "lyckade" beräkningar än "misslyckade". Eftersom de flesta sättningsberäkningar ej följs upp får man ett mycket litet underlag för statistiska jämförelser.

Vid belastning av ett relativt mäktigt lerlager utgör normalt tiden för lastens påförande en ringa del av den tid under vilken lerlagret komprimeras.

Skillnaderna mellan ödometerförsöket och den verkliga belastningen i fält är stora. Ödometerförsöket kan utföras mycket snabbare jämfört med fältförhållandena p g a att provet är tunt och dräneringsvägarna korta. Primärkompressionen kan utbildas på flera tiotusentals gånger kortare tid.

I kompressionskurvan för dygnsförsök ingår även den sekundära kompression som hinner utbildas. Detta "sekundära" bidrag är den främsta orsaken till skillnaden mellan kompressionskurvorna från dygns- och snabbförsöken. Ju längre ett laststeg får verka desto större blir den sekundära kompressionen och kompressionskurvorna "flyttas ned" i kompressionsdiagrammet och därmed blir också det utvärderade förkonsolideringstrycket lägre.

6. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

6.1 Allmänt

Föreliggande utredning visar att resultaten från snabba ödometerförsök utförda med stegvis belastning (lastökningskvot = 1) och i ödometerutrustning av standardtyp skiljer sig från dygnsförsöksresultaten. Skillnaden gäller framför allt det utvärderade förkonsolide-

ringstrycket, σ'_c , och minimivärdet på konsolideringskoefficienten, c_v . Dessa parametrar är sålunda beroende av belastningstiden. Dygnsförsöken har erfarenhetsmässigt visat sig ge godtagbara värden. Skillnaderna mellan dygnsförsök och snabbförsök bedöms inte utgöra något hinder mot att resultaten från snabbförsök utnyttjas för praktiskt bruk.

De samband mellan snabbförsöksvärden och dygnsförsöksvärden som erhållits i denna utredning och som sammanfattas nedan, se 6.2-6.6, gäller endast för det genomförda belastningssättet. Andra belastningstider i snabbförsöken skulle ha givit andra resultat.

6.2 Förkonsolideringstryck, σ'_c

Förkonsolideringstrycket σ'_c är beroende av belastningstidens varaktighet på så sätt att σ'_c ökar med kortare lasttid, se FIG 13. Skillnaden kan till större delen förklaras av att större andel sekundär kompression hinner utbildas vid längre varaktighet.

Den utförda undersökningen visar att förkonsolideringstryck vid snabbförsök utvärderade med r_{\min} -metoden ligger nära förkonsolideringstryck från dygnsförsök. Skillnaderna är ur praktisk synvinkel försumbara.

6.3 Kompressionsindex, ϵ_2

Kompressionsindex, ϵ_2 , blir i stort sett lika för snabb- och dygnsförsök i regionen närmast över förkonsolideringstrycket, se FIG 17. För högre vertikalltryck ger snabbförsöken något högre värden.

6.4 Konsolideringskoefficient, c_v

Minimivärdet på konsolideringskoefficienten, c_v , som inträffar i laststeget över förkonsolideringstrycket, är i allmänhet högre vid snabbförsök, se FIG 18. Prov A7 är i stort sett konstant för tryck över förkonsolideringstrycket, vilket är typiskt för organisk jord.

Konsolideringskoefficienten, c_v , visar emellertid inget entydigt beroende av belastningssättet. Snabbvärdena ligger både över och under dygnsvärdena. De värden som är mindre än dygnsvärdena är prov A5 och A7 som också har de högsta konflytgränserna 90 resp 136%.

För högre tryck ger emellertid de båda försökstyperna likvärdiga resultat.

Taylor's metod ger högre c_v -värden än Casagrandes metod, se FIG 19.

6.5 Utvärdering av primärkonsolideringen

Jämförelse mellan olika metoder att utvärdera primärkonsolideringens slut i ett laststeg visar att Casagrande-metoden ger betydligt högre tidsvärden än Taylor och "portrycksmetoden" samt att värdena enligt "portrycksmetoden" ligger mellan värdena enligt Taylor och Casagrande, se FIG 12.

6.6 Rekommendationer beträffande utförande av snabbförsök

För praktiskt utförande av snabbförsök på normalkonsoliderade eller något överkonsoliderade lerjordar rekommenderas följande förfarande.

Vid belastningar under σ'_C : Minst 2 laststeg med 15 min varaktighet.

Vid belastningar över σ'_C : Minst 3 laststeg med 2 tim varaktighet. För organiska jordar (gyttja och dytorv) krävs >2 tim.

Uppskattning av σ'_C före försöket kan ske m h a

$$\text{Hansbos formel } \sigma'_C = \frac{\tau_{fu}}{0,45 \cdot w_L}$$

Utvärdering av σ'_C : σ'_C ansätts det σ' -värde i $\log \sigma'-\epsilon$ -diagrammet som läget för kompressionskurvans största krökning (minsta krökningsradie) har (r_{\min} -metoden).

Om ödometrar med manuell lastpåföring används och försöket inte hinner slutföras under en arbetsdag, kan apparaten låsas och ny last påläggas följande dag.

7. LITTERATUR

- Altschaeffl A G et al, Interpretation of the consolidation test. Diskussionsinlägg. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Vol. 90, No SM 5 Part 1, pp. 146-147, 1965.
- Bjerrum L, Engineering geology of Norwegian normally-consolidated marine clays as related to settlements of buildings - Seventh Rankine Lecture, Geotechnique Vol. XVII, No 2, June 1967.
- Casagrande A, The determination of the preconsolidation load and its practical significance, International conference on soil mechanics and foundation engineering, Proc. Vol. 3, Cambridge, Mass 1936.
- Crawford C B, Interpretation of the consolidation test, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Vol. 90, No SM 5 Part 1 pp. 87-102, 1964.
- Hamilton J J och Crawford C B, Improved determination of preconsolidation pressure of a sensitive clay, ASTM Special Technical Publication No 254, pp. 254-271, 1959.
- Hansbo S, A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall-cone test, SGI Proceedings No 14, 1957.
- Karlsson R och Pusch R, Shear Strength parameters and micro structure characteristics of quick clay of extremely high water content, Proc. of the Geotechnical Conference on Shear Strength Properties of Natural Soils and Rocks, Oslo 1967, Vol. 1. Även i SGI SPR nr 23, 1968.
- Karlsson R och Viberg L, Ratio c/p in relation to liquid limit and plasticity index, with special reference to Swedish clays, Proc. of the Geotechnical Conference on Shear Strength of Natural Soils and Rocks, Oslo 1967, Vol. 1. Även i SGI SPR nr 23, 1968.
- Kompendium i geoteknik, Särtryck ur Handboken Bygg, Allmänna grunder, 1 B, SGI Meddelande nr 10, 1972.
- Langer K, The influence of the speed of loading increment on the pressure void ratio diagram of undisturbed soil samples, Proc. 1st Intern conf on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Vol. II p. 116, 1936.
- Leonards G A och Ramiah B B, Time effects in the consolidation of clays, ASTM Special Technical Publication No 254 pp. 116-130, 1959.
- Leonards G A, Foundation engineering, 1962.

Lewis W A, An investigation of the consolidation test for soils, Department of Scientific and Industrial Research, Road Research Laboratory, Note No RN/1349/WAL, 1950.

Northey R D, Rapid consolidation tests for routine investigations, New Zealand Engineering, Vol. 10, No 11, 1955.

Sällfors G, Preconsolidation pressure of soft, high-plastic clays, Chalmers University of Technology, Geotechnical Department, Göteborg, 1975.

Taylor D W, Research on consolidation of clays, MIT Department of Civil and Sanitary Engineering, Serial 82, 1942.

TABELL 1 Jordegenskaper (Serie A)

| Prov nr | Plats | Djup | Jordart | Skrym- | Vatten- | Konflyt- | Stötflyt- | Plasti- | Odränerad | Sensi- |
|------------|--------------|------|-----------------------------|------------------|---------|----------------|----------------|----------------|-------------|----------------|
| | | | | densitet | kvot | gräns | gräns | citets- | skjuvhåll- | tivitet |
| | | | | ρ | w | w _L | w _L | w _p | τ_{fu} | S _t |
| | | | | t/m ³ | % | % | % | % | kPa | |
| A1 | Backa | 35 m | Grå lera | 1,68 | 63 | 66 | 67 | 28 | 43 | 18 |
| A2 | Mölndal | 7 m | Grå lera | 1,45 | 107 | 60 | 64 | 29 | 11 | >190 |
| A3 | Strandbacken | 8 m | Grå lera | 1,68 | 53 | 55 | 61 | 23 | 36 | 13 |
| A4 | Skå-Edeby | 4 m | Grå lera | 1,55 | 84 | 69 | 76 | 24 | 8,4 | 20 |
| A5 | Skå-Edeby | 5 m | Grå varvig lera | 1,41 | 98 | 90 | 92 | 29 | 9,6 | 14 |
| A6 | Ramsta | 8 m | Brungrå varvig lera | 1,68 | 52 | 42 | 46 | 20 | 21 | 39 |
| A7 | Morjärv | 4 m | Svart gyttjig sulfidlera | 1,26 | 186 | 136 | 160 | 70 | 11 | 19 |

TABELL 2 Jordegenskaper (Serie B)

| Prov nr | Plats | Djup | Jordart | Skrym- | Vatten- | Konflyt- | Stötflyt- | Plasti- | Odränerad | Sensi- |
|------------|-------------------|------|----------|------------------|---------|----------------|----------------|----------------|--|----------------|
| | | | | densitet | kvot | gräns | gräns | citets- | skjuvhäll- | tivitet |
| | | | | ρ | w | w _L | w _L | w _p | fasthet | S _t |
| | | | | t/m ³ | % | % | % | % | enl kon- prov τ_{fu} kPa | |
| B1 | Sille- Pilkrog | 5 m | Grå lera | 1,57 | 81 | 72 | - | - | 13 | 16 |
| B2 | Ellesbo | 7 m | Grå lera | 1,50 | 91 | 86 | 100 | 34 | 12,5 | 11 |

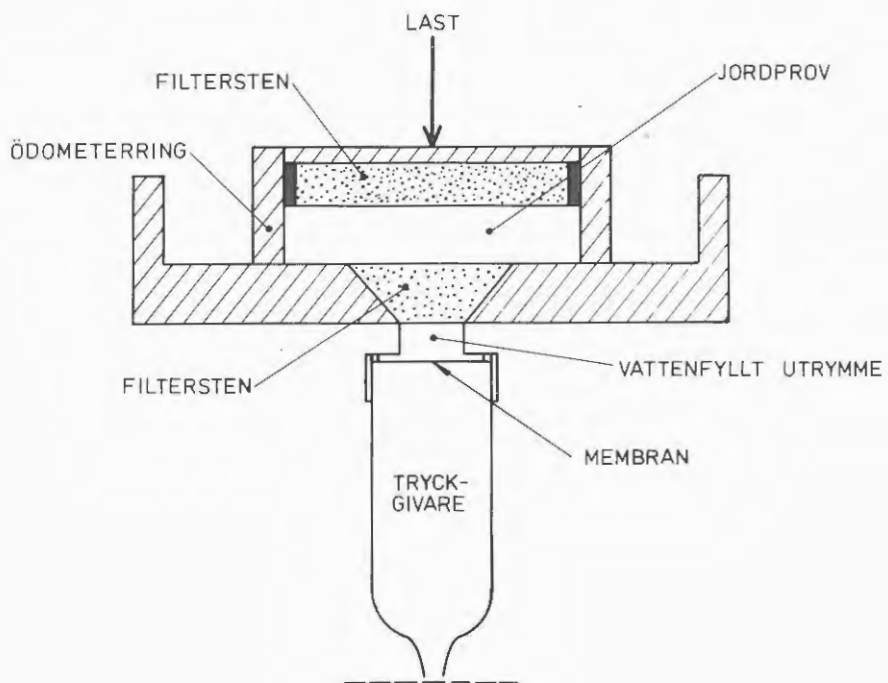
TABELL 3. Förkonsolideringstryck enligt direkta och indirekta metoder samt förkonsolideringskvoter

| | | Prov | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 |
|--|---|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Djup (m) | 35 | 7 | 8 | 4 | 5 | 8 | 4 |
| Eff. | Överlagringstryck σ'_o kPa | | 210 | 40 | 65 | 28 | 30 | 60 | 25 |
| Förkonsoliderings- tryck, σ'_c kPa | Från medelkurva Indirekta metoder | Dygnsförsök | 280 | 52 | 145 | 31 | 33 | 85 | 36 |
| | | Snabb- enl Casagr. | 350 | 66 | 160 | 36 | 38 | 93 | 39 |
| | | försök enl r_{min} | 290 | 60 | 130 | 35 | 35 | 84 | 35 |
| | | Enl Hansbo | 145 | 41 | 145 | 27 | 24 | 111 | 18 |
| | | Enl $\frac{\tau_{fu}}{0,3}$ | 143 | 37 | 120 | 28 | 32 | 70 | 37 |
| Förkonsolide- ringskvot | $\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}$ dygn | | 1.33 | 1.30 | 2.23 | 1.11 | 1.10 | 1.42 | 1.44 |
| | $\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}$ snabb enl Casagr | | 1.67 | 1.65 | 2.46 | 1.25 | 1.27 | 1.55 | 1.56 |
| | $\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}$ snabb enl r_{min} | | 1.38 | 1.50 | 2.00 | 1.25 | 1.17 | 1.40 | 1.40 |
| Kvoten | $\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}$ snabb enl Casagr $\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}$ dygn | | 1.26 | 1.27 | 1.10 | 1.13 | 1.15 | 1.09 | 1.08 |
| | $\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}$ snabb enl r_{min} $\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}$ dygn | | 1.04 | 1.15 | 0.90 | 1.13 | 1.06 | 0.99 | 0.97 |



FIGUR 1.

