



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Monitering af forsøgsdæmning ved Bouet i Vendsyssel

Jørgensen, Mogens B.

Publication date:
1998

Document Version
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Jørgensen, M. B. (1998). *Monitering af forsøgsdæmning ved Bouet i Vendsyssel*. Geotechnical Engineering Group. AAU Geotechnical Engineering Papers: Field Testing Paper Bind R 9810 Nr. 3

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Monitering af forsøgsdæmning ved Bouet i Vendsyssel

M.B. Jørgensen

1998

Field Testing Paper No 3



**GEOTECHNICAL ENGINEERING GROUP
AALBORG UNIVERSITY DENMARK**

Jørgensen, M.B. (1998). Monitoring af forsøgsdæmning ved Bouet i Vendsyssel.

AAU Geotechnical Engineering Papers, ISSN 1398-6465 R9810.

Field Testing Paper No 3

The paper has been published in

© 1998 AAU Geotechnical Engineering Group.

Except for fair copying, no part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the Geotechnical Engineering Group.

Papers or other contributions in AAU Geotechnical Engineering Papers and the statements made or opinions expressed therein are published on the understanding that the author of the contribution is solely responsible for the opinions expressed in it and that its publication does not necessarily imply that such statements or opinions are or reflect the views of the AAU Geotechnical Engineering Group.

The AAU Geotechnical Engineering Papers - AGEP - are issued for early dissemination and book keeping of research results from the Geotechnical Engineering Group at Aalborg University (Department of Civil Engineering). Moreover, the papers accommodate proliferation and documentation of field and laboratory test series not directly suited for publication in journals or proceedings.

The papers are numbered ISSN 1398-6465 R<two digit year code><two digit consecutive number>. For internal purposes the papers are, further, submitted with coloured covers in the following series:

Series	Colour
Laboratory testing papers	sand
Field testing papers	grey
Manuals & guides	red
Soil Mechanics papers	blue
Foundation Engineering papers	green
Engineering Geology papers	yellow
Environmental Engineering papers	brown

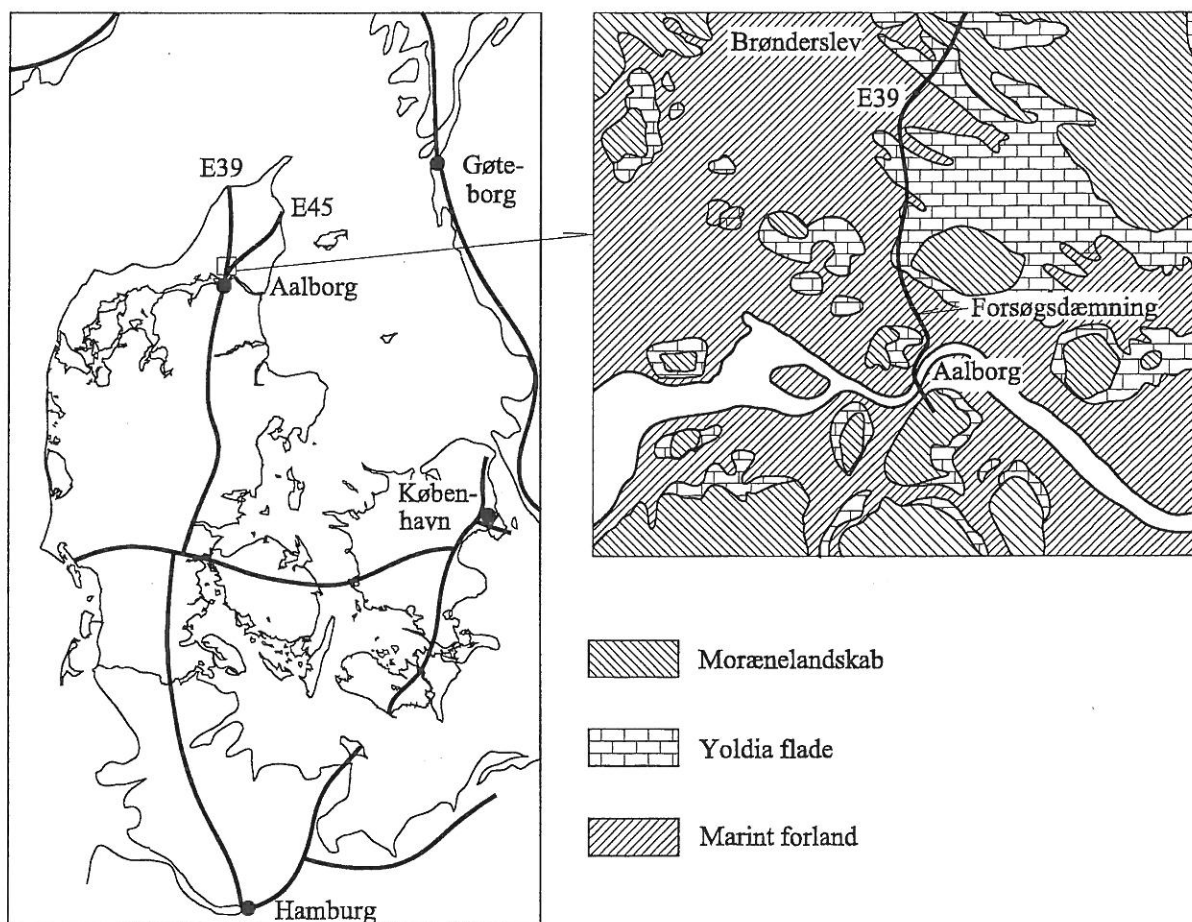
In general the AGEP papers are submitted to journals, conferences or scientific meetings and hence, whenever possible, reference should be given to the final publication (journal, proceeding etc.) and not to the AGEPPaper.

Monitering af forsøgsdæmning ved Bouet i Vendsyssel

Mogens Bitsch Jørgensen
Geoteknikgruppen, Aalborg Universitet

SYNOPSIS: Nærværende artikel omhandler målinger udført af Geotekniklaboratoriet ved Aalborg Universitet i forbindelse med en forsøgsdæmning anlagt på bløde jordlag ved Bouet i Vendsyssel. Målingerne omfatter hydrauliske nivellemeter i udlagte måleslanger til bestemmelse af jordlagenes sætninger for den etablerede belastning samt registreringer af de fremkaldte poretryk i forskellige dybder i de sætningsgivende jordlag ved hjælp af nedpressede piezometre.

Formålet med måleprojektet er at afprøve de lokale sætningsgivende jordlags konsoliderings-egenskaber i stor skala og under kontrollerede forhold inden iværksættelsen af en række planlagte forbelastningsprojekter på den kommende motorvejsstrækning mellem Aalborg og Brønderslev. Måleresultaterne peger på gunstige muligheder for at kunne gennemføre disse projekter med ønsket effekt indenfor de planlagte tidsrammer.



Figur 1. Lokalisering af forsøgsdæmning. (a) Motorvejsnettet i Danmark ; (b) Overfladegeologi i projektområdet.

1. INDLEDNING

På baggrund af geotekniske forundersøgelser udført af ingeniørfirmaet Carl Bro Anlæg as, Aalborg i perioden 1992 – 93 blev det kortlagt, at den planlagte linieføring for den nye motorvejsstrækning mellem Aalborg og Brønderslev (med videre forløb til Hirtshals) ville indebære passage af flere blødbundsområder som en naturlig følge af, at strækningen delvis forløber på hævet havbund fra Stenalderhavet. (Se figur 1).

Med henblik på at vurdere de sætningsmæssige konsekvenser (såvel med hensyn til størrelse som tidsforløb) af at anlægge de projekterede motorvejsdæmninger direkte på de naturgivne lag blev der i de følgende år foretaget supplerende detailundersøgelser omfattende dels ekstra borer og dels en række konsolideringsforsøg udført på optagne intakte prøver af de bløde jordlag.

Analyserne, der blev foretaget på grundlag af dette materiale, pegede på, at man på de aktuelle blødbundsstrækninger kunne opnå en tilfredsstillende reduktion af sætningerne i brugsperioden ved at gennemføre forbelastning med overhøjdefyld i perioder indenfor ca. et års varighed forud for vejens færdiggørelse og ibrugtagning.

Et usikkerhedsmoment, specielt i forbindelse med vurderingen af tidsforløbet, var der dog tale om især på en strækning mellem St. 5,0 og St. 5,5 i nærheden af Bouet. Her bestod de sætningsgivende lag af gytje med vekslende indhold af sand og silt og med mægtigheder varierende mellem 5 og ca. 20m.

Usikkerheden omkring især de mere sandede partiers indflydelse på dræningsforholdene gjorde det ønskeligt at efterforske dette forhold på stedet gennem et hensigtsmæssigt markforsøg i passende stor skala.

Efter overvejelser af forskellige muligheder blev det besluttet – da tidshorizonten gjorde det meningsfuldt – at opbygge en kort forsøgsdæmning med instrumentering til registrering af poretryksudvikling og sætningsforløb. Forsøgsdæmningen kunne så senere indgå i en længere forbelastningsdæmning, såfremt måleresultaterne kunne bekræfte formodningen om, at en tilstrækkelig effekt af forbelastningen også kunne opnås i dette område.

