

Oppdrag: L-156A

Rapport nr: 1

RV. 512 BOKNASUNDET BRU
GRUNNFORHOLD
FUNDAMENTERING

Vegdirektoratet
Veglaboratoriet

Gaustadalleen 25, Postboks 6390 Etterstad, Oslo 6 Tlf. (02) 63 99 00



fylke:	Rogaland
anlegg:	Rv. 512 Susort - Bokn ferjeleie
parsell:	Boknasundet bru
profil:	Ca. 7400 - 7900
UTM-ref.:	KL 980 703
seksjon:	47 - Geoteknisk
saksbehandler:	Steinar Giske /BN
dato:	1987-03-04

11-86

111	A	Rapportstatus*) N	Seksjon/fylke 47	Prosjekt	Gruppe:	nr. L-156A nr. 1
-----	---	----------------------	---------------------	----------	---------	------------------

1 2 3 4 5 21 31 41 51 61 71

TITTEL	212	A	Rv. 512 Boknasundet bru Grunnforhold Fundamentering
--------	-----	---	---

SAKS- BEHANDLER	221	A	Navn Steinar Giske	Institusjon Veglaboratoriet
	B			
	C			

RAPPORT DATA	421	A	Rapporttype**) 0	Dato 1987-03-04	Erstatter rapport nr:	
	B		Totalt sidetall 9		Språk Norsk	
	C		Antall fotos	Ant. figurer/tegn 6	Ant. tabeller	Ant. litt.henv.
	D		Sammendrag i andre språk			UTM-ref.: KL 980 703

SAMMENDRAG	511	A	<p>Det er utført grunnundersøkelser for Boknasundet bru.</p> <p>På Austre Bokn sida er det stort sett fjell i terreng-overflaten.</p> <p>På Vestre Bokn sida er det løsmasseavsetning av betydelig tykkelse. Løsmassene består av meget fast overkonsolidert morene, med mindre faste lag i øvre del av avsetningen.</p> <p>Vestre hovedfundament for fritt-frembyggssøyle kan fundamenteres på såle direkte på dypere liggende meget faste masser. Øvrige fundamenter settes direkte på fjell eller på løsmasser.</p> <p>Rapporten estimerer parametre for beregning av statisk og dynamisk bæreevne.</p>
------------	-----	---	--

FAG- OMR.	611	A	Grunnundersøkelser	IRRD kode 41.2
	B		Bæreevne	42.2
	C		Setninger	42.1
NØKKELOD	621	A	Sondering	5720
	B		Morene	4011
	C		Brupilar	3434
	D		Fundament	3377
	E		Dynamikk	5473
	F		Bru	3455
	G		Prøvetaking	6253

INNHOLD:

1. ORIENTERING
2. GRUNNUNDERSØKELSER
3. GRUNNFORHOLD
4. FUNDAMENTERING
 - 4.1. Generelt
 - 4.2. Landkar Austre Bokn
 - 4.3. Sidespenn Austre Bokn
 - 4.4. Hovedfundament øst
 - 4.5. Hovedfundament vest
 - 4.6. Sidespenn Vestre Bokn
 - 4.7. Landkar Vestre Bokn
5. FUNDAMENTERING AV HOVEDSØYLE VEST
 - 5.1. Grunnforhold
 - 5.2. Fundamenteringsløsning
 - 5.3. Statisk bæreevne
 - 5.4. Dynamisk bæreevne

VEDLEGG:

- Bilag 1 : Borerapport hovedfundament vest
- Bilag 2 : Beregning av bæreevne
- " 1A: Tegningssymboler
- Tegn. L-156A -01: Oversiktskart
- " " -02: Oversikt/borplan
- " " -03: Lengdeprofil
- " " -04: "
- " " -05: Tverrprofil
- " " -06: "

1. ORIENTERING

Statens vegvesen i Rogaland har engasjert Veglaboratoriet for vurdering av fundamenteringsforholdene for bru over Boknasundet mellom Austre og Vestre Bokn (kfr. oversiktskart tegn. -01).

Brua inngår i ny Rv. 512 fra Susort på fastlandet, over øyene Ogn og Austre Bokn til Årsvågen på Vestre Bokn. I Årsvågen skal det bygges fergeleie, som blir fremtidig nordre terminal for hovedforbindelsen over Boknafjorden.

I prosjektet inngår også bru over Frekasundet og Ognasundet.

I Boknasundet er det ikke tidligere utført grunnboringer, men det foreligger resultater fra refraksjonsseismiske undersøkelser utført sommeren 1984. Disse er gjengitt i rapport 9529.01 av 10. august 1984 utarbeidet av Geoteam A/S: "Seismiske målinger Rv. 512, bru mellom Austre og Vestre Bokn".