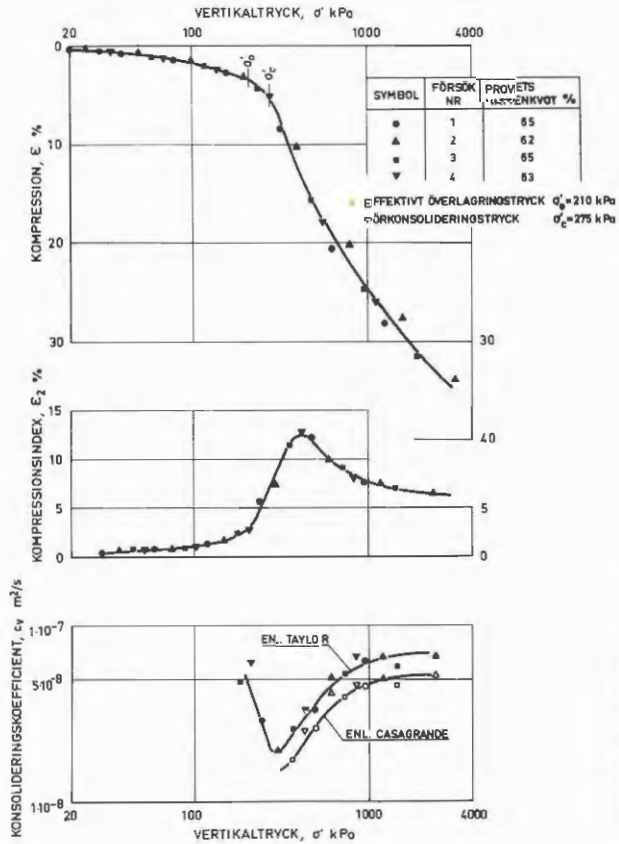
Provtagningsplatser



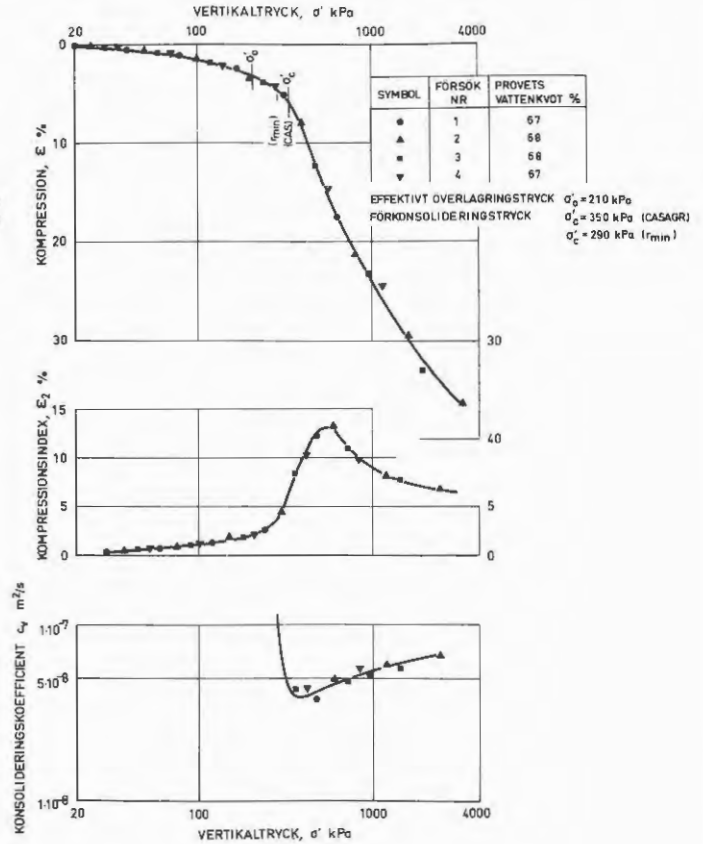
FIGUR 2. Principskiss över ödometerutrustning med
portrycksmätning