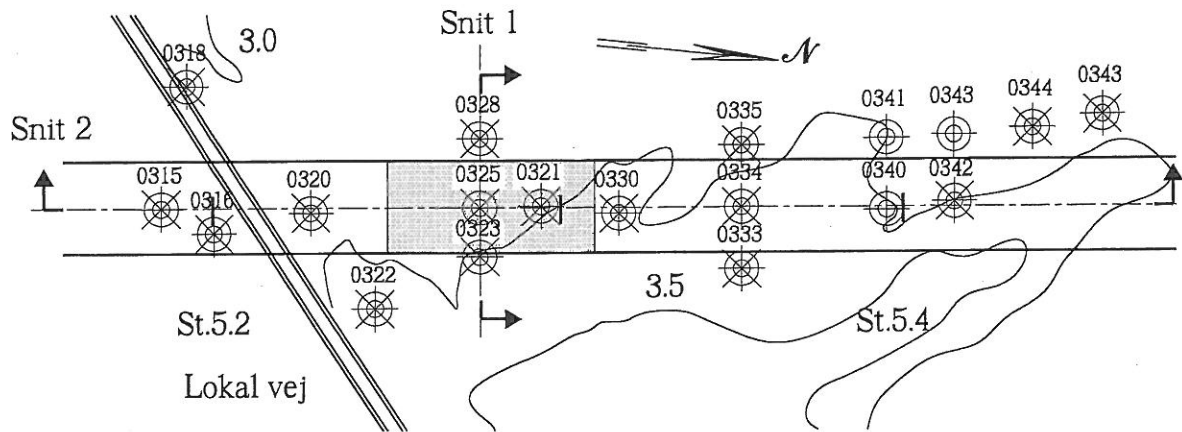
Geotekniklaboratoriet ved Aalborg Universitet har i denne forbindelse deltaget i et samarbejde med ingeniørfirmaet Carl Bro Anlæg as, Aalborg afdeling, om planlægning, instrumentering og monitorering på denne forsøgsstrækning i henhold til indgået kontrakt. Nærværende artikel omhandler specielt den del af måleprogrammet, som Geotekniklaboratoriet har varetaget.

2. PLACERING OG BUNDFORHOLD

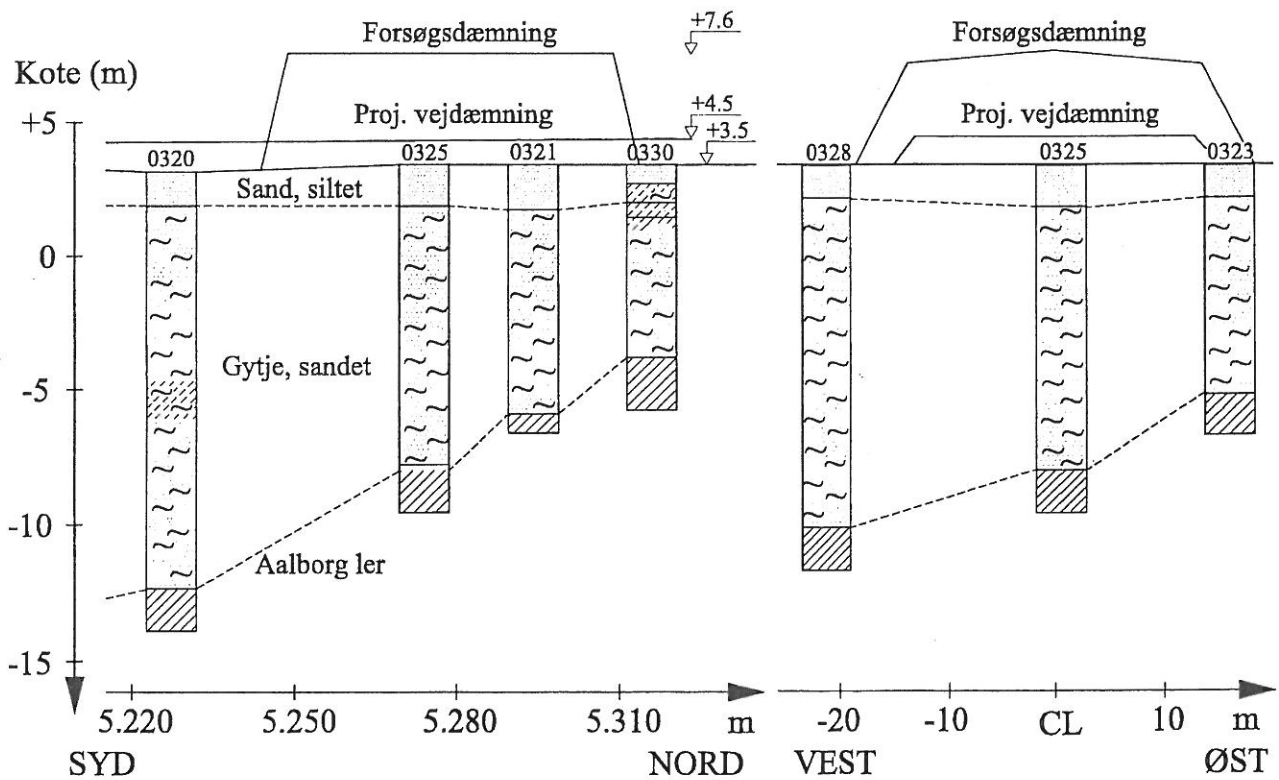
Figur 2 viser en delstrækning af den projekterede motorvej mellem St. 5,2 og St. 5,4. Det skraverede område blev udvalgt som forsøgsområde, og der er dermed tale om et belastet areal på ca. 60m x 35m. Figuren viser samtidig positionerne for de udførte forundersøgelserboringer i området.

Figur 3 viser et længdesnit og et tværsnit af såvel den projekterede vejdæmning som den opbyggede forsøgsdæmning. Det ses, at forsøgsdæmningens højde er valgt ca. 4 gange større end den endelige dæmningshøjde. Samtidig viser figuren udstrækningen af de stærkt sætningsgivende lag. Det ses, at mægtigheden er ca. 10m ved dæmningsmidte, og at den øges i sydlig og vestlig retning mens den aftager i nordlig og østlig retning.

Et oprindeligt 0,3-0,4m tykt muldlag er ikke vist på figuren, idet dette lag indledningsvis blev afrømmet og erstattet af et tilsvarende tykt lag sandfyld.



Figur 2. Situationsplan med angivelse af forsøgsdæmnings beliggenhed.



Figur 3. Jordbundsprofiler ved forsøgsfeltet. (a) Længdesnit ; (b) tværsnit.

3. INSTRUMENTERING FOR MÅLING AF PORETRYK

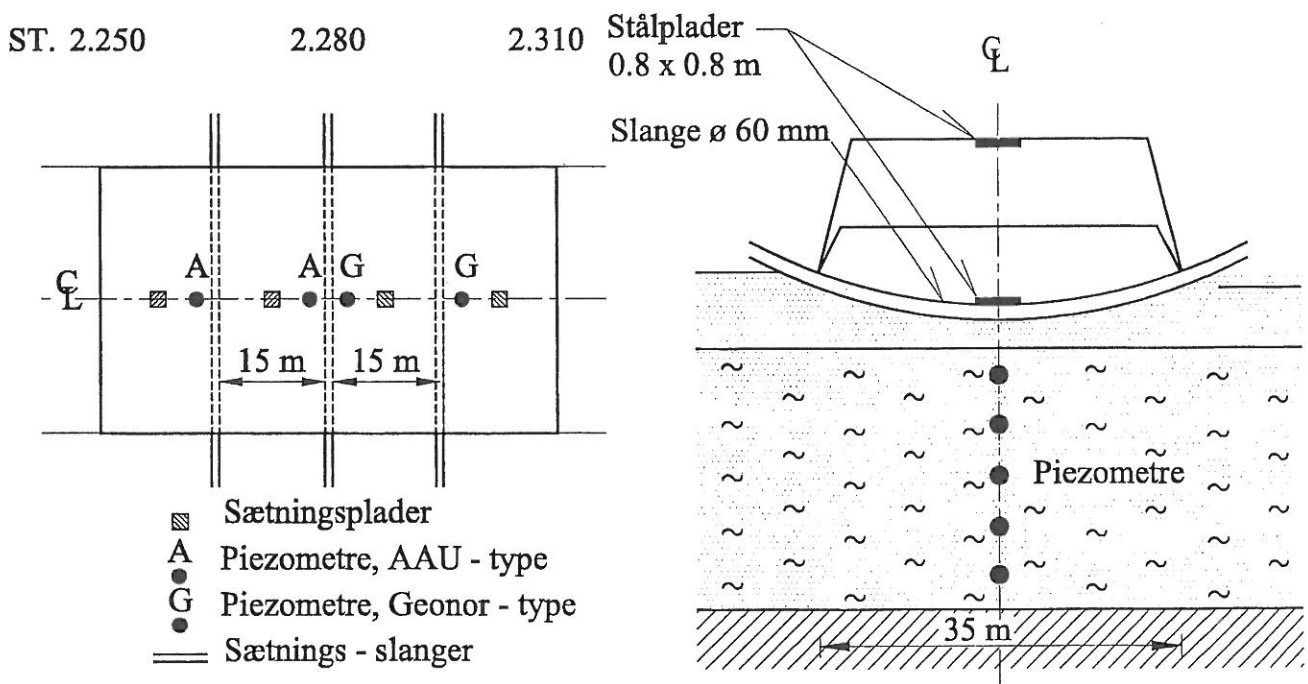
Instrumenteringen af prøvelfeltet blev hovedsageligt udført i perioden 11.-14. marts 1996. Indledningsvis blev anbragt i alt 20 piezometre til måling af poretryk i de sætningsgivende jordlag. Det blev valgt at anvende 10 avancerede elektriske piezometre fordelt i to grupper med fem i hver samt 10 mere traditionelle piezometre ligeledes fordelt i to grupper med fem i hver.