2. GRUNNUNDERSØKELSER

Med utgangspunkt i disse seismiske undersøkelsene ble det sommeren 1986 utført boringer i Boknasundet og tilstøtende terreng i aktuell brutracé. Boringene ble utført fra flåte type Unifloat, og med utstyr og mannskap fra laboratorieavdelingen ved Statens vegvesen i Rogaland. Daglig leder av arbeidet var oppsynsmann G. Gausel.

Det ble benyttet tradisjonelt utstyr for geotekniske undersøkelser. Følgende typer undersøkelser ble utført:

- fjellkontrollboring
- dreietrykksondering
- ramsondering
- ODEX-boring m/prøvetaking

Borpunktene beliggenhet er vist på oversikt tegn. -02, og resultatene fremgår av profiler tegn. -03 -06. Bilag 1 viser et notat vedrørende observasjoner under markarbeidet ved boring for hovedfundament vest.

3. GRUNNFORHOLD

Øyene Austre og Vestre Bokn består i stor grad av fjellterreng. På Austre Bokn er det på brustedet fjell i dagen ned til strandkanten og videre utover

sjøbunn omtrent ut til dypålen i sundet. Fjelloverflaten er dekket av et tynt og usammenhengende løsmassedekke (0-3 m).

På Vestre Bokn er det betydelig løsmasseavsetning ned mot sundet på brustedet. Løsmasseavsetningen fortsetter utover i sundet omtrent ut til dypålen. Tykkelsen av løsmasseavsetningen er registrert til størrelsesorden 20 m.

De seismiske undersøkelserne har vist en bølgeforplantningshastighet lik 2200 m/s i løsmassene. Dette er en høy hastighet og indikerer at løsmassene er meget faste.

Grunnboringene bekrefter i hovedsak dette resultatet, men det er i tillegg registrert lagdeling i øvre del av løsmasseavsetningen. Borresultatene indikerer at laggrensene kan ligge tilnærmet parallelt med overflaten. Se nærmere om lagdelingen i kap. 5.1.

Det kan konkluderes at løsmassene i hovedsak består av meget fast overkonsolidert materiale, antatt morene. Materialet er velgradert med betydelig finstoffinnhold, kfr. kornfordelingskurver tegn. -04.

4. FUNDAMENTERING

4.1. Generelt

Det foreligger forprosjekt, utarbeidet av Vegdirektoratets bruavdeling, tegn. nr. 65/86. Forprosjektet viser fritt-frembygg-bru med hovedspenn 140 m, og to hovedsøyler for symmetrisk fritt-frem-bygg. Forprosjektet er gjengitt på lengdeprofilene tegn. -03, -04.

De utførte grunnundersøkelsene samt etterfølgende vurderinger av fundamenteringsforholdene tar utgangspunkt i bruløsning omtrent som vist i forprosjektet.

Det kan innledningsvis også nevnes at grunnforholdene ligger vel til rette for alternativ løsning med skråstagbru med ett tårn som kan fundamenteres til fjell i østre side av sundet. Det bør overveies å vurdere slik brutype nærmere.

4.2. Landkar Austre Bokn

Tilløpsfyllingen forutsettes bygget av sprengstein, og kan legges rett på fjell i terreng. Landkaret foreslås fundamentert på såle direkte i tilløpsfyllingen.

Fyllingshodet forutsettes bygget opp lagvis med komprimering for hvert lag. Det benyttes lagtykkelse

1 m. Komprimeringen utføres med etterslepene vibrovalse med masse 8 tonn som kjøres minimum 6 overfarer. Største steinstørrelse skal ikke overstige 2/3 av lagtykkelsen.

Det må ikke benyttes brattere fyllingsskråning enn helning 1:1.75, idet bæreevnen av fundamentet ved brattere helning reduseres uforholdsmessig mye.

Dimensjonerende bæreevne beregnes på formelgrunnlag gitt i bilag 2. Det benyttes følgende parametre:

$$\begin{aligned} a &= 10 \text{ kN/m}^2 \\ \text{tg}\varphi &= 0,90 \\ \gamma_m &> 1,4 \\ f_s^m &= 0,50 \quad (\text{for } h=1:1.75) \end{aligned}$$

4.3. Sidespenn Austre Bokn

Det er fjell i dagen i aktuelt område for fundamentering av sidespenn.

4.4. Hovedfundament øst

Hovedfundamentet på Austre Bokn-sida er tenkt plassert i området profil 7575. Det er utført fjellkontrollboringer på partiet profil 7550 - 7610.