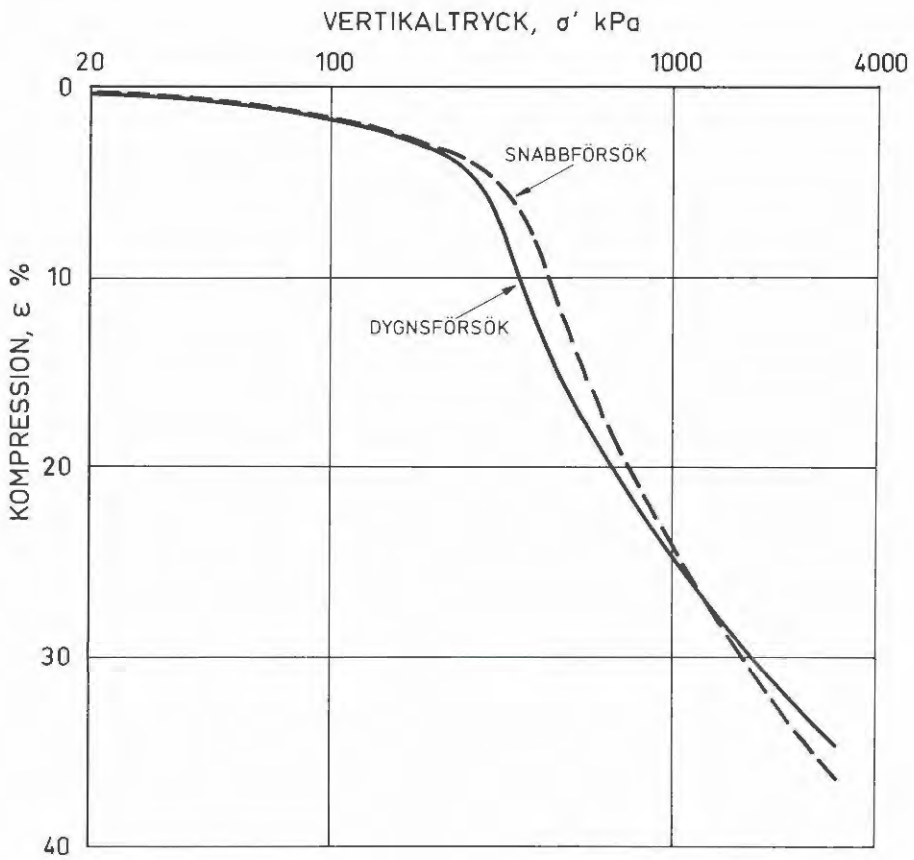
FIGUR 3 .a-b. Ödometerförsök prov A1

a. DYGNFÖRSÖK



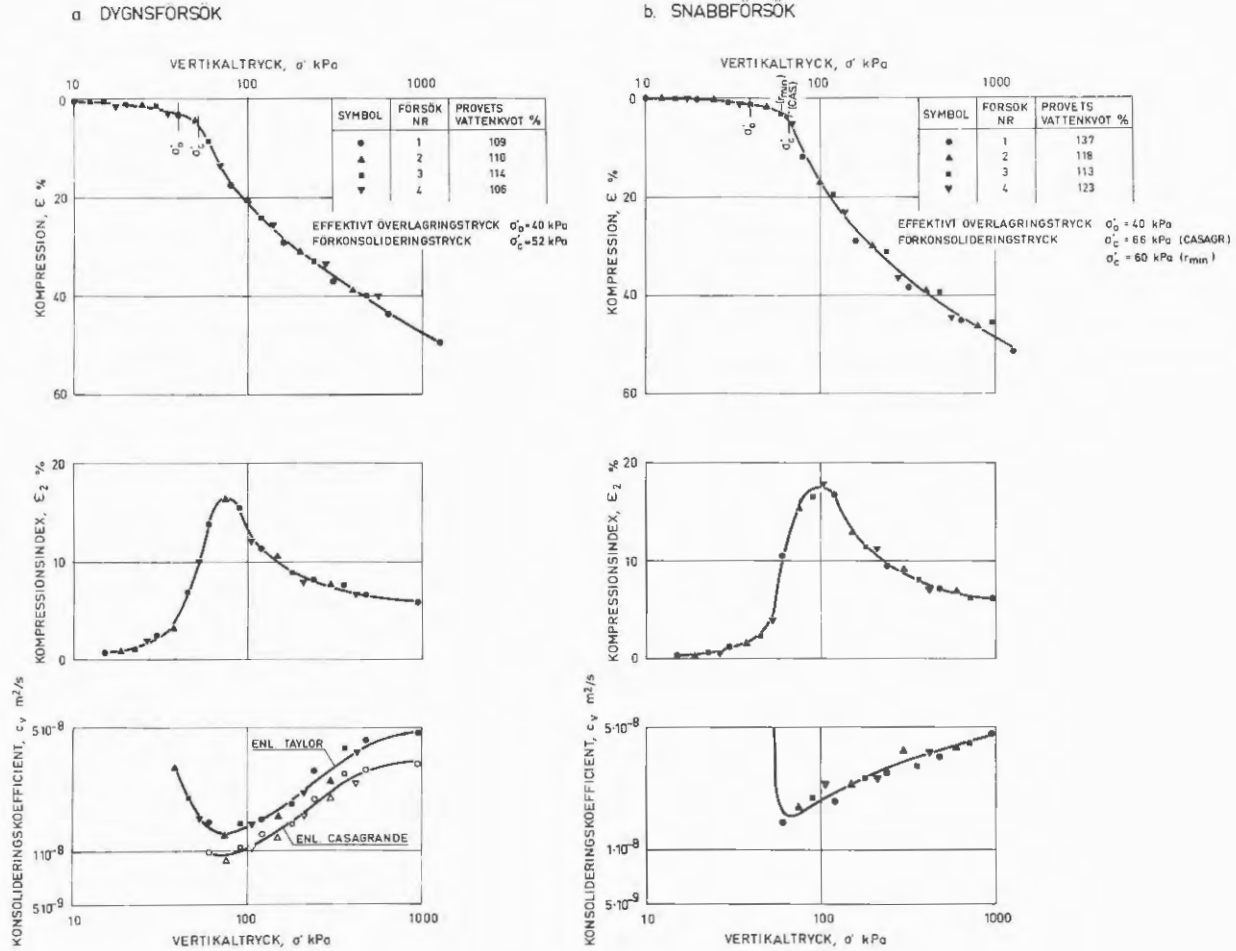
b. SNABBFÖRSÖK

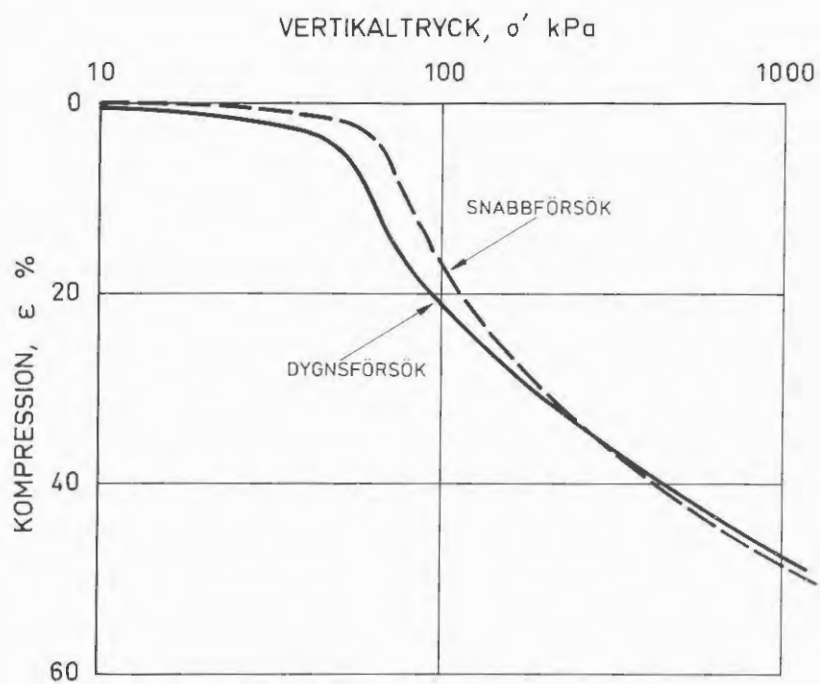




FIGUR 3 c. Jämförelse mellan dygnsförsök och snabbförsök prov A1

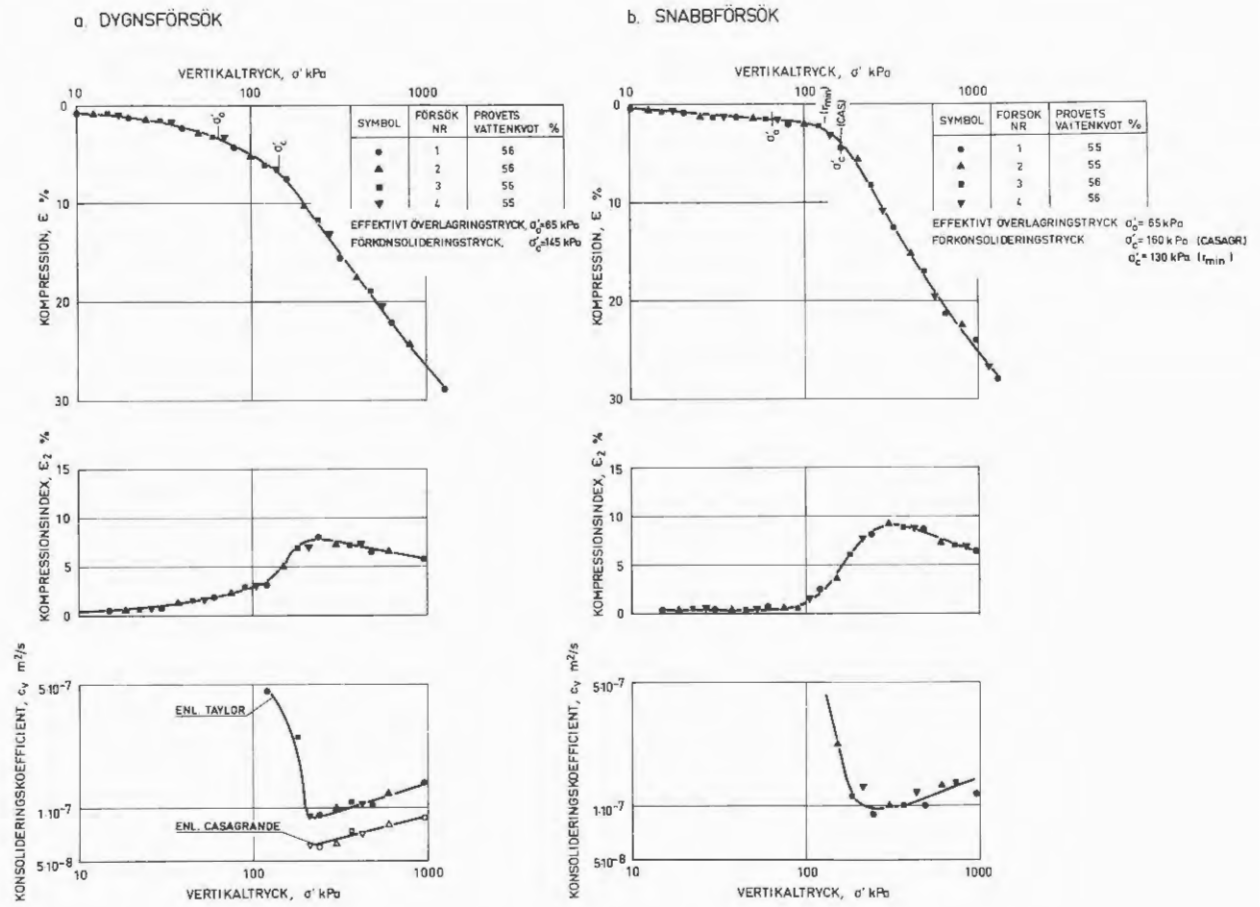
FIGUR 4 a-b. Ödometerförsök prov A2

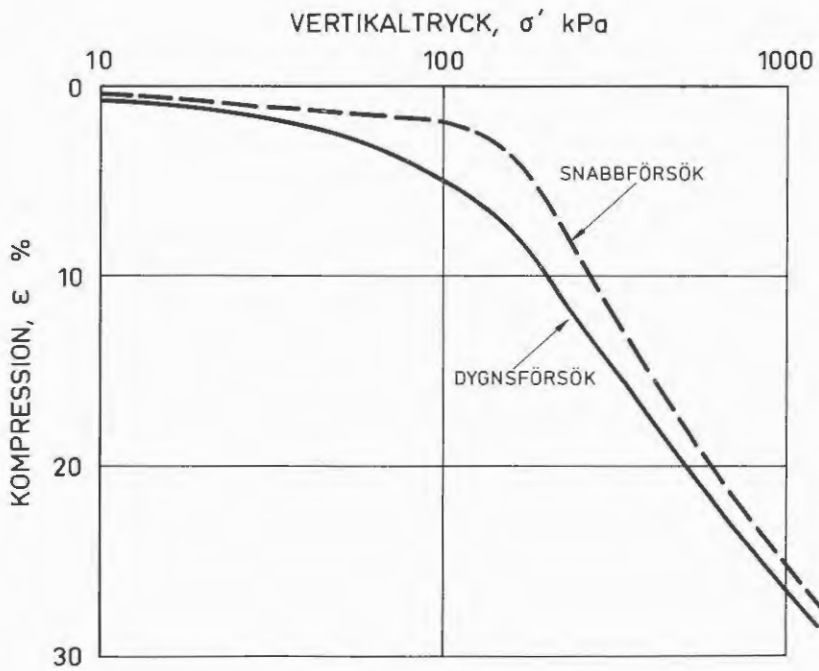




FIGUR 4 c. Jämförelse mellan dygnsförsök och snabbförsök prov A2

FIGUR 5 a-b. Ödometerförsök prov A3

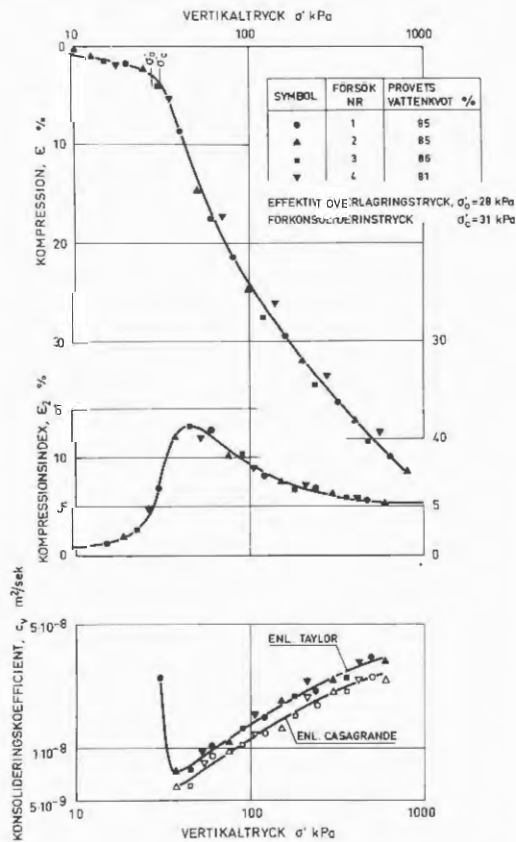




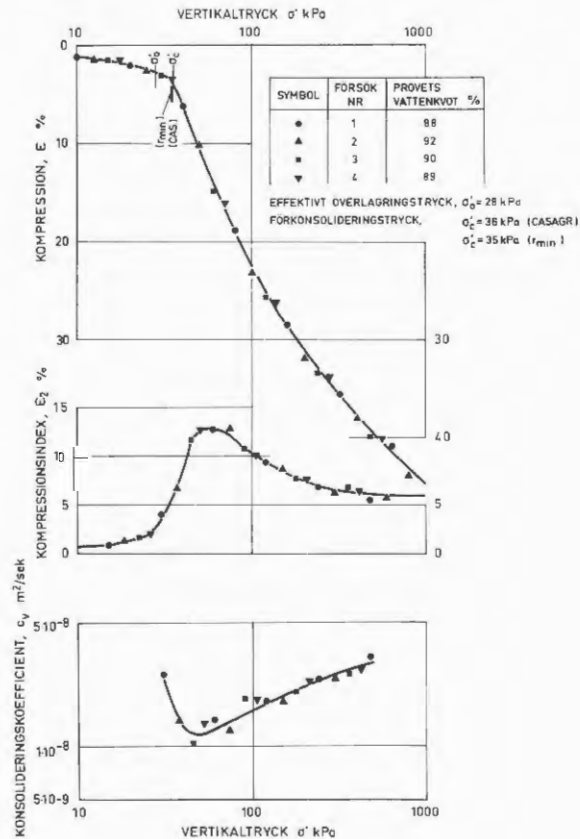
FIGUR 5 c. Jämförelse mellan dygnsförsök och snabbförsök prov A3

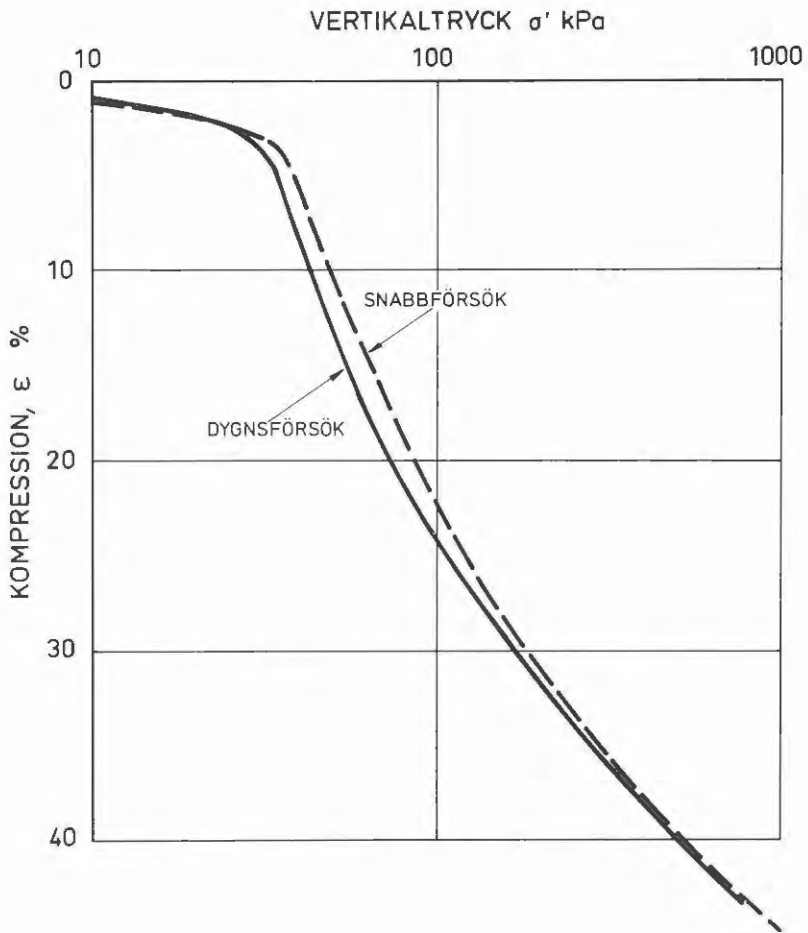
FIGUR 6 a-b. Ödometerförsök prov A4

a. DYGNSFÖRSÖK



b. SNABBFÖRSÖK

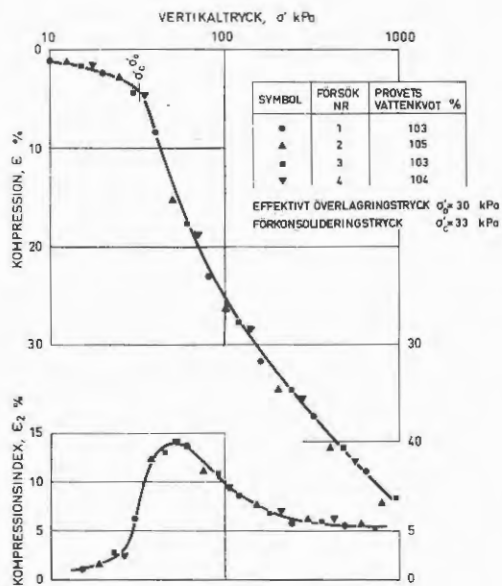




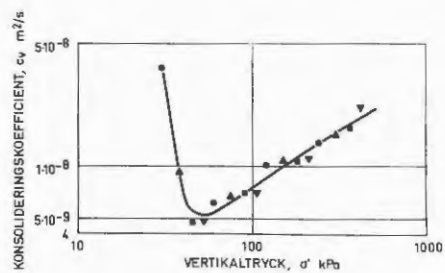
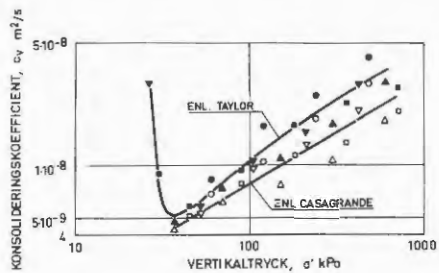
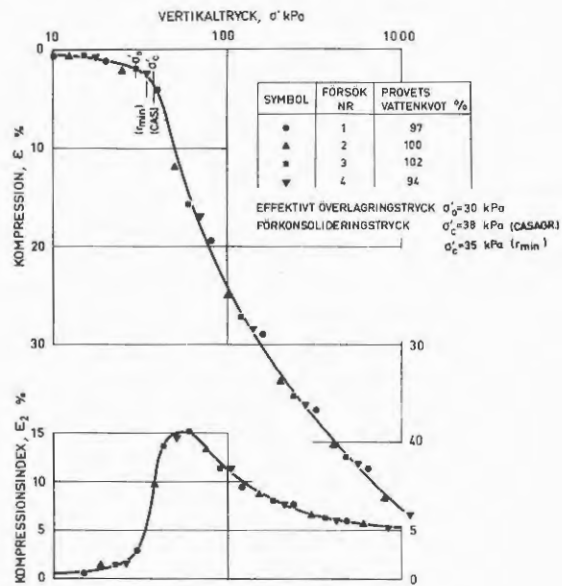
FIGUR 6 c. Jämförelse mellan dygnsförsök och snabbförsök prov A4