Som det fremgår af figur 4 er alle grupperne placeret i feltets centerlinie. De elektriske piezometre (Geonor M600) i punkterne mærket G og de øvrige (AAU-type) i punkterne mærket A. De lodrette afstande mellem de enkelte piezometre er ens i alle grupper, nemlig 1,5 á 2,0 m.

De elektriske piezometre blev tilkoblet elektronisk dataopsamlingsudstyr og kunne programmeres til automatisk registrering af poretrykket med korte tidsintervaller, hvorved en næsten kontinuert monitoring kunne opnås. Denne monitoring er varetaget af Carl Bro Anlæg as.

De øvrige piezometre er ved hjælp af tynde nylon-slanger (ført lodret op til jordoverfladen og videre vandret ud til dæmningsfoden) tilsluttet hver sin Hg-sløjfe, som er anbragt på en lodret tavle i et aflåseligt manometerskab.

Forbindelsesledningen, som vandfyldes omhyggeligt inden tilslutningen til Hg-sløjfen, står direkte i forbindelse med porevandet i målepunktet via en smal filterring af porøs bronze. (En ekstra nylon-slangeforbindelse til piezometret sikrer, at der kan foretages en gennemskylning, hvis der eksempelvis optræder forstyrrende luftlommer i systemet). Registrering af poretrykket i målepunktet kræver med dette udstyr en manuel aflæsning af højdeforskellen mellem Hg-strengens to endepunkter. Endvidere skal koten til vand/Hg – søjlens frie overflade fastlægges ved almindeligt nivellement med udgangspunkt i et fixpunkt med kendt kote. Etableringen og monitoringen af disse piezometre er varetaget af Geotekniklaboratoriet.



Figur 4. Placering af måleudstyr ved forsøgsdæmningen. (a) Plan ; (b) tværsnit.

Et argument for at anvende begge piezometertyper på forsøgsfeltet var, at de forholdsvis nye elektriske piezometre frembød nogle attraktive fordele med hensyn til automatisk og kontinuert registrering og opsamling, som man ønskede at drage nytte af. Til gengæld kendte man ikke rigtig deres robusthed og pålidelighed. Den anden type havde derimod været anvendt i mange år med gode erfaringer for netop robusthed. Med en gruppe af hver type anbragt tæt ved hinanden i midten af feltet er der mulighed for en direkte sammenligning af måleresultater.

4. INSTRUMENTERING FOR MÅLING AF SÆTNINGER

Ligeledes inden påfyldningen blev påbegyndt blev der, som vist på figur 4, anbragt tre måleslanger på tværs af prøvefeltet til brug for observationer af jordoverfladens sætninger og disses fordeling over hele dæmningstværsnittet. Slangerne skal være så fleksible i længderetningen, at de uden modstand kan følge sætningskurvens form. Samtidig skal tværsnittet have en sådan formstivhed, at slangen ikke presses sammen af overlejringstrykket fra fylden. Diameteren skal tillade, at målesonden på det benyttede hydrauliske "slangemåleudstyr" frit kan trækkes gennem måleslangen, selv i "udbøjet" tilstand. Udfra ovennævnte krav blev valgt PEM-rør (10 AS, D = 63mm).

For at beskytte måleslangerne mod beskadigelser fra arbejdskøretøjer blev de under installeringen anbragt i en 0,3 – 0,4m dyb grøft i den udlagte sandfyld etableret med rendegraver. Slangeenderne blev ført op over terrænet ca. 4-5m udenfor dæmningsfoden og her omsluttet af et beton-mufferør med låg. Inden anbringelsen blev der i rørene anbragt en tynd stålwire til brug for gennemtrækning af måleinstrumentet. Systemet tillader, at alle målinger foretages fra siden af dæmningen, og tætheden af målepunkter i slangen kan vælges frit. Målingerne kan altså i princippet gennemføres uafhængigt af arbejdskørsel og senere trafik på dæmningen.

Figur 4 viser endvidere placeringen af fire sætningsplader (0,8 x 0,8m stålplade) anbragt i centerlinien i terrænniveau samt yderligere fire sætningsplader anbragt i toppen af forsøgsdæmningen. Positionerne af disse plader bestemmes ved almindeligt nivellement, idet forbindelsen til de underste plader etableres ved hjælp af stålstang i boret hul fra dæmningskronen.

Etableringen af plader samt nivellementer til disse er varetaget af Carl Bro Anlæg as, mens etablering og gennemmåling af slanger er varetaget af Geotekniklaboratoriet.

5. PORETRYKSOBSERVATIONER

Såvel i St. 2.265 som i St. 2.280 er piezometre af AAU – type anbragt i følgende koter: + 0.6 , - 1.4, - 2.9 , -4.4 , - 6.4 .

Opfyldningsarbejdet påbegyndtes 15. marts 1996 og blev afsluttet 29. marts 1996. Den påførte belastning svarer til ca. 70 kPa i terrænniveau (kote +3.5). Ser man bort fra elastisk trykspredning ville man kunne forvente at se en poretrykstigning på 70 kPa i alle målepunkter, såfremt lasten blev påført momentant. Hvis et stigrør blev sat i forbindelse med det enkelte målepunkt ville det betyde, at man observerede en vandsøjle stige op til en højde på 7m over grundvandsspejlets niveau (GVS). Kote til vandspejlet i røret er således et mål for trykniveauet i det pågældende målepunkt (med udgangspunkt valgt i kote 0). Nylonslangen fra det enkelte piezometer udgør netop sådan et stigrør. Her er vandsøjleens højde blot reduceret ved tilslutningen til Hg – strengen på manometertavlen. Behandlingen af måledata består således af en omregning af målt søjlehøjde til ren vandsøjlehøjde. Med tiden vil man se trykniveauet falde i takt med konsolideringsprocessens fremadskriden.

Imidlertid er lastpåførelsen ikke momentan, men opbygges gradvis over 14 dage. I denne periode sker allerede en vis vandudpresning med deraf følgende tryktab. Det må derfor forventes, at de

maksimal trykstigninger ikke vil nå helt op på de 70 kPa. (Reduktionen vil afhænge af de sætningsgivende lags permeabilitet).

Tages der endvidere hensyn til virkningen af initialdeformationer (trykspredning) vil der yderligere være tale om en vis reduktion af den maksimale poretrykstilvækst.

Anvendes Skemptions poretryksligning ($\Delta u = \Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)$) i forbindelse med elastiske influenskurver for spændingstilvækster (slap plade) og en skønnet poretrykskoefficient, $A = 0.8$ beregnes maksimale poretrykstilvækster mellem 66 kPa i kote + 0.6 og 59 kPa i kote - 6.4 .

Der er altså flere årsager til, at de maksimale poretrykstilvækster (trykniveau-tilvækster) må forventes at være lavere end den påførte last på 70 kPa. I det følgende angives for hvert punkt de målte trykniveaus variation med tiden, idet måletidspunktet angives som antallet af døgn efter 15. marts 1996. Samtidig angives variationen af grundvandsspejlets beliggenhed (GVS), som det er bestemt ved pejling i nærliggende pejlebrønde. Differensen mellem de to kurver svarer da til det poreovertryk, der på et givet tidspunkt hersker i målepunktet.

Måleresultaterne er vist på siderne 7 - 11 i aritmetrisk afbildning.

6. SÆTNINGSOBSERVATIONER

På siderne 12 – 14 er vist indmålte slangeprofiler i de tre måletværsnit samt de herudfra beregnede sætningskurver til de angivne måletidspunkter.

Desværre forårsagede en defekt tryktransducer, at en første indmåling af slangerne udført umiddelbart efter indbygningen, men før udlægning af belastningsfyld var ubrugelig. Som udgangspunkt for bestemmelsen af sætninger er derfor anvendt enten gennemmålinger udført få dage senere eller et nivellement til slangeoverside udført efter anbringelse i den udgravede rende, men før tildækning. I begge tilfælde er der tale om en ekstra usikkerhed på de totale sætninger, der skønnes at kunne andrage 5 - 10 cm.

7. MÅLERESULTATER

På side 15 er vist afbildninger dels af maksimalsætningerne i ST. 5.280 (bestemt på ovennævnte grundlag) og dels af trykniveau-variationen i kote - 1.4 i samme station (størst målte poreovertryk). I begge afbildninger er anvendt logaritmisk inddelt tidsakse for at kunne sammenligne kurverne med velkendte teoretiske tidskurver.