Fundamentet kan settes direkte på fjell, som ligger under et tynt lag (0 - 1 m) med løsmasser. Fjelloverflaten faller av utover i sundet (vestover) med midlere helning ca. 1:2,5. Ved ca. profil 7620 indikerer de seismiske undersøkelsene ett brattheng med overgang til vesentlig dårligere masser på utsiden.

Hovedfundamentet kan om ønskelig forskyves noe utover mot høyere profilnummer, men det bør plasseres i sikker avstand fra bratthenget pr. 7620.

Tatt i betraktning de betydelige laster som skal tas opp av fundamentet bør fjellets egenskaper i fundamenteringsmessig sammenheng vurderes av geolog. Dette er spesielt viktig dersom fundamentet flyttes nærmere brattskrenten.

4.5. Hovedfundament vest

Det vises til kap. 5 i denne rapport.

4.6. Sidespenn Vestre Bokn

Søyler for sidespenn foreslås fundamentert på såle direkte i løsmassene som i hovedsak består av leirig, siltig, sandig morenemateriale. Løsmassene er middels

fast til fast lagret med ramsonderingsmotstand $Q_0 \sim 50 - 100 \text{ kN/m}$, og vanninnhold $w = 10 - 15 \%$.

Dimensjonerende bæreevne beregnes etter formelgrunnlag gitt i bilag 2. Det benyttes følgende parametre:

$$\begin{aligned} a &= 10 \text{ kN/m}^2 \\ \text{tg}\varphi &= 0,70 \\ \gamma_m &\geq 1,4 \\ f_s^m &= 0,85 \end{aligned}$$

Det synes ikke å være fare for setninger av betydning ($\ll 5\text{cm}$).

4.7. Landkar vest

Tilløpsfylling på Vestre Bokn forutsettes bygget av sprengstein. Landkaret foreslås fundamentert på såle direkte i steinfyllingen.

Undergrunnen består av middels fast til fast morene, og har tilfredsstillende bæreevne og setningsegenskaper.

Steinfylling og fundament utføres etter samme spesifikasjoner som for østre fylling/landkar. Se kap. 4.2.

5. FUNDAMENTERING AV HOVEDSØYLE VEST

5.1. Grunnforhold

Hovedsøyle vest er tenkt plassert i profil 7715.

Det er i dette profilnr. ca. 9 m vanddybde, og sjøbunnen heller utover i sundet (i østlig retning) med helning ca. 1:6.

Det er boret til fjell i dybde ca. 16 m under sjøbunn.

Løsmassene består av velgraderte morenematerialer. Det er markert lagdeling i øvre del av avsetningen, og det er indikasjoner på at laggrensene ligger tilnærmet parallelt med overflaten.

Sjøbunnen består av et bløtt slamlag i lagtykkelse inntil ca. 0,5 m. Derunder er det et lag av meget faste masser i lagtykkelse omtrent 2,5 m. Topplagene inneholder også stein og blokk.

Under dette meget faste topplaget er det registrert relativt sett betydelig løsere lag med lagtykkelse ca. 4 m. Ut fra standard geotekniske klassifiseringer blir dette laget likevel å betegne som fast med stor ramsonderingsmotstand ($Q_0 = 100 - 180 \text{ kNm/m}$).

Under dette laget er det igjen påtruffet meget faste masser. Det har ikke vært mulig å trengne ned i disse massene med ramsondering. Odex-boringer som er ført ned til fjell har imidlertid ikke indikert løsere lag videre ned, (kfr. bilag 1).

Det vises forøvrig til kornfordelingskurvene og bore-resultatene tegn. -04, -05.

5.2. Fundamenteringsløsning

Det synes mulig å fundamenterer hovedsøylen for fritt-frem-bygg-konstruksjonen på såle direkte i løsmassene forutsatt at fundamentet settes på det underste laget med meget faste og bæredyktige løsmasser.

Dette innebærer at underkant fundament må legges på kote -17.5. Muligens kan fundamentet heves noe dersom det utføres supplerende grunnboringer for detaljert kartlegging av laggrensen.

Fundamenteringsarbeidet forutsettes å kunne utføres i åpen byggegrop med utgrabbing av løsmasser i en grop med graveskråning 1:1. Dette vil innebære en gravedybde på inntil 10 m. Gravemassene vil for en stor del være så faste at det må påregnes sprengning forut for utgrabbing. Det vil være nødvendig med tungt, grovt graveutstyr for å oppnå rimelig fremdrift i arbeidet.

Det antas at den gunstigste løsningen for bygging av fundament/søyle er bruk av prefabrikkert senkkasse som settes ned i ferdig utgravd byggegrop.

5.3. Statisk bæreevne

Det er ikke tatt opp prøver for laboratoriebestemmelse av løsmassenes styrkeparametre, eller utført in situ undersøkelser som direkte kan indikere disse parametrene. Det ansees heller ikke mulig å utføre slike undersøkelser med tradisjonelt utstyr som innehas av vegvesenet.