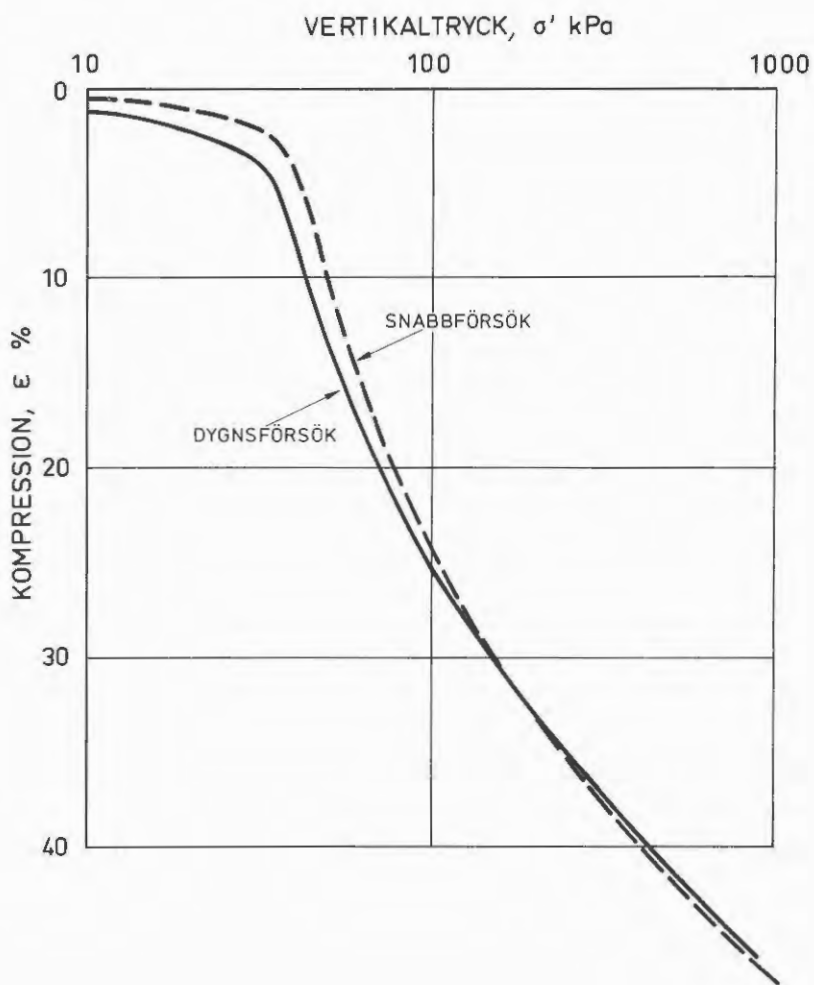
FIGUR 7 a-b. Ödometerförsök prov A5

a. DYGNFÖRSÖK



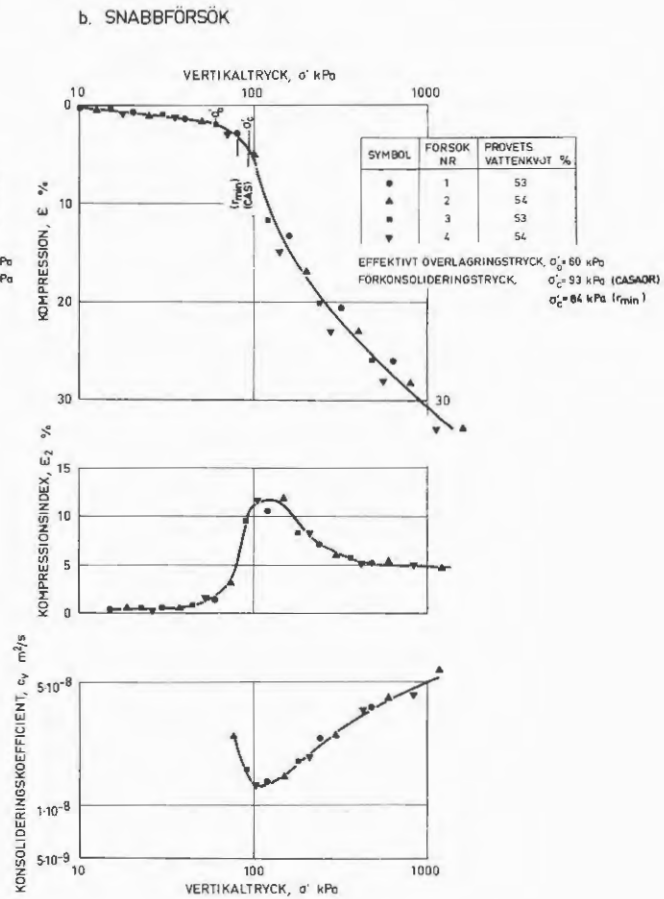
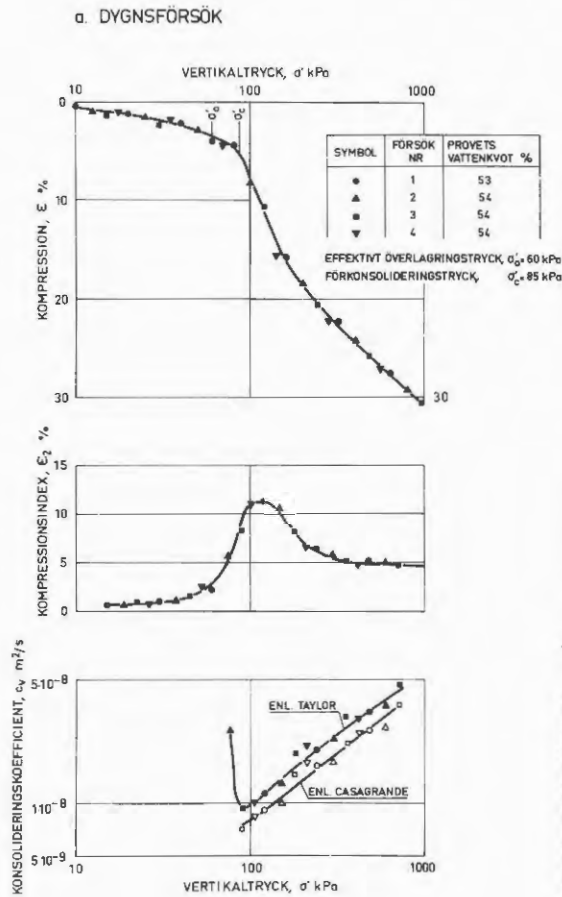
b. SNABBFÖRSÖK

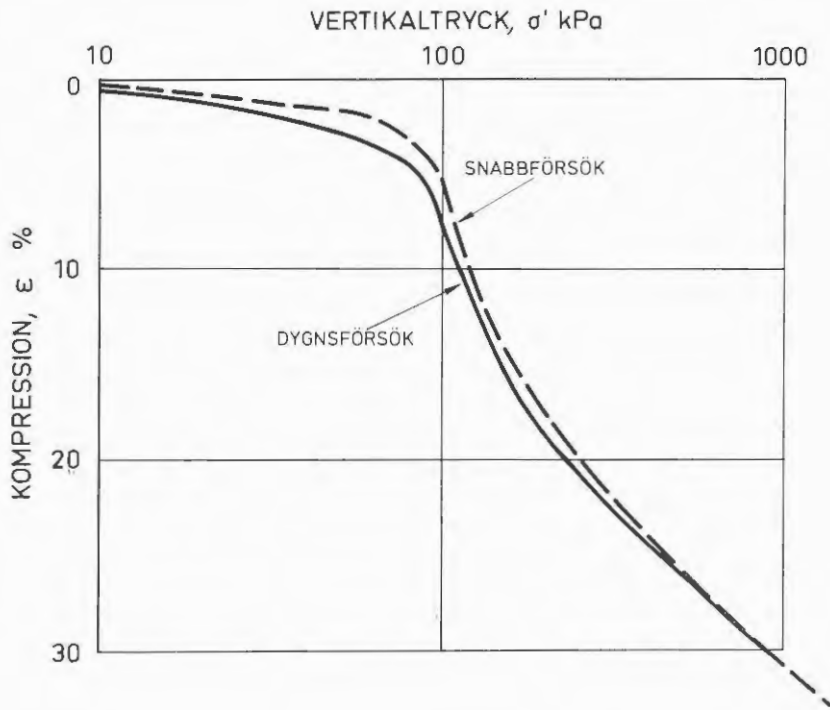




FIGUR 7 c. Jämförelse mellan dygnsförsök och snabbförsök prov A5

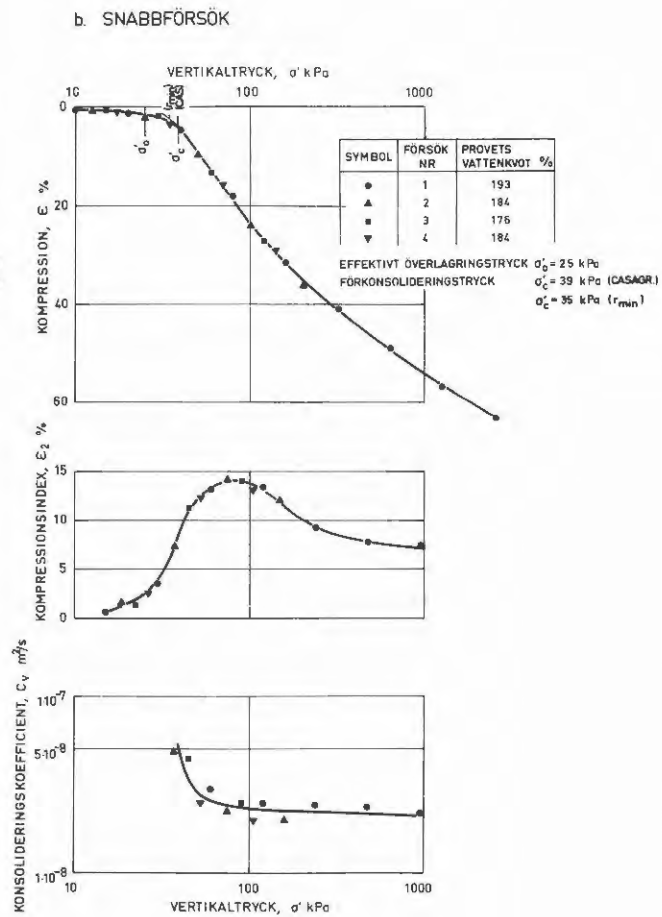
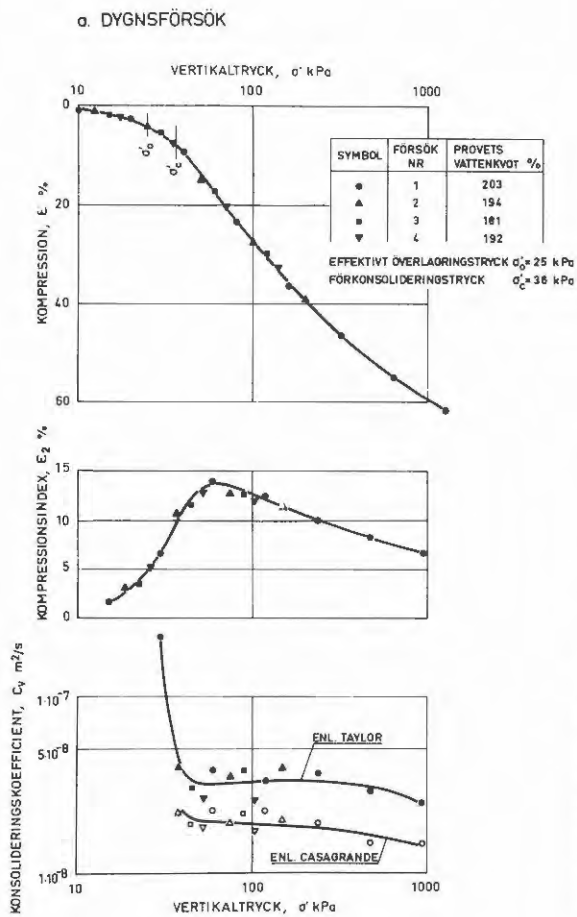
FIGUR 8 a-b. Ödometerförsök prov A6