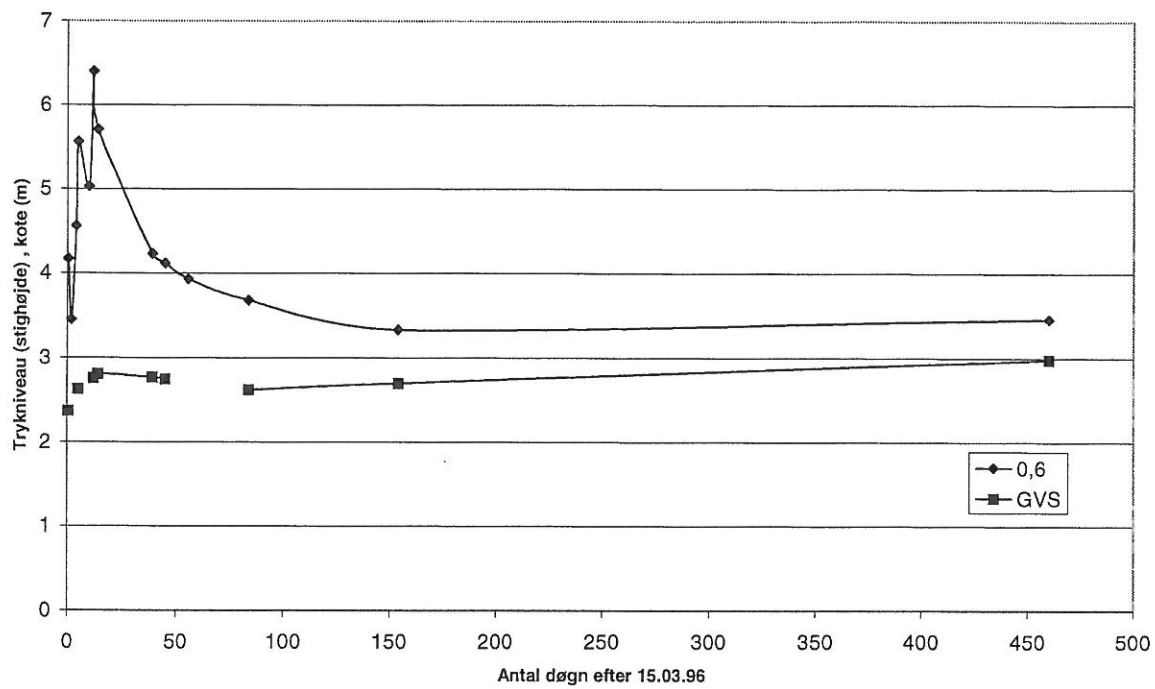
Begge kurver synes at indikere en konsolideringstid på 200 – 250 døgn (7 – 8 måneder), hvilket tyder på, at en tilstrækkelig effekt på selv denne lokalitet vil kunne opnås med de planlagte forbelastningsforløb af ca. 1 års varighed.

8. REFERENCER

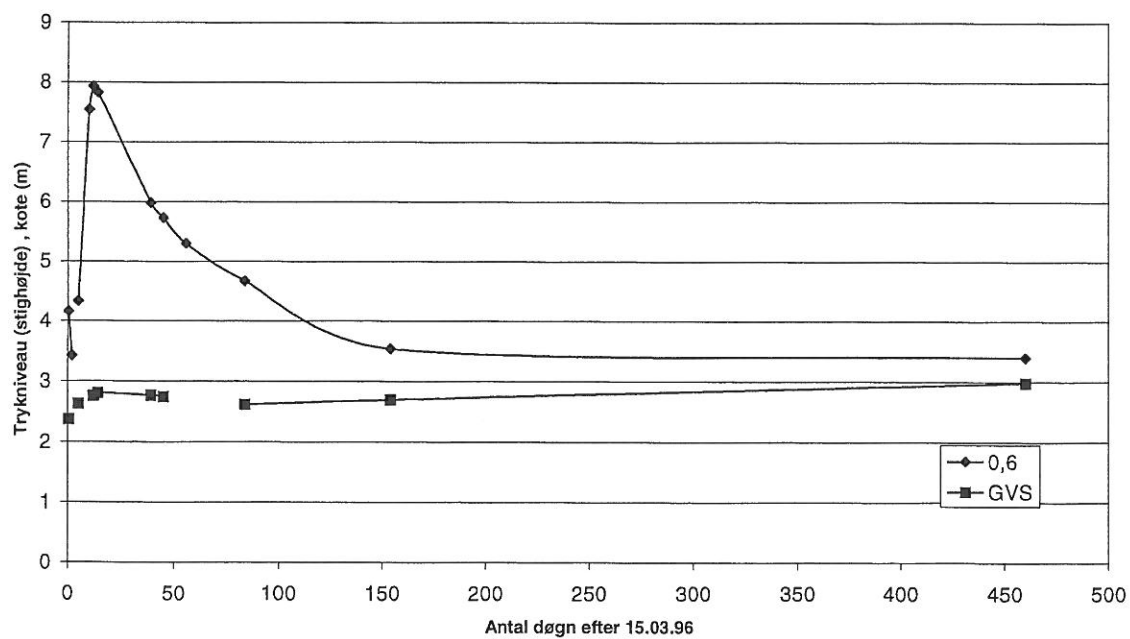
Carl Bro Anlæg as, juni 1996:

Motorvejen Aalborg – Hirtshals
Etape 96, Nr. Sundby – Brønderslev
Geoteknisk Specialrapport 1A

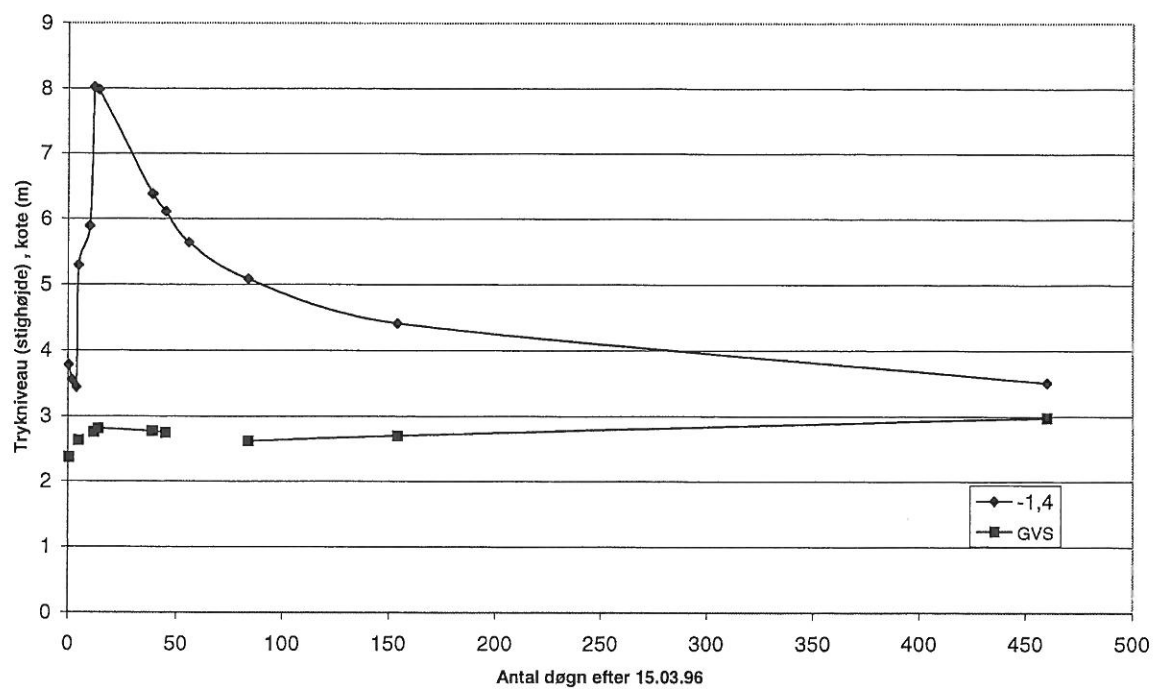
ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote + 0.6



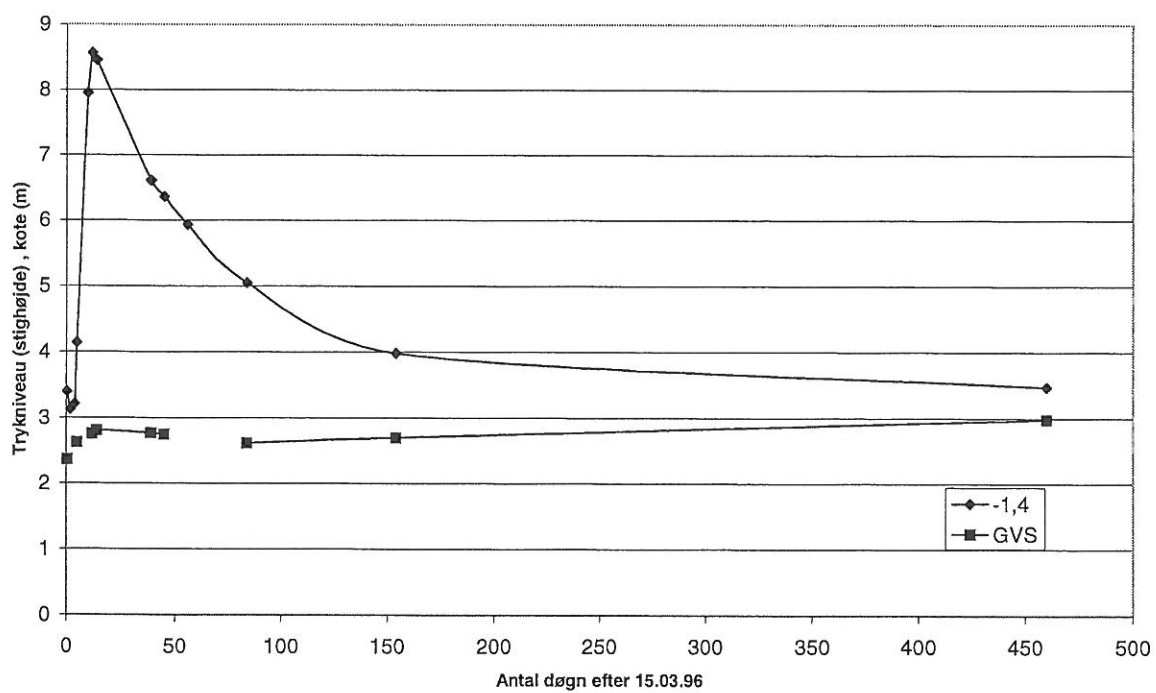
ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote + 0.6