Med det dype fundamentnivå synes imidlertid ikke statisk bæreevne å være noe kritisk problem. Dette innebærer at det ikke er av stor økonomisk betydning å fremskaffe mest mulig "riktige" verdier av jordartsparemetrene a og $tg\phi$.

Konservativt antatte parametre kan velges slik:

$$\begin{aligned} a &= 20 \text{ kN/m}^2 \\ tg\phi &= 0,75 \end{aligned}$$

Dimensjonerende bæreevne beregnes etter formelgrunnlag gitt i bilag 2. Det benyttes materialkoeffisient

samt reduksjonsfaktor for skråterreng slik:

$$\begin{aligned} \gamma_m &\geq 1,5 \\ f_s^m &= 0,75 \end{aligned}$$

Fundamentet vil bli stående på sterkt overkonsoliderte løsmasser (morene) og maksimale setninger forventes å ligge i størrelsesorden mindre enn 4 cm.

5.4. Dynamisk bæreevne

Som grunnlag for en vurdering av fundamentets oppførsel under dynamiske påkjenninger benyttes løsmassenes skjærmodul G og Poissons tall ν .

Det er ikke utført målinger av disse parametrene. Det finnes semi-empiriske formler som kan benyttes til å estimere størrelsen.

Basert på slike formler samt foreliggende rutinedata om grunnen, foreslås det å benytte følgende parametre:

$$\begin{aligned} G &= 200 - 400 \text{ MPa} \\ \nu &= 0,40 - 0,50 \end{aligned}$$

Det understrekes at parametrene bestemt på denne måten er beheftet med usikkerhet.

Dersom parametrene viser seg kritiske ved den endelige dimensjonering av fundamentet ansees det nødvendig å måle parametrene in situ. Det er da mest aktuelt å benytte den såkalte "mellomhullsmetoden".

Alternativt kan løsningen være å "snu problemet": Velg fundamentstørrelse, og beregn hvilke verdier G og ν ikke kan ha. Vurder deretter om disse verdiene kan tenkes å opptre.

Veglaboratoriet
Geoteknisk seksjon


Nils Rygg
kontorleder


S. Giske

Boknasundet bru

Hillevåg, den 3 mars 1987


Observasjoner under markarbeidet ved boring for hovedfundamentet i løsmasse.

Det ble først boret med Odex og tatt prøver til 20m under sjøbunnen. Dette er fremstilt på tegning nr.3. Under boringen dannet man seg et bilde av grunnens fasthet i de forskjellige dybder. Man mente å kunne merke ved Odexboringen at man under et fast øvre lag hadde noen meter med løsere masse. Under dette ble grunnens fasthet igjen større.

For å få et bedre bilde av fastheten ble det foretatt ramsondering med heyarbukk. Normalt stopper man rammingen ved ca. 300 slag pr. 25 cm. Da det imidlertid ved Odexboringen fremgikk at man hadde et underliggende bløtere lag gikk man helt opp i 1300 slag pr. 25 cm for å komme igjennom topplaget. Ved hovedfundamentet hadde det mellomliggende bløtere lag en tykkelse på ca. 5 m. Ramsonderingen ble avsluttet ved 850 slag pr. 25 cm i det underliggende laget. Diagrammet er fremstilt på tegning nr. 3.

Ut fra Odexboringen med prøvetaking kommer det ikke frem noe som tyder på bløtere lag i dybde under det som ved sikkerhet er registrert. Det gjøres imidlertid oppmerksom på at boringene blir påvirket av økende dybde, kiling p.g.a. stein i massen, sideforskyving av flåten p.g.a. skiftende strømretning og bølger og dønning. Man kan ved de observasjoner som er gjort ikke avgjøre i hvor stor grad overnevnte forhold har gitt et bilde av grunnen som viser større fasthet enn det som kanskje er tilfelle.

Laboratoriet ved vegkontoret i Rogaland


Gudmund Gause

GRUNNLAG FOR BEREGNING AV BÆREEVNE

Grunnens bæreevne bestemmes ut fra brokarets geometri, horisontal og vertikal belastning Q_h og Q_v og jordarts parametrene $\tan\phi$ og a .

De dimensjonerende lastene Q_h og Q_v bestemmes etter NS 3479, samt "Spesielle lastforskrifter for bruer og ferjekaier i det offentlige vegnett" (1985).

Bæreevnen bestemmes i ugunstigste lastkombinasjon.

Detaljert beregningsmodell er vist i bruhåndbok nr. 100, kap.-04.