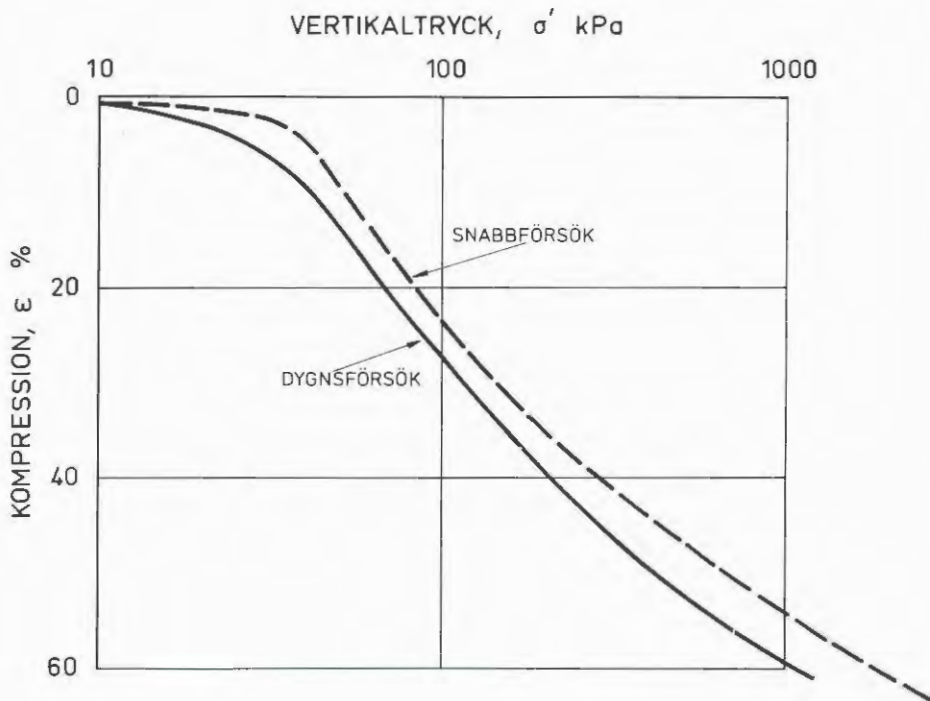




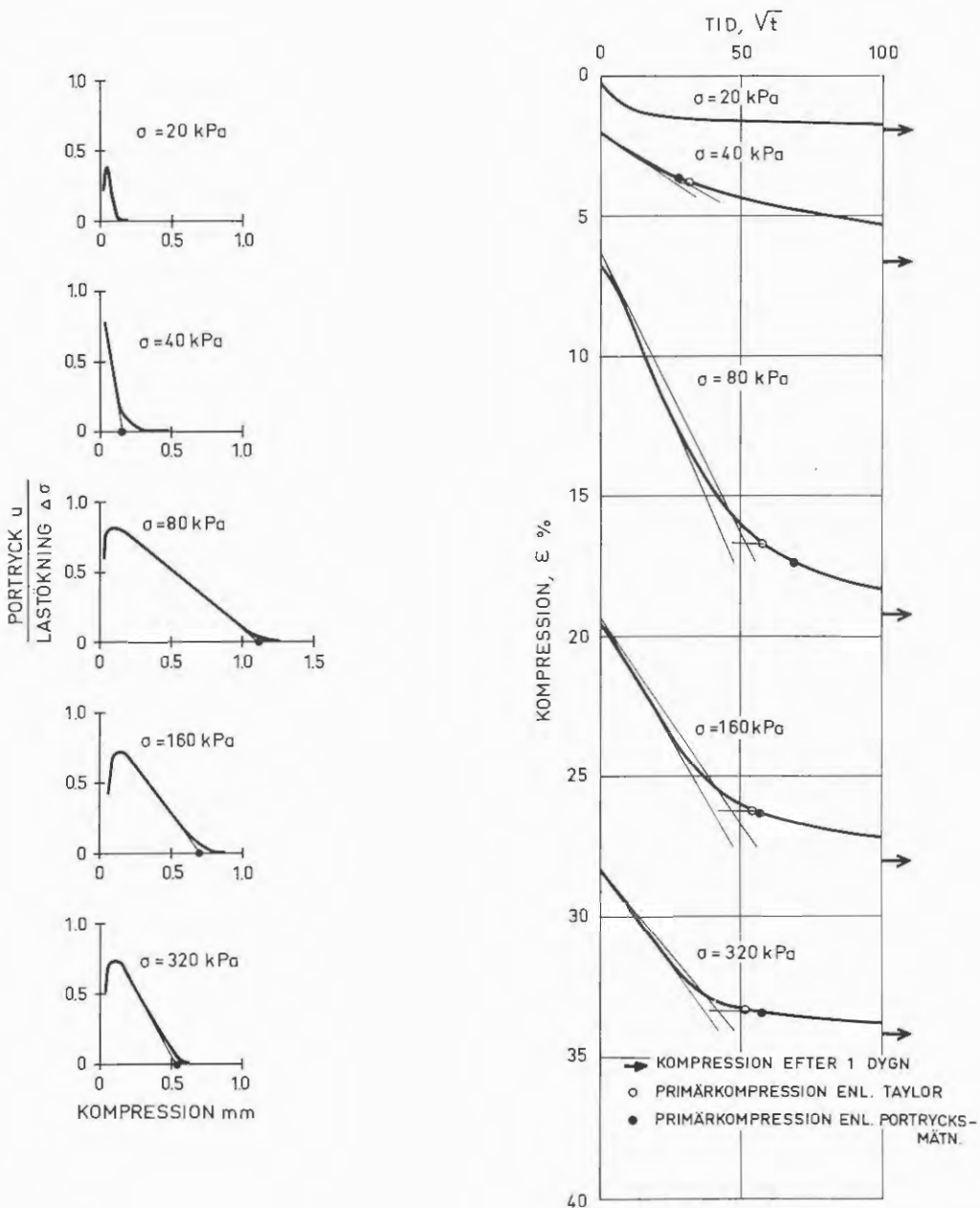
FIGUR 8 c. Jämförelse mellan dygnsförsök och snabbförsök prov A6

FIGUR 9 a-b. Ödometerrförsök prov A7





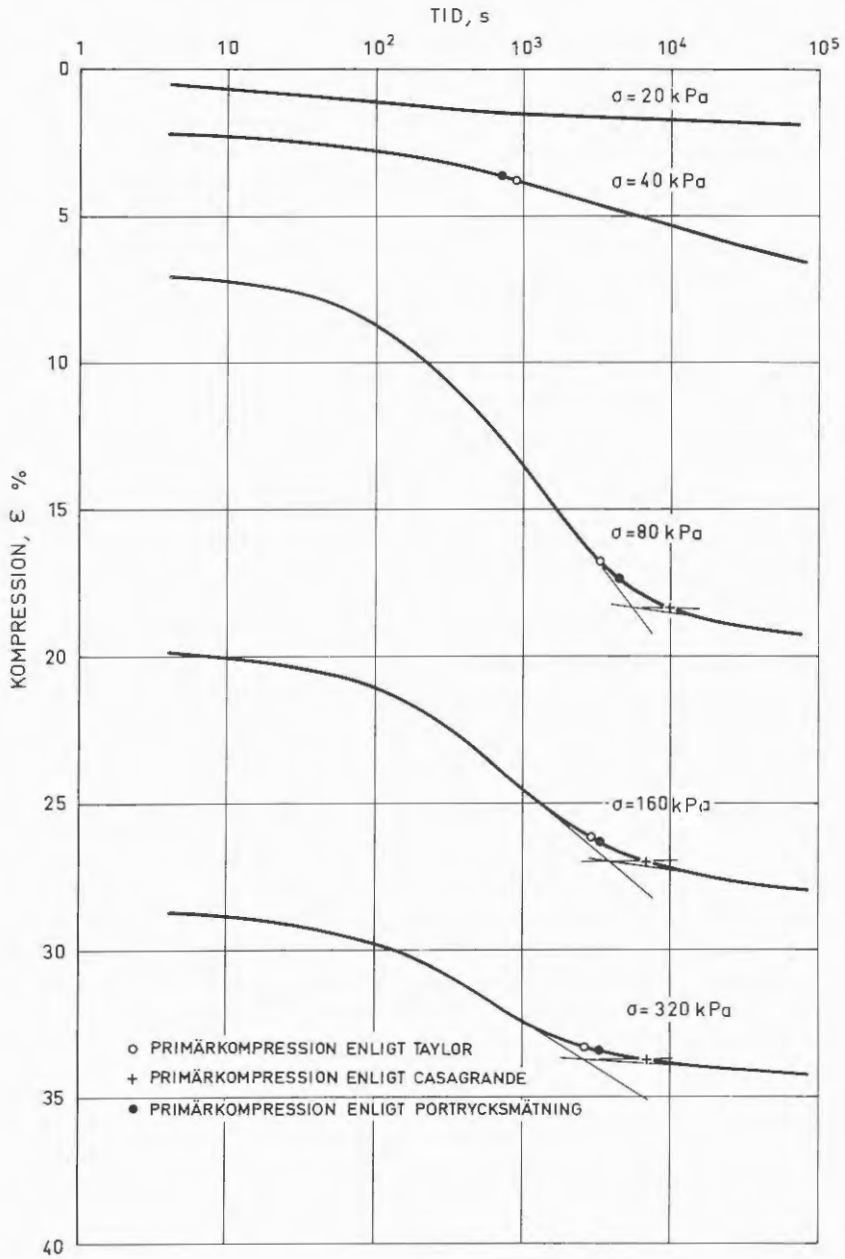
FIGUR 9 c. Jämförelse mellan dygnsförsök och snabbförsök prov A7



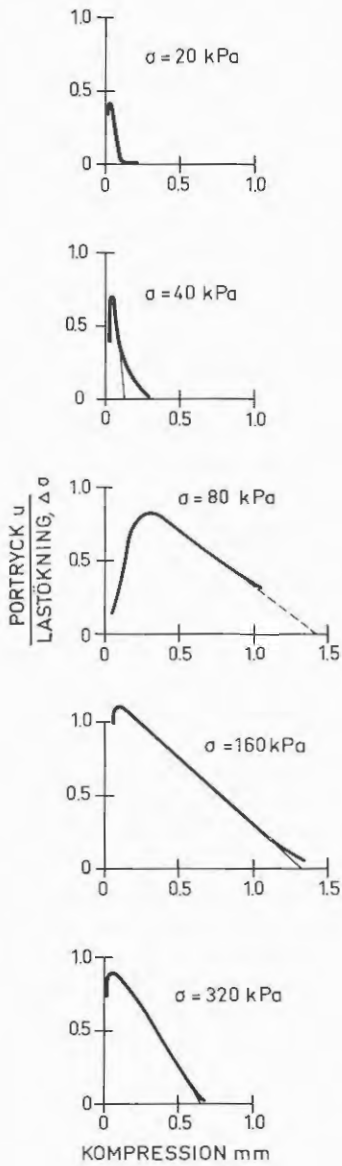
FIGUR 10 Ödometerförsök
Prov B1

a Portrycksmätning
Dygnsförsök

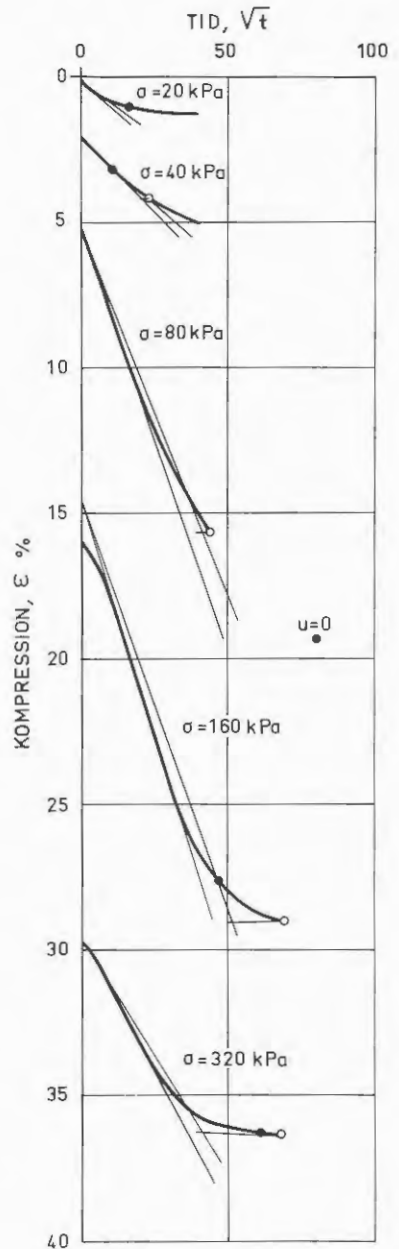
b Tidsförlopp-kvadratrotskala
Dygnsförsök