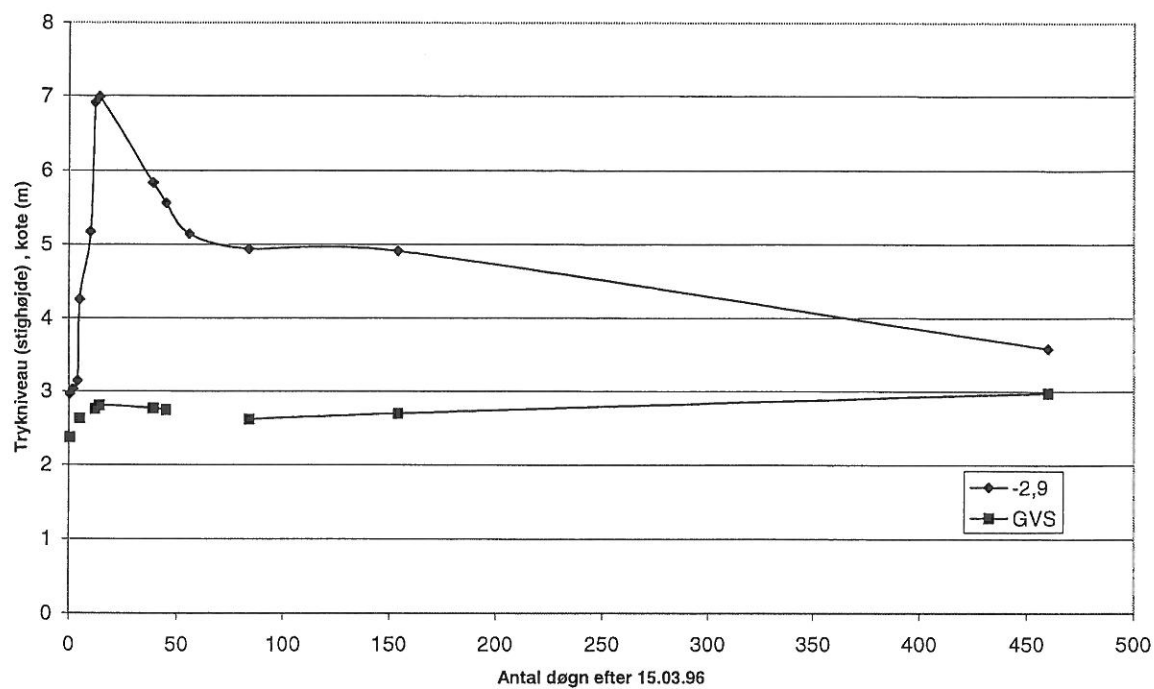
ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote - 1.4



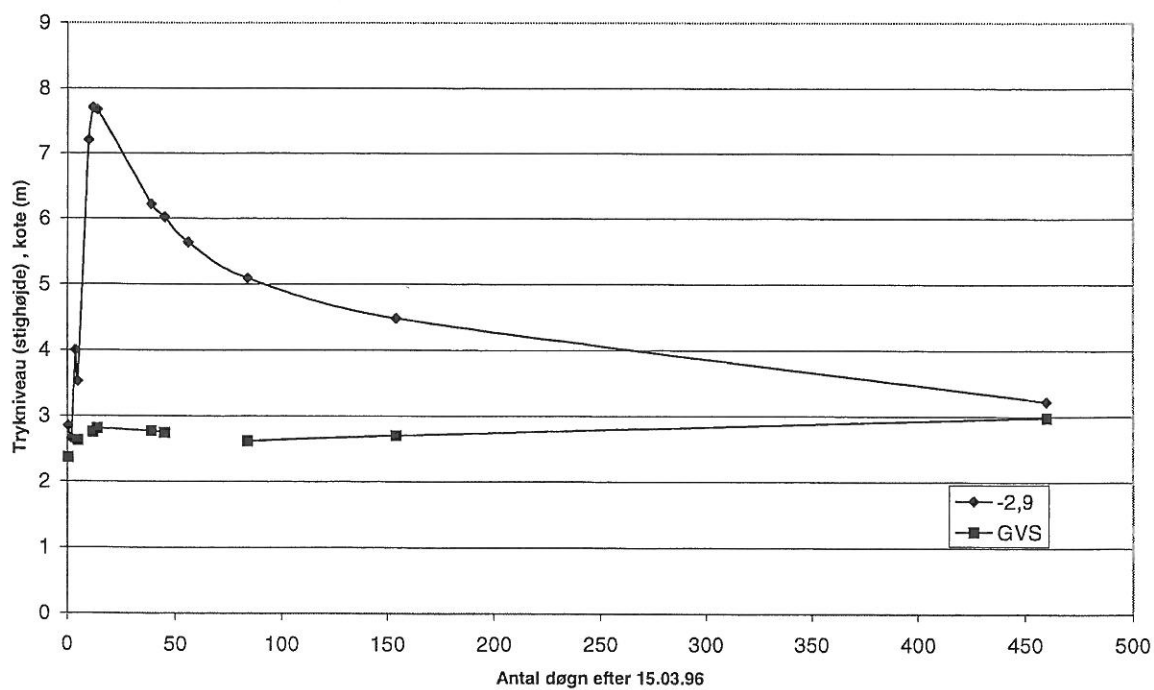
ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote - 1.4



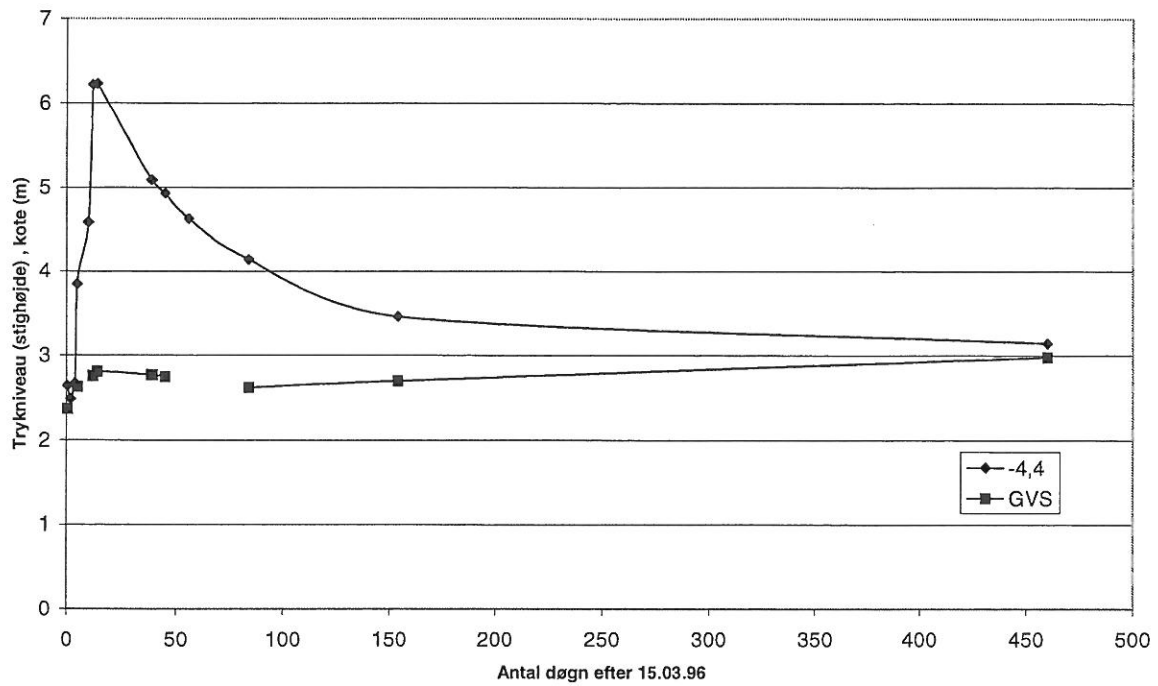
ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote - 2,9



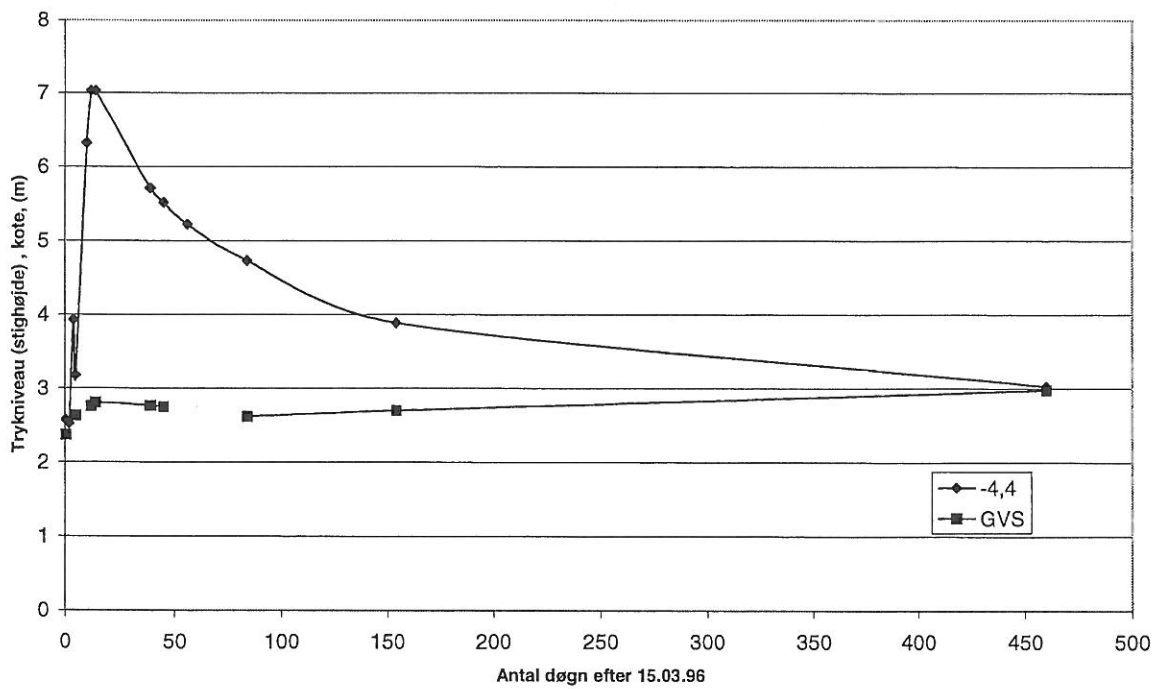
ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote - 2,9