1. KONTROLL AV RUHET

Krav: $r \leq 0,7$

$$r = \frac{\bar{\tau}_h}{(\bar{q}_v + a) \tan\phi} \quad \text{hvor} \quad \bar{\tau}_h = Q_h / (B_o L_o)$$

$$\bar{q}_v = Q_v / (B_o L_o)$$

B_o = effektiv fundamentbredde

L_o = effektiv fundamentlengde

$$\tan\phi = \tan\phi / \gamma_m$$

2. KONTROLL AV BÆREEVNE

$$\bar{q}_v \leq \bar{\sigma}_v' = f_s (N_q (p' + a) + 0.5 N_\gamma \gamma' B_o) - a$$

hvor

N_q og N_γ er bæreevnefaktorer avhengige av $\tan\phi$ og r .

$p' = \gamma'D$ er effektivt overlagingstrykk.

γ' = effektiv tyngdetetthet

f_s = reduksjonsfaktor for evt. hellende terreng foran såle. Ved horisontalt terreng settes $f_s = 1$.

Merk: Håndbok nr. 100, kap.-04 opererer med mobiliseringsgraden f . Ved beregning av grunnens bæreevne kan settes $1/f = \gamma_m$.

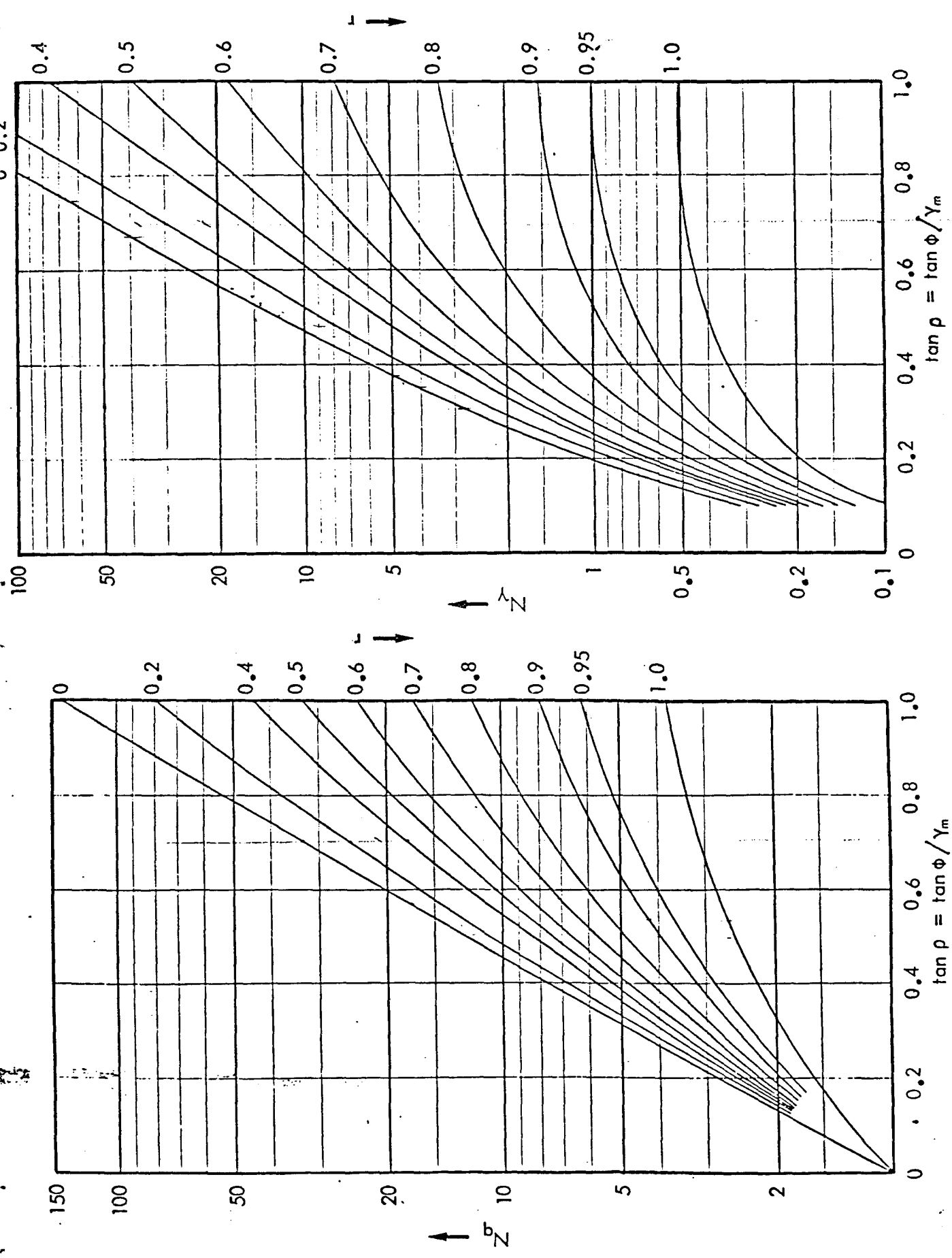
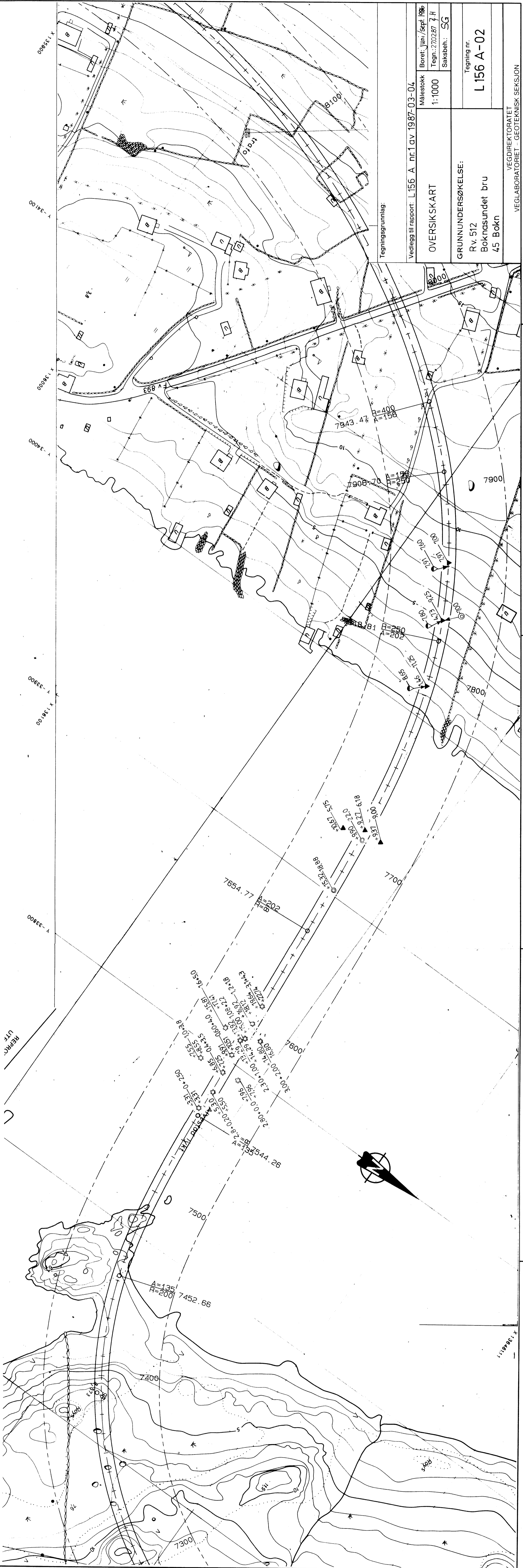