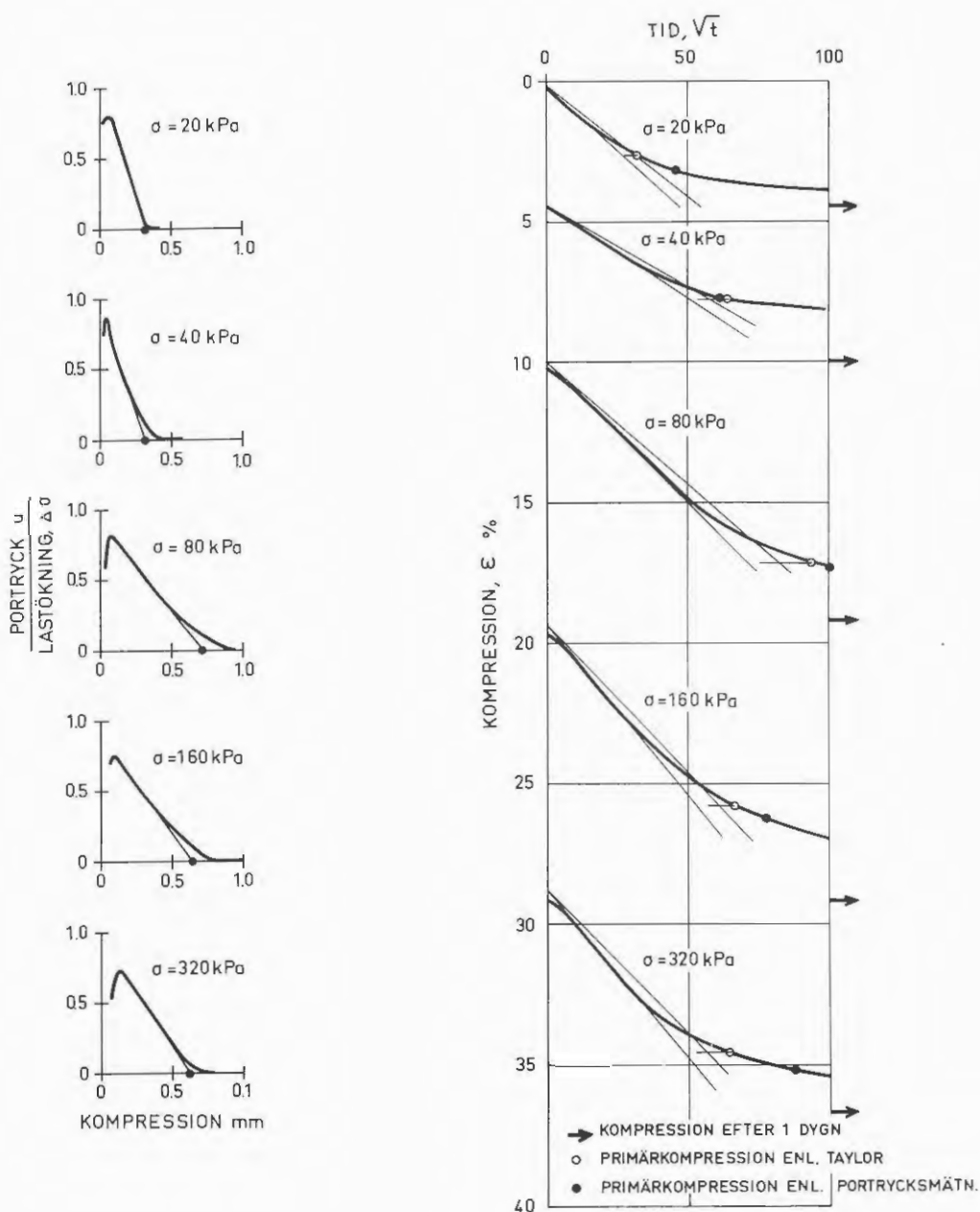
FIGUR 10 c. Tidförlopp - logskala. Dygnsförsök prov B1



FIGUR 10 d
 Portrycksmätning
 Snabbförsök prov B1



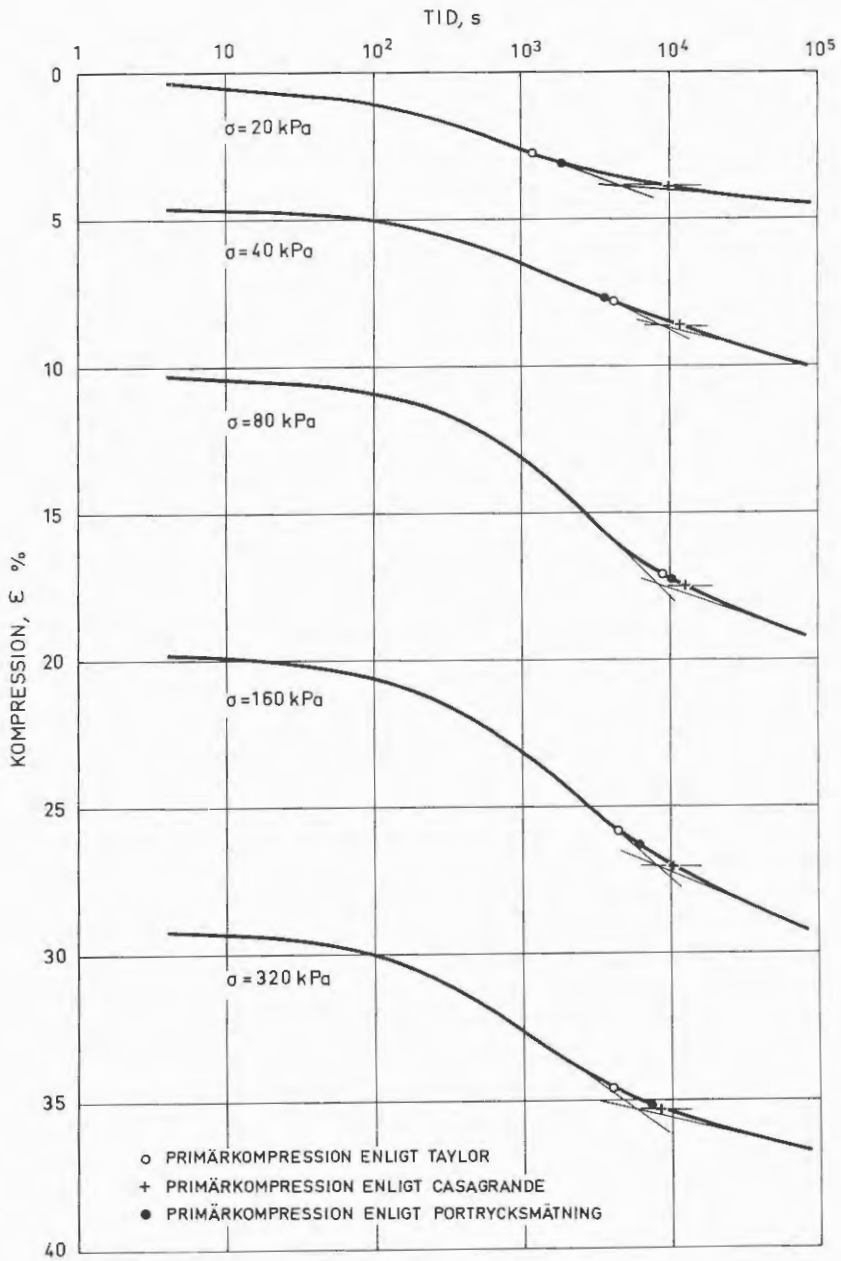
FIGUR 10 e
 Tidsförlopp - kvadratrotskala
 Snabbförsök prov B1



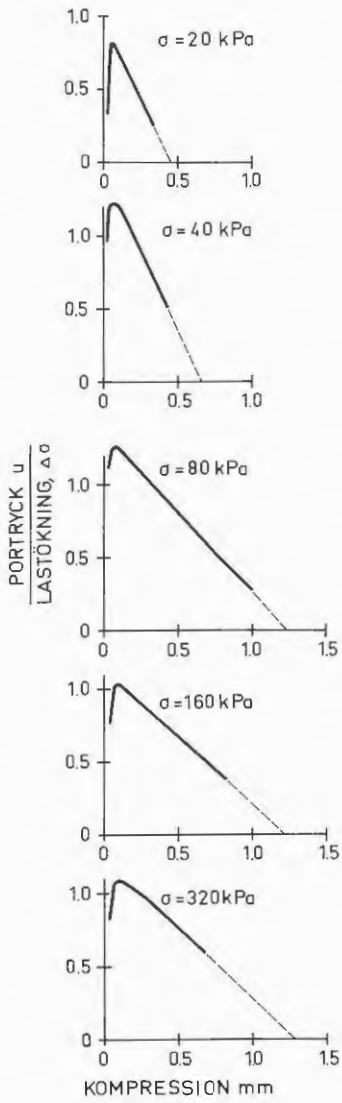
FIGUR 11. Ödometerförsök prov B2

a. Portrycksmätning
Dygnsförsök

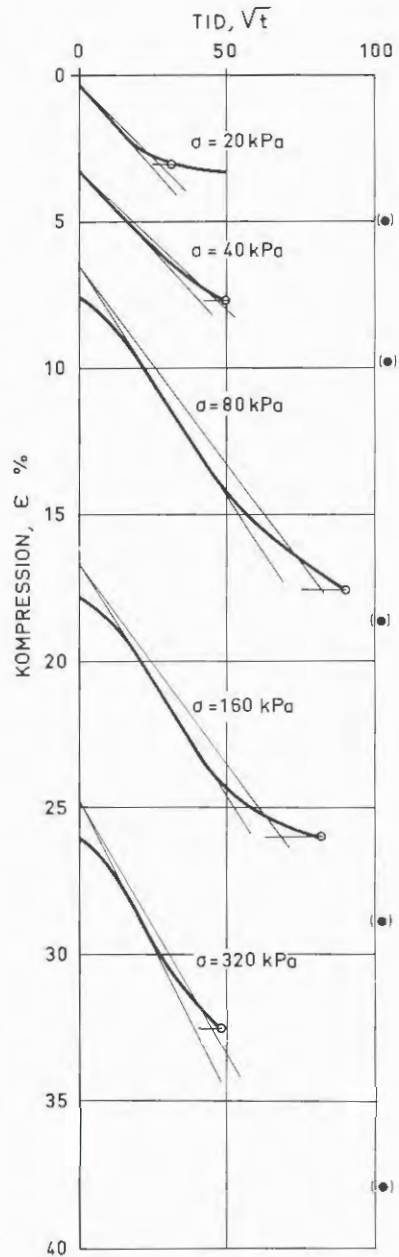
b. Tidsförlopp - kvadratrotskala
Dygnsförsök



FIGUR 11 c. Tidsförlopp - logskala. Dygnsförsök prov B2



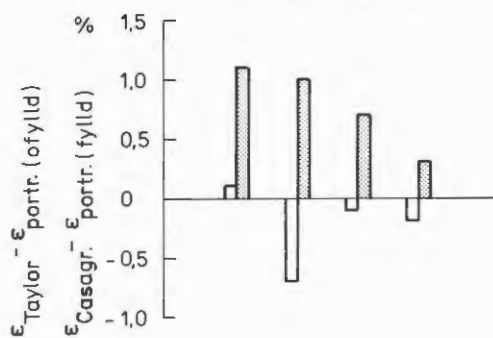
FIGUR 11 d
 Portrycksmätning
 Snabbförsök prov B2