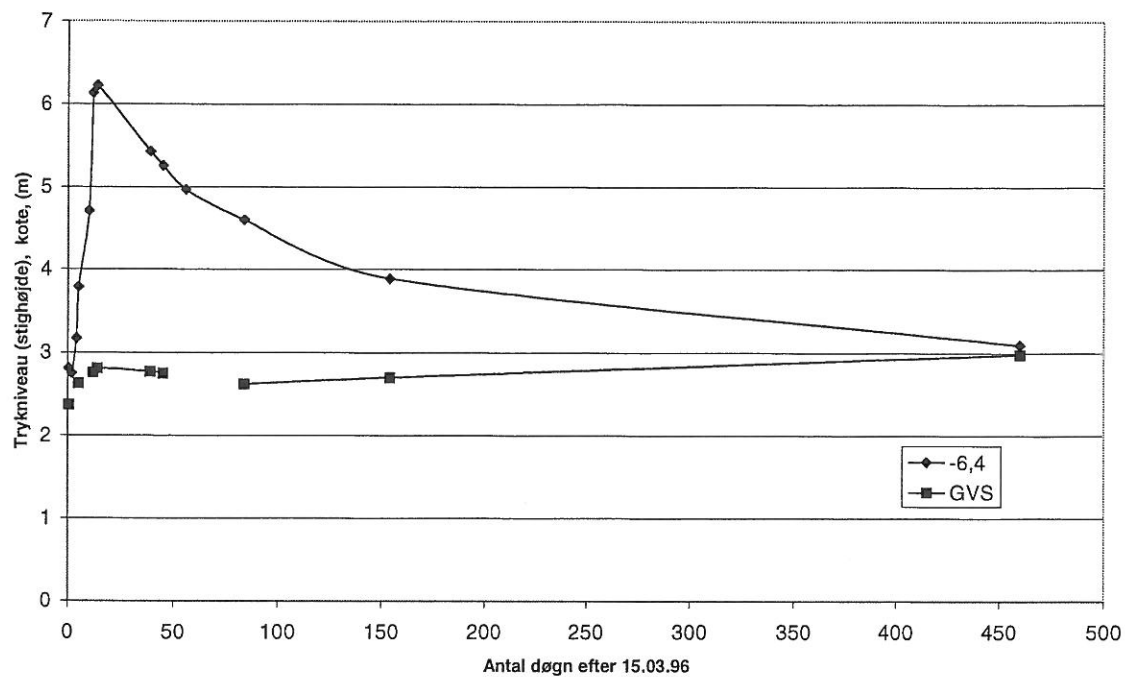
ST. 5.265, Piezometer anbragt i kote - 4.4



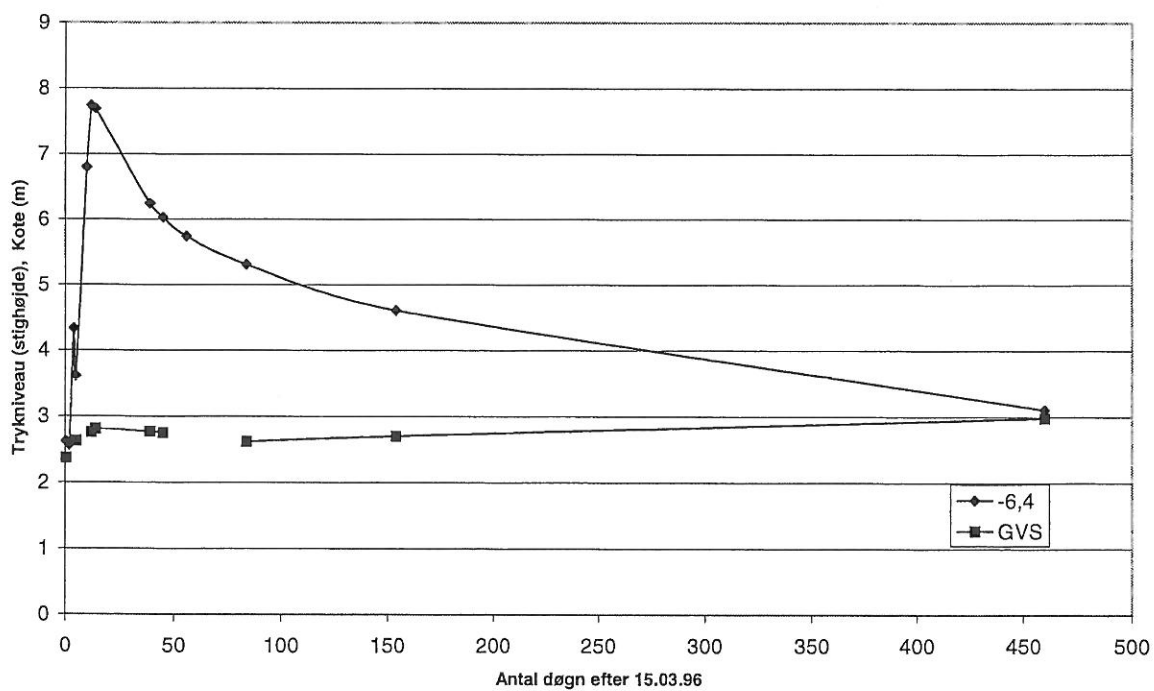
ST. 5.280, Piezometer anbragt i kote - 4.4



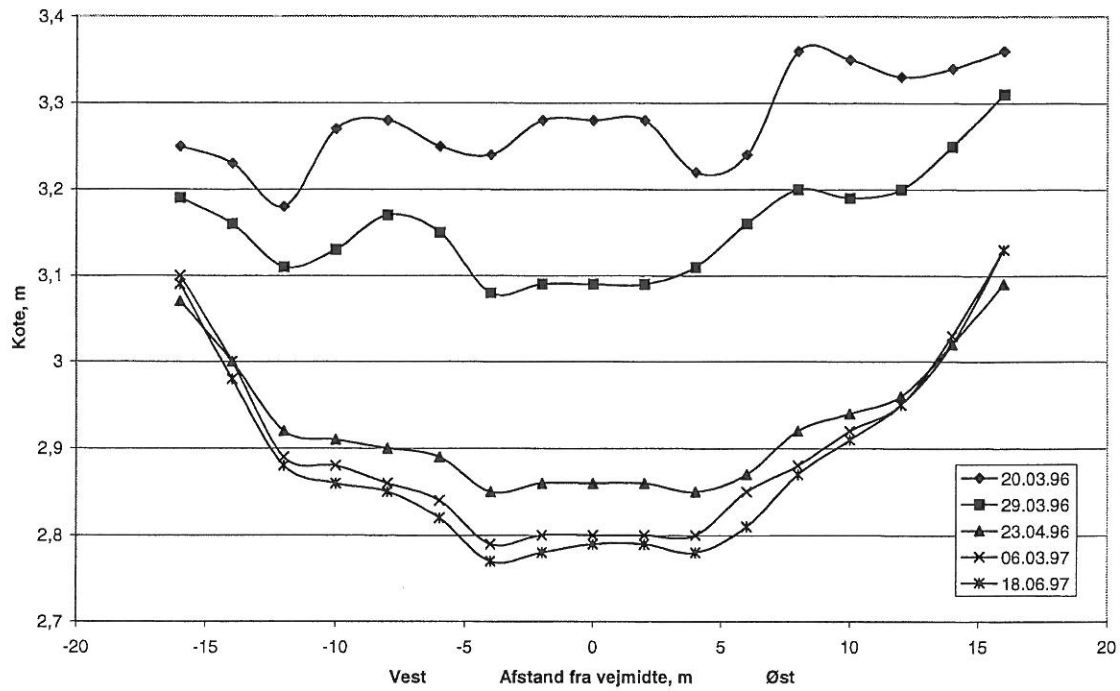
ST. 5.265, Piezometer anbragt i kote - 6.4