Fig. 2. Berevningsfaktorer N_q og N_γ som funksjon av ρ og $\tan \rho$. (N. Janbu 1976)



<p>OVERSIKTSKART</p> <p>BOKNASUNDET BRU</p>	<p>Målestokk</p> <p>1:50000</p>	<p>Tegning nr.</p> <p>L 156 A - 01</p>
	<p>Dato Sign.:</p>	



Tegningsgrunnlag:

Vedlegg til rapport: L156 A nr.1 av 1987-03-04

Målestokk

Boret: Juni/Sept. 1986

Tegn.: 270287 J.H

Saksbeh.: SG

OVERSIKTSKART

GRUNNUNDERSØKELSE:

R.v. 512

Boknasundet bru

45 Bokn

Tegning nr.

L156 A-02

VEGLABORATORIET - GEOTEKNISK SEKSJON

X 13648111

Pel nr 7360

7400

7500

7600

7700

Kote nr.

15

10

5

0

-5

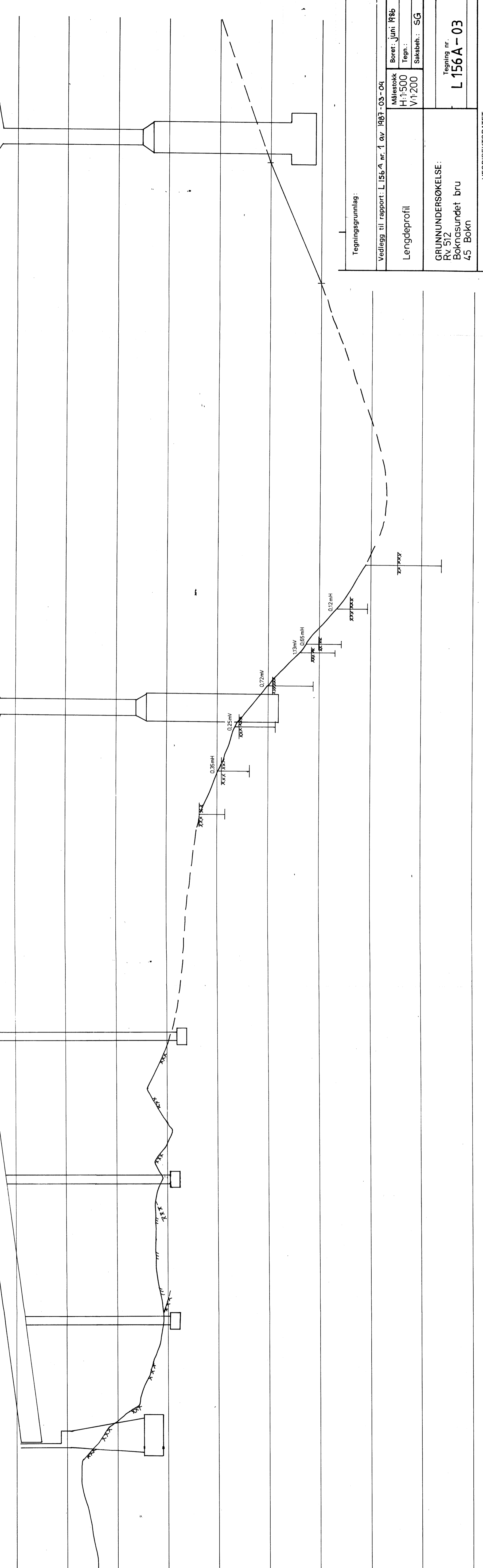
-10

-15

-20

-25

-30



Tegningsgrunnlag:

Vedlegg til rapport: L 156A nr. 1 av 1987-03-04

Målestokk	Boret: Juni 1986
H:1:500	Tegn.:
V:1:200	Saksbeh.: SG

Lengdeprofil

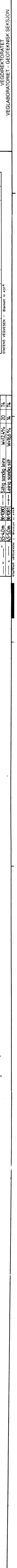
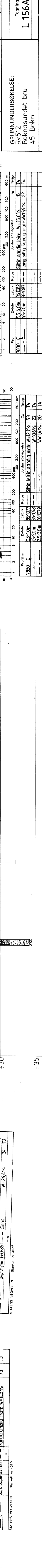
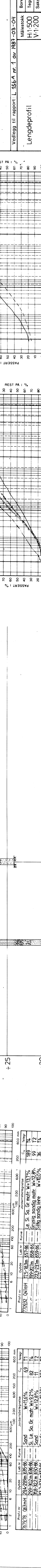
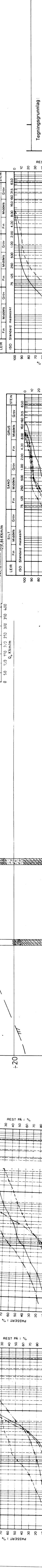
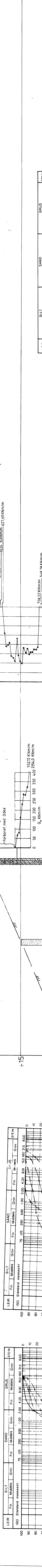
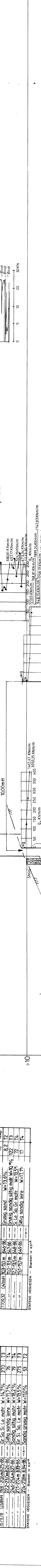
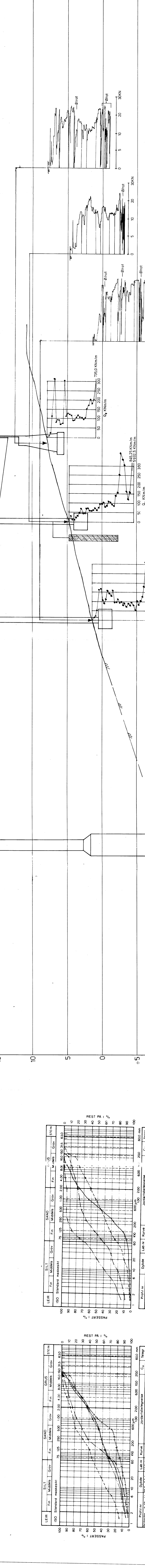
GRUNNUNDERSØKELSE:
Rv 512
Boknasundet bru
45 Bokn