FIGUR 11 e
 Tidsförlopp - kvadratrotskala
 Snabbförsök prov B2

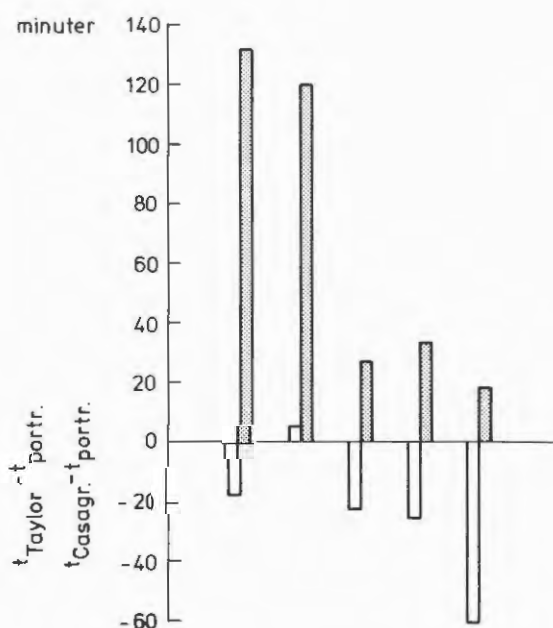
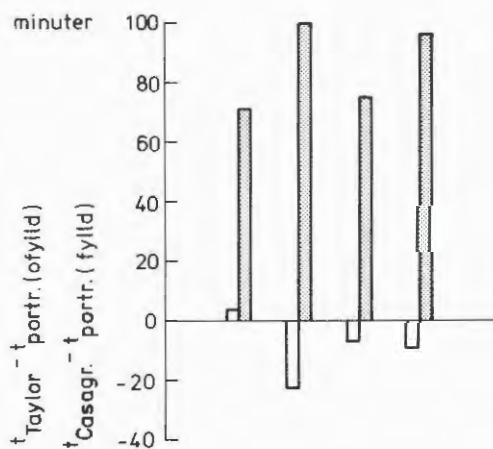
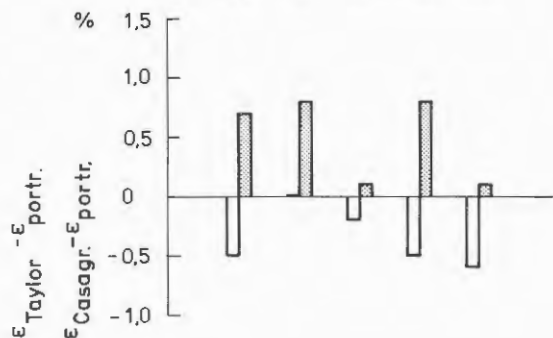
Försök B 1 (dygn)

LASTSTEG (kPa)
40 80 160 320

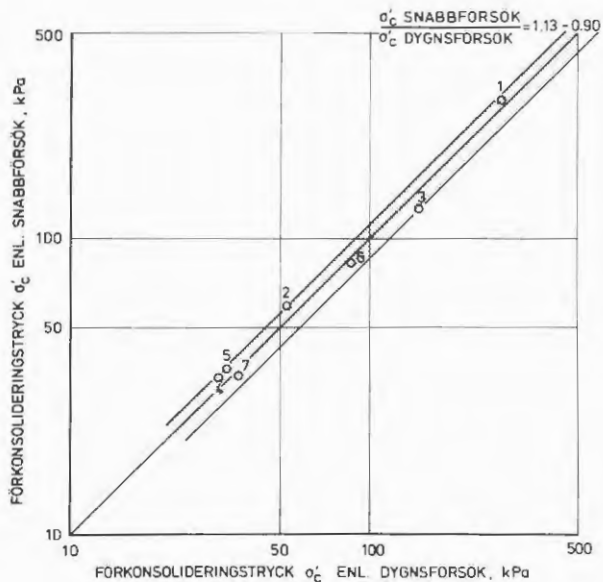
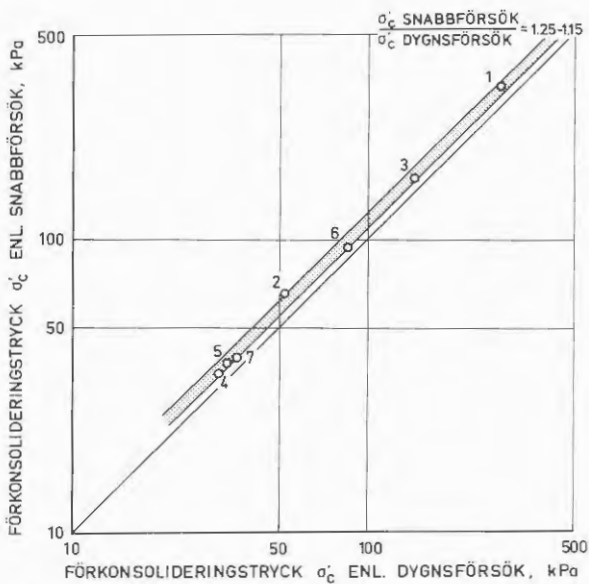


FÖRSÖK B 2 (dygn)

LASTSTEG (kPa)
20 40 80 160 320



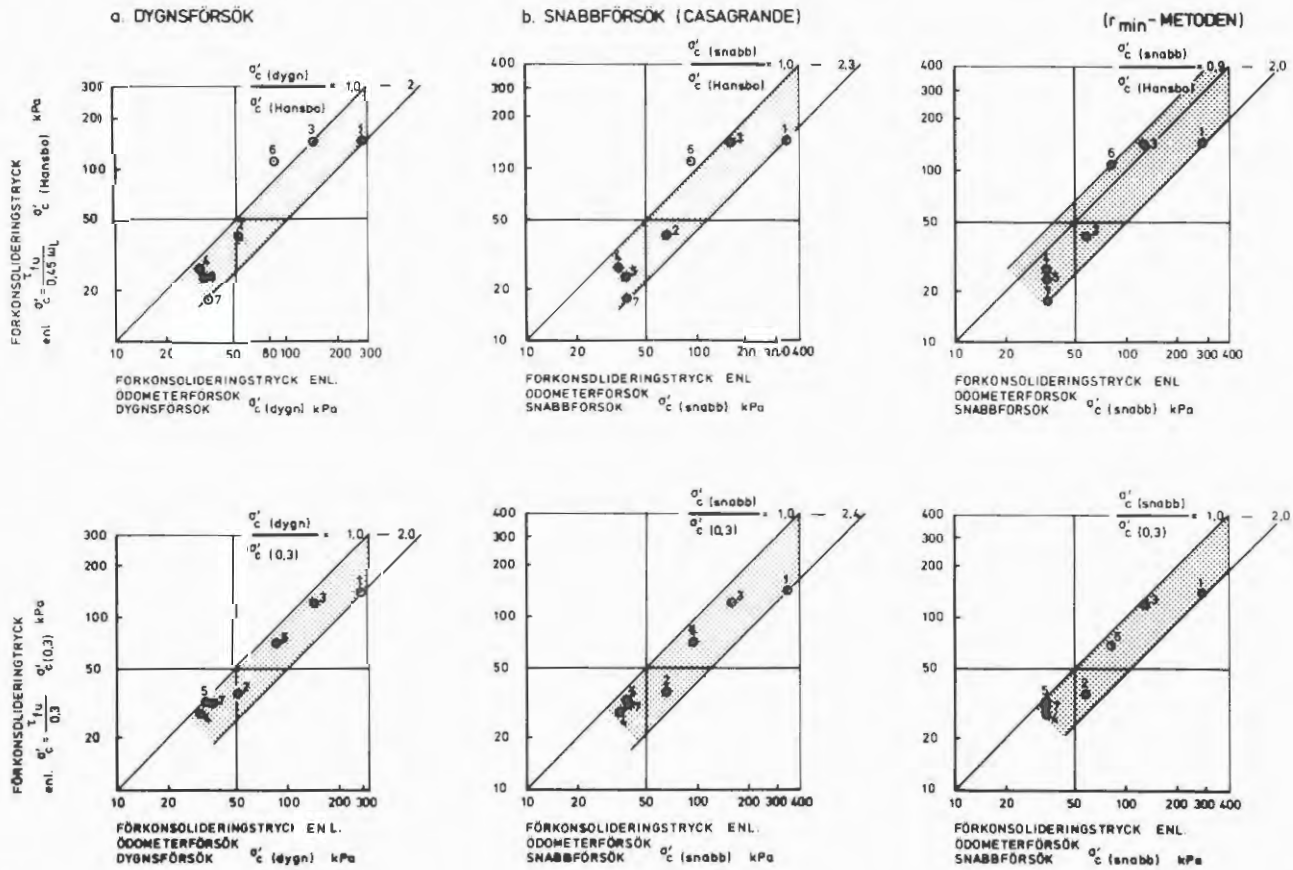
FIGUR 12. Utvärdering av primärkompression. Jämförelse mellan Taylors metod, Casagrandes metod och portrycksmätning.

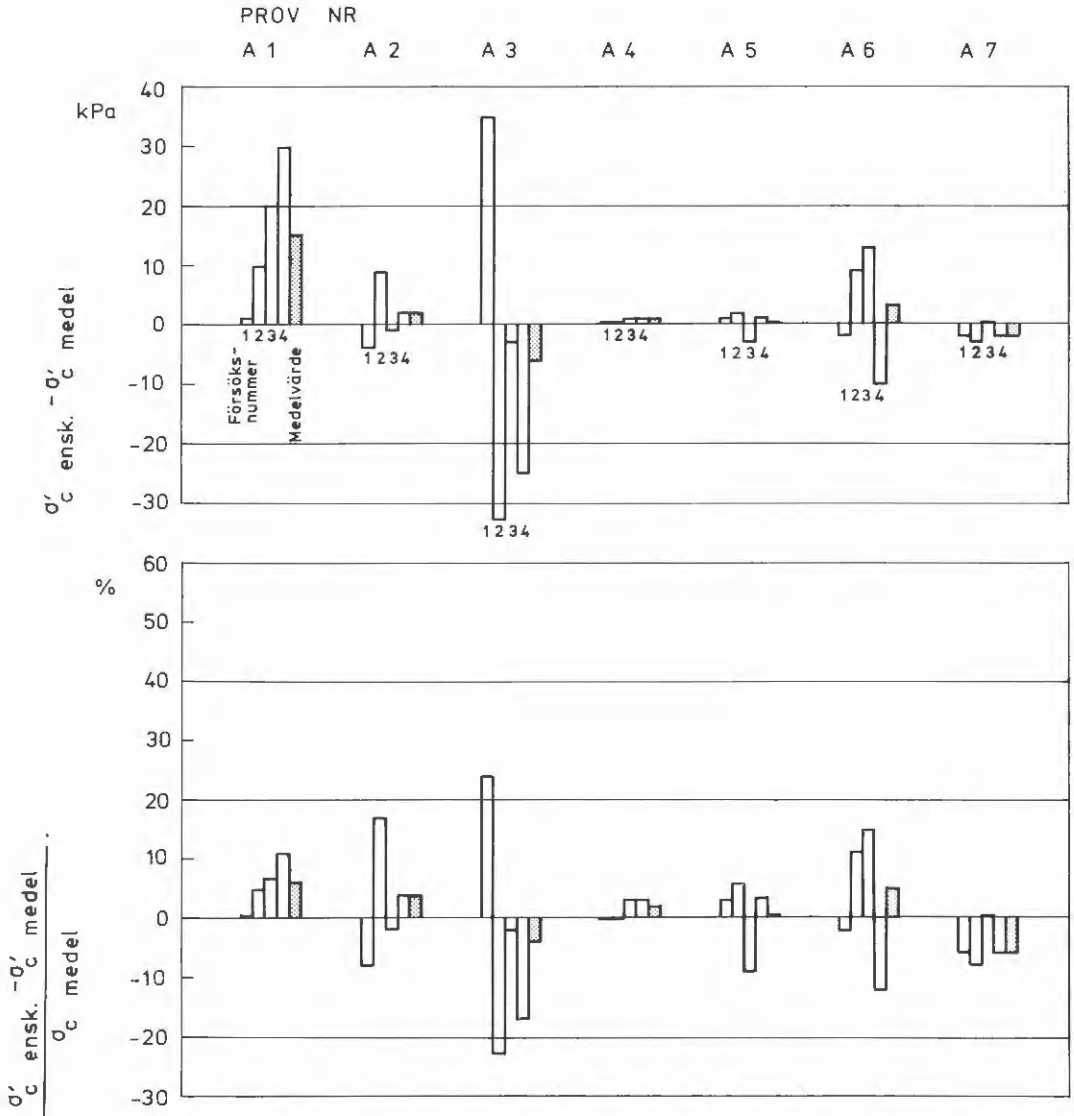


FIGUR 13. Jämförelse mellan förkonsolideringstryck, σ'_c , från dygnsförsök och förkonsolideringstryck från snabbförsök i försöksserie A.