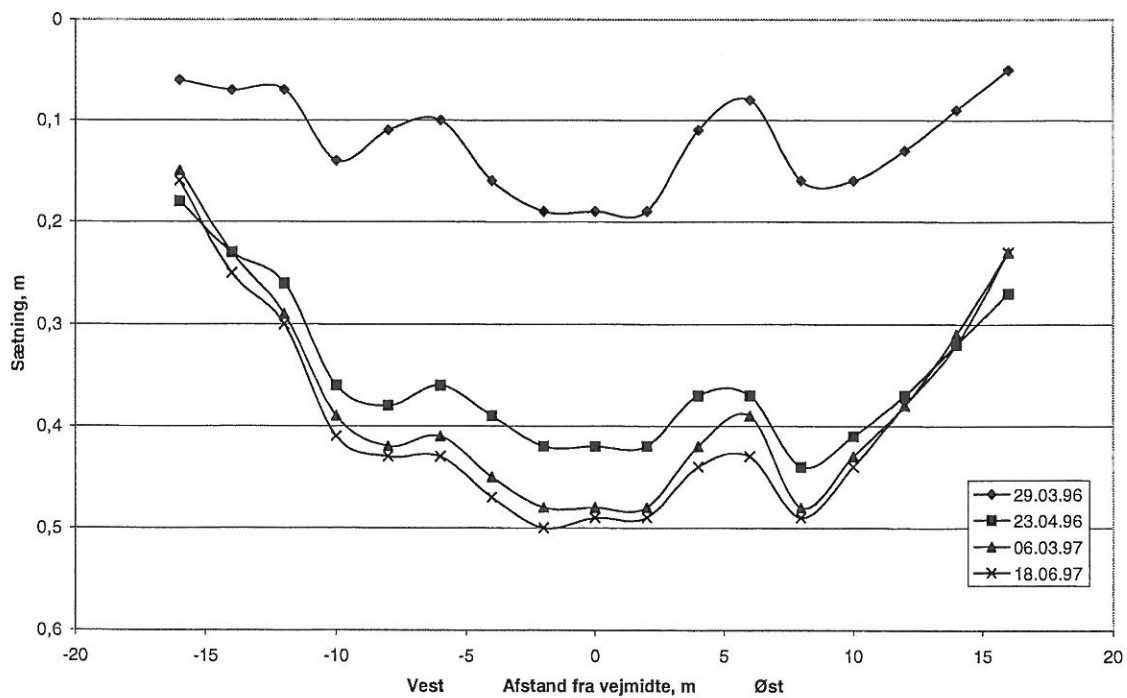
ST. 5.280, Piezometer anbragt i kote - 6.4