Tegning nr.
L 156A-03

VEGDIREKTORATET
VEGLABORATORIET - GEOTEKNISK SEKSJON

Pel. nr. 7640 7700 7900 8000

Kote nr. 15 10 5 0 -5 -10 -15 -20 -25 -30 -35



Tegningsgrunnlag:
 Vedlegg til rapport: L 156A nr. 1 av 1987-03-04
 Målestokk: H:1:500
 V:1:200
 Saksbeht.: SG

GRUNNUNDERSØKELSE:
 RV512
 Boknansundet bru
 45 Bokn

Tegning nr.
 L 156A - 04

VEGLABORATORIET - GEOTEKNISK SEKSJON

STATENS VEGVESEN - Blaukett nr. 437A

STATENS VEGVESEN - Blaukett nr. 437A

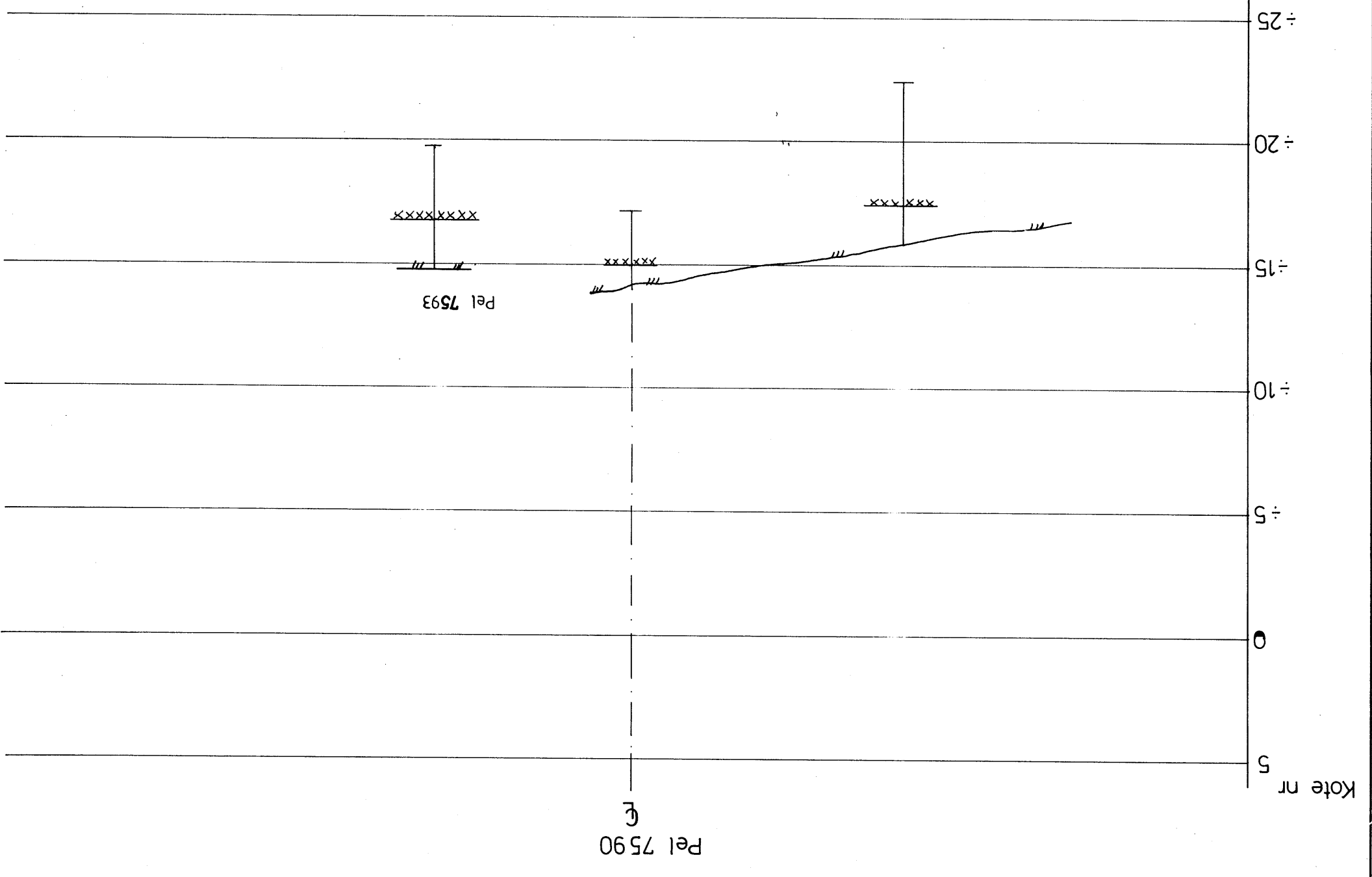