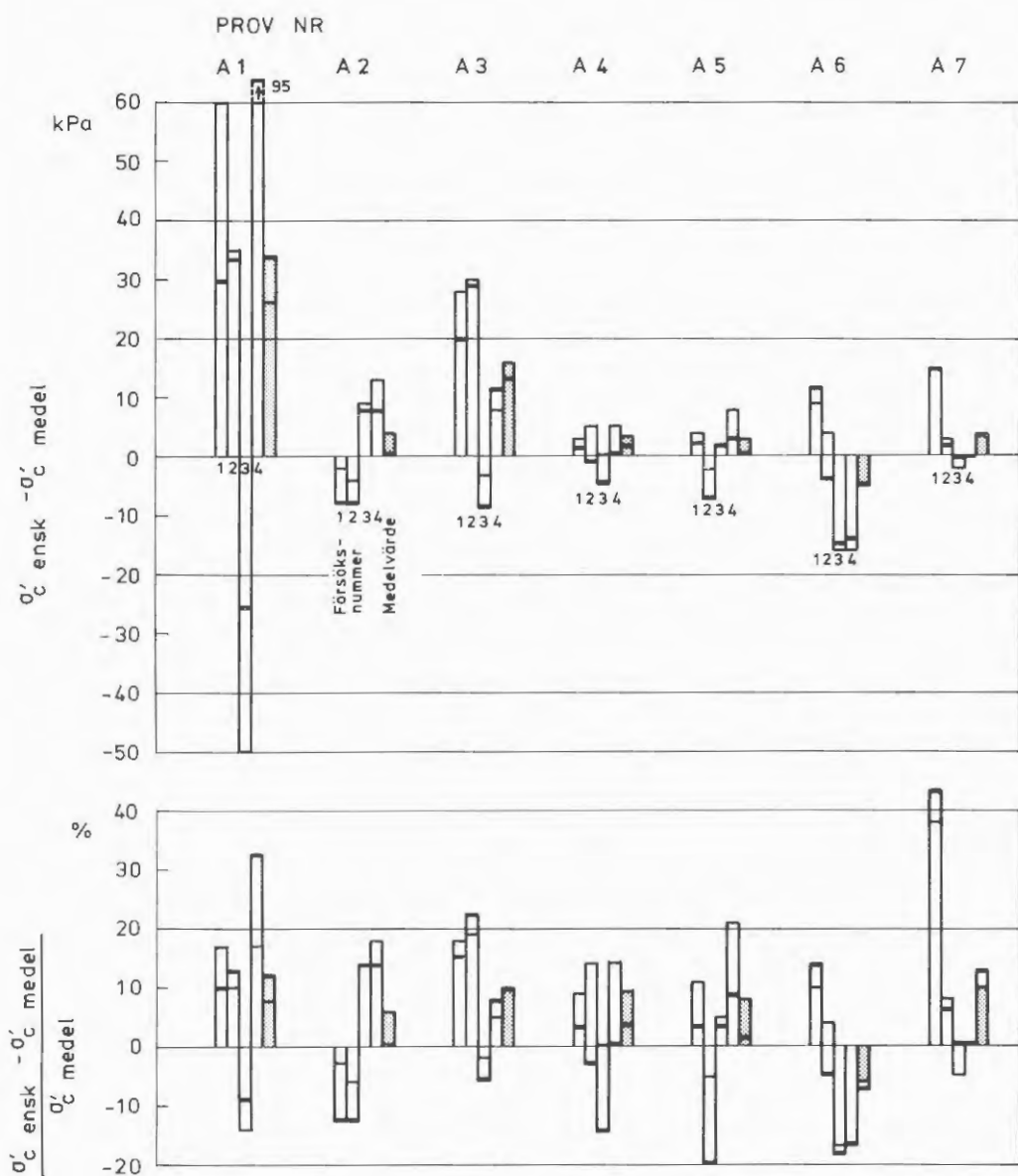
- a. σ'_c snabb enligt Casagrande (övre diagrammet)
- b. σ'_c snabb enligt r_{\min} -metoden (undre diagrammet).

FIGUR 14 a-b. Jämförelse mellan ödometerförsök och empiriska metoder att bestämma förkonsolideringstrycket.





FIGUR 15 a. Jämförelse mellan förkonsolideringstryck utvärderade från enskilda ödometerförsök och från medelkurva.
Dygnsförsök



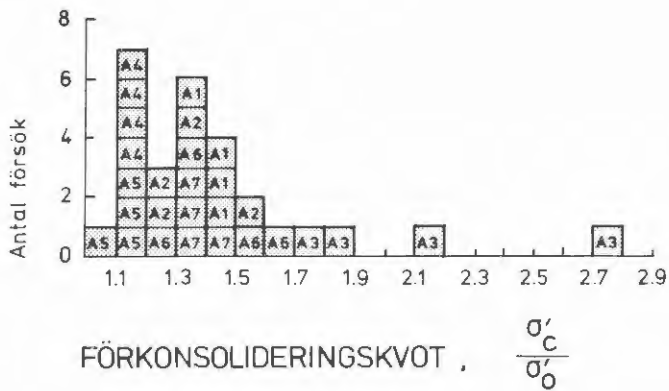
FIGUR 15 b. Jämförelse mellan förkonsolideringstryck utvärderade från enskilda ödometerförsök och från medelkurva.

Snabbförsök

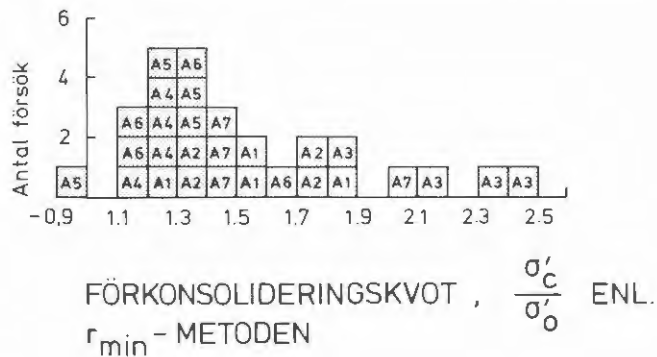
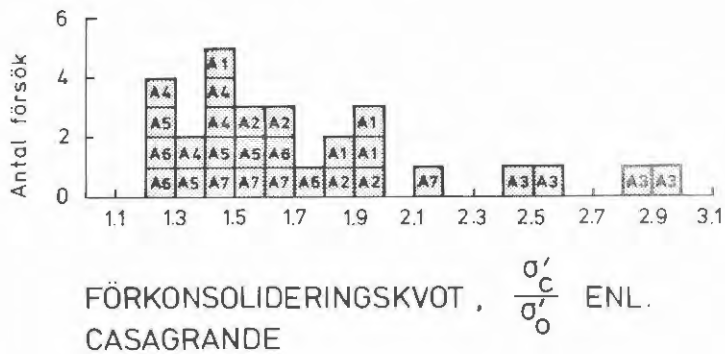
σ'_c enl Casagrande anges med tunna streck.

σ'_c enl r_{\min} -metoden anges med tjocka streck.

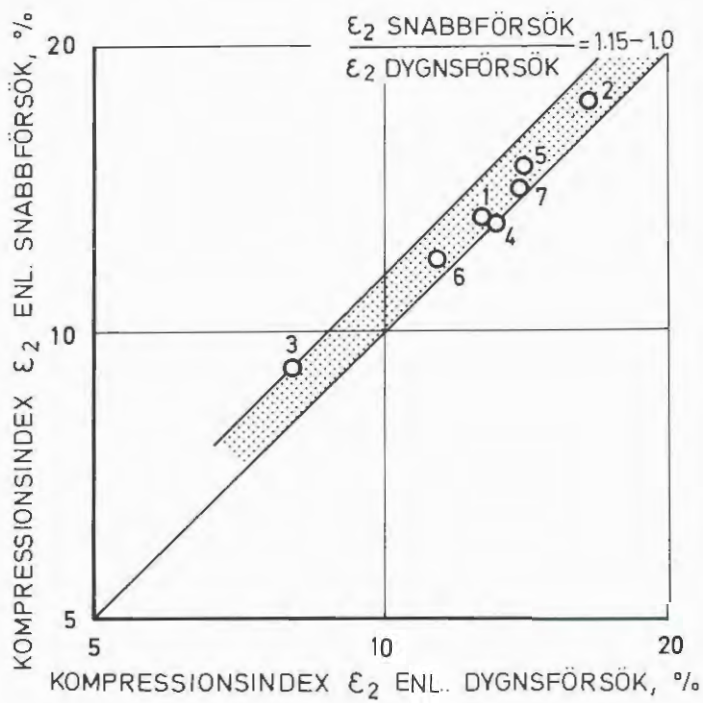
a) DYGNFÖRSÖK



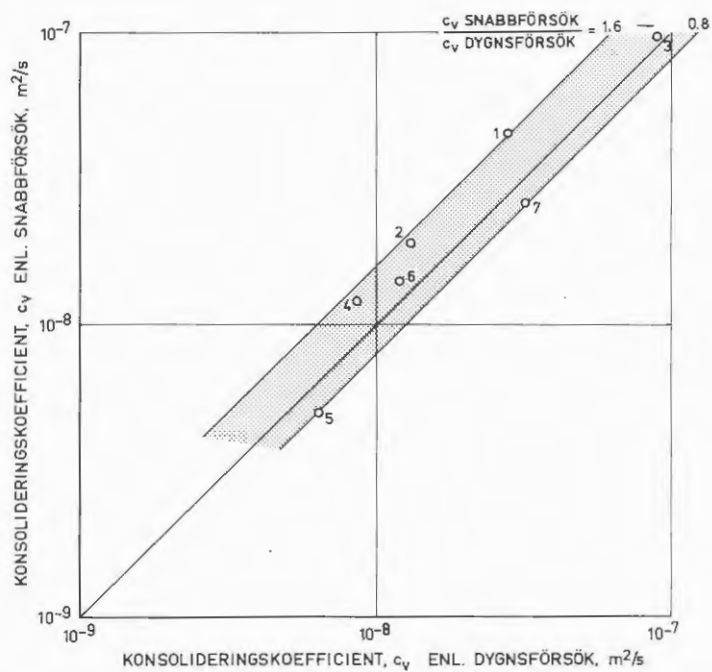
b) SNABBFÖRSÖK



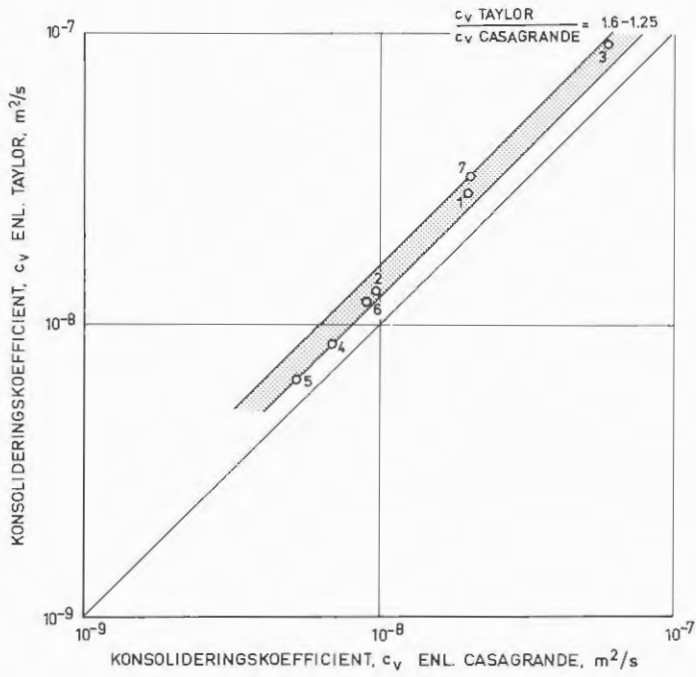
FIGUR 16 a-b. Förkonsolideringskvot, $\frac{\sigma'_c}{\sigma'_o}$ för enskilda ödometerförsök.
Prov A1-A7



FIGUR 17. Jämförelse mellan kompressionsindex från dygnsförsök och snabbförsök i försöksserie A. Maximivärden enligt FIG 3-9.



FIGUR 18. Jämförelse mellan konsolideringskoefficient enligt Taylor från dygnsförsök och snabbförsök i försöksserie A. Minimivärden enligt FIG 3-9.



FIGUR 19. Jämförelse mellan konsolideringskoefficient enligt Taylor och Casagrande i försöksserie A. Minimivärden enligt FIG 3-9.

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
Swedish Geotechnical Institute
Fack
S-581 01 Linköping
Tel: 013/11 51 00

| RAPPORT/REPORT No. | år | Pris kr (Sw.crs.) |
|---|------|----------------------|
| 1. Grundvattensänkning till följd av tunnelsprängning. <i>P. Ahlberg, T. Lundgren</i> | 1977 | 50:- |
| 2. Påhängskrafter på långa betongpålar. <i>L. Bjerin</i> | 1977 | 50:- |
| 3. Methods for reducing undrained shear strength of soft clay. <i>K.V. Helenelund</i> | 1977 | 30:- |
| 4. Basic behaviour of Scandinavian soft clays. <i>R. Larsson</i> | 1977 | 40:- |
| 5. Snabba ödometerförsök <i>R. Karlsson, L. Viberg</i> | 1978 | 25:- |

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

Besöksadr.: Olaus Magnus väg 35, LINKÖPING

Postadr.: Fack, 581 01 LINKÖPING 1, tel 013-11 5100