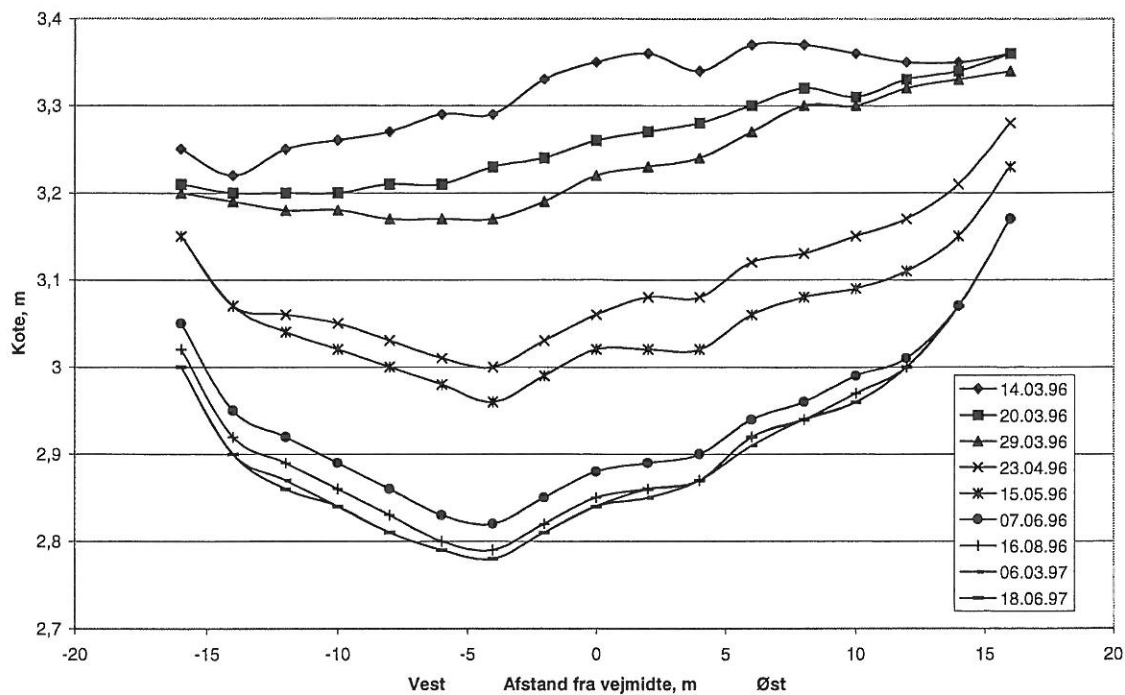
Prøvefelt, ST 5.265, Slangepositioner



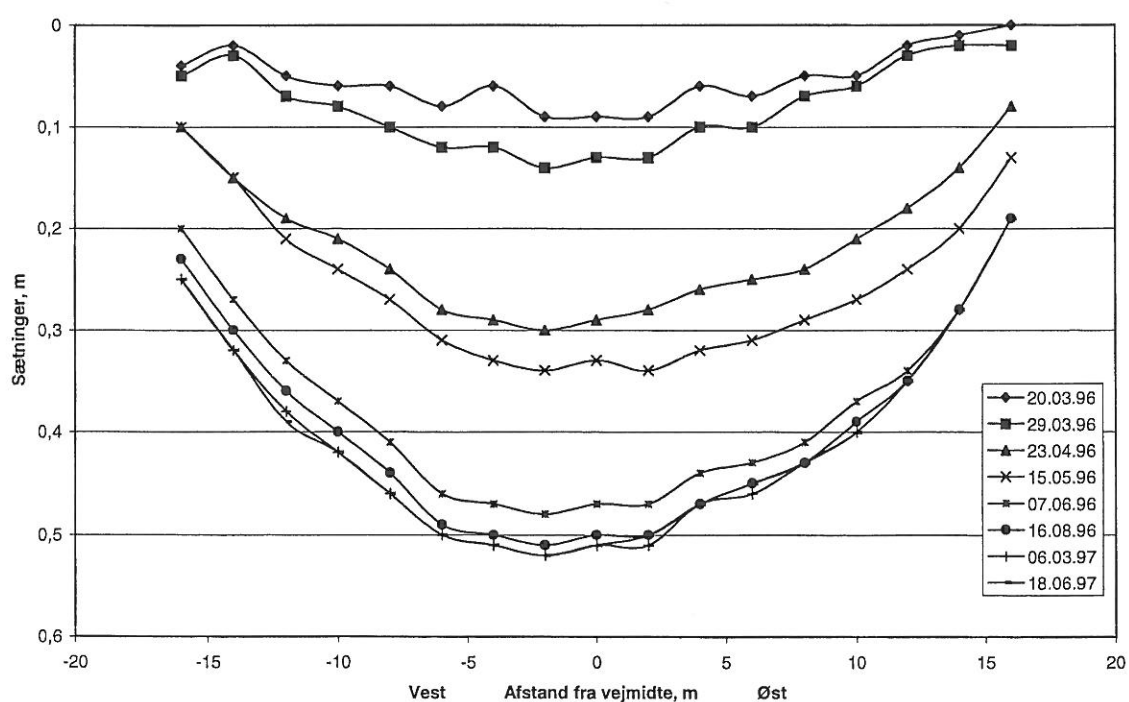
Prøvefelt, ST. 5.265, Sætninger



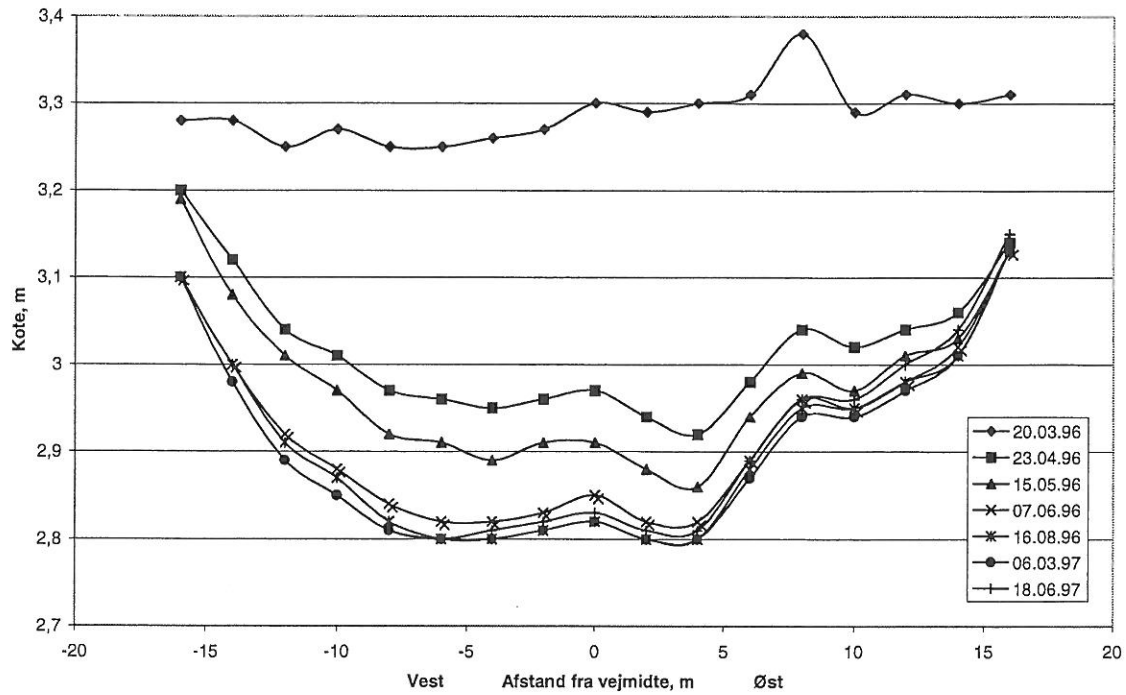
Prøvefelt, ST. 5.280, Slangepositioner



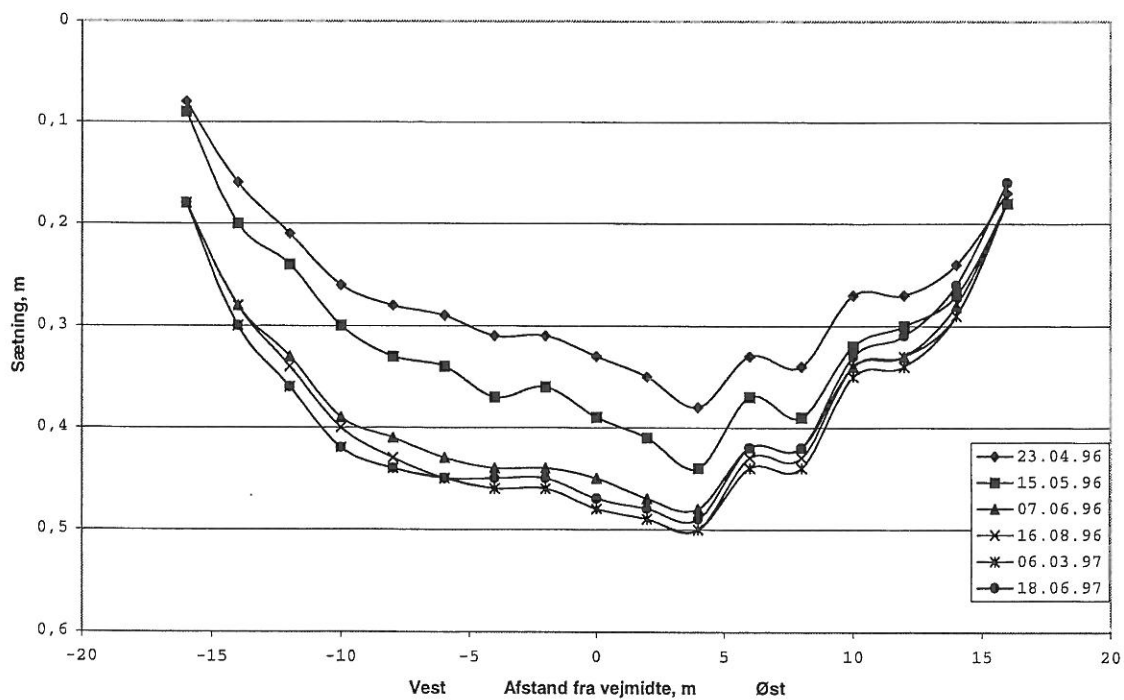
Prøvefelt, ST. 5.280, Sætninger



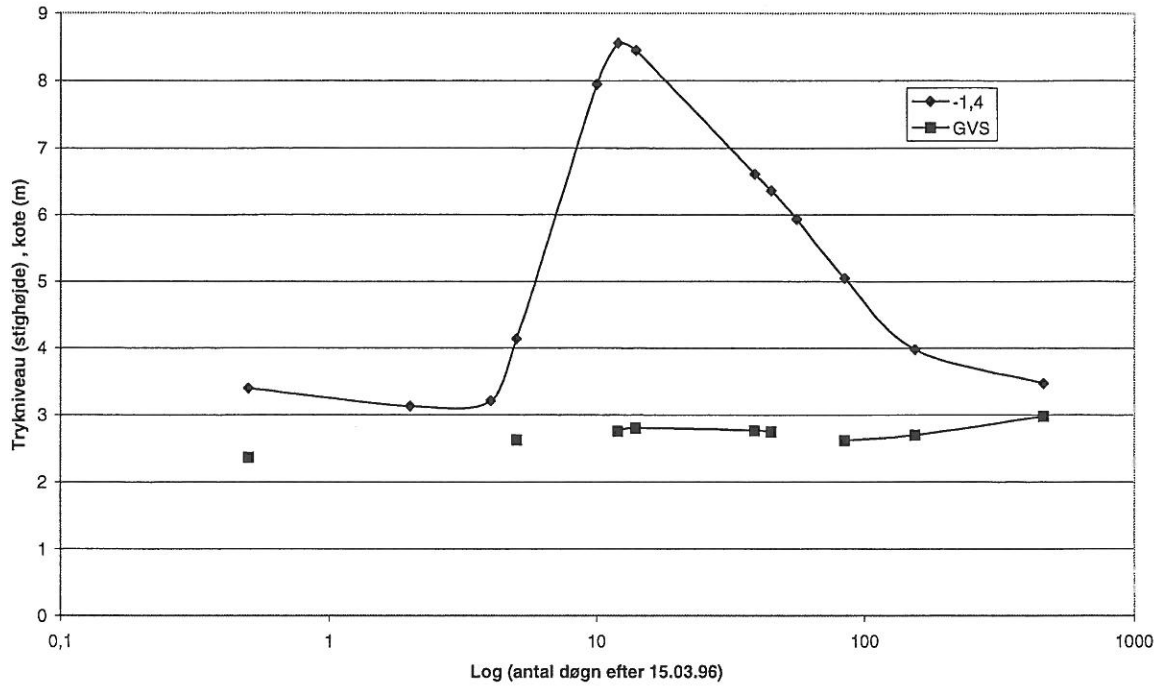
Prøvefelt, ST. 5.295, Slangepositioner



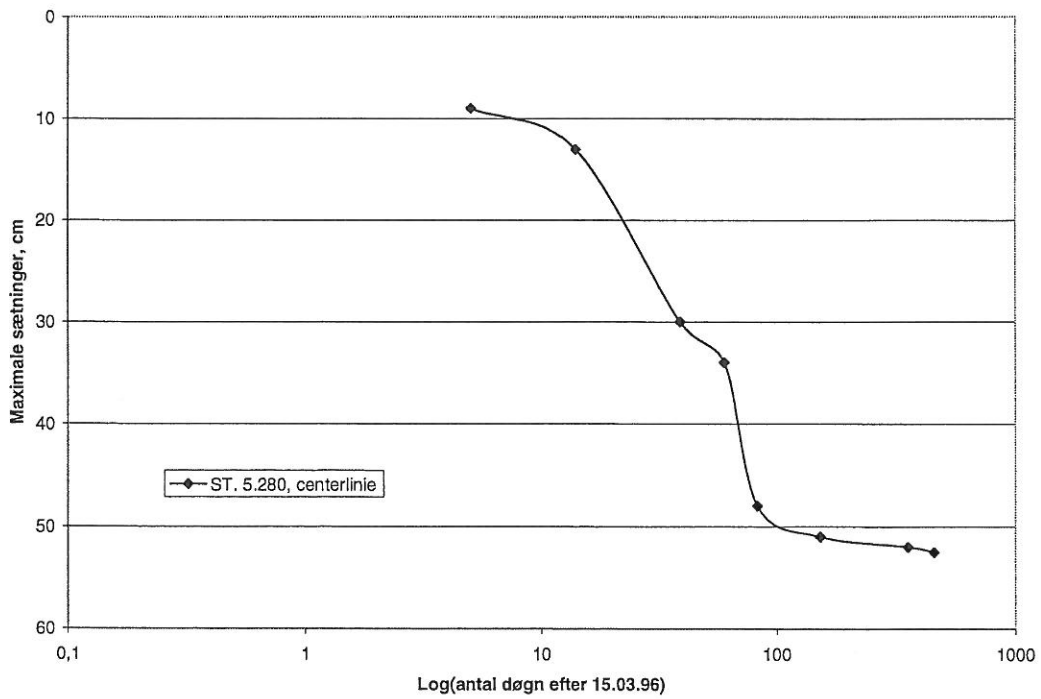
Prøvefelt, ST. 5.295, Sætninger



ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote -1.4



ST. 5.280, Dæmningsmidte



AGEP: Field Testing papers

- 1 Steinfelt, J.S., Sørensen, C.S. (1995). CPT - Contraption for Probing in Tills? Proc. Int. Symp. Cone Penetration Testing, CPT'95, Linköping, SGF Report 3:95, Vol 2, pp 307-312. Also in *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9517.
- 2 Thorsen, G., Mortensen, P.K. (1995). CPT-investigations in young sediments in the northern part of Jutland. Proc. Int. Symp. on Cone Penetration Testing, CPT'95, Linköping, SGF Report 3:95, Vol 2, pp 317-322. Also in *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9518.
- 3 Jørgensen, M.B. (1998). Monitering af forsøgsdæmning ved Bouet i Vendsyssel (Monitoring of test embankment at Bouet, Vendsyssel; in Danish). *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R9810.
- 4 Thorsen, G., Andreasen, F. (2000). Undersøgelse med georadar i umættede sandede aflejringer - efterforskning af sagn om tunnel ved nonnekloster. Accepted for publication in *Proc. Nordic Geotechnical Meeting, NGM-2000*, Helsinki, June 5-7.2000. *AAU Geotechnical Engineering Papers*, ISSN 1398-6465 R2002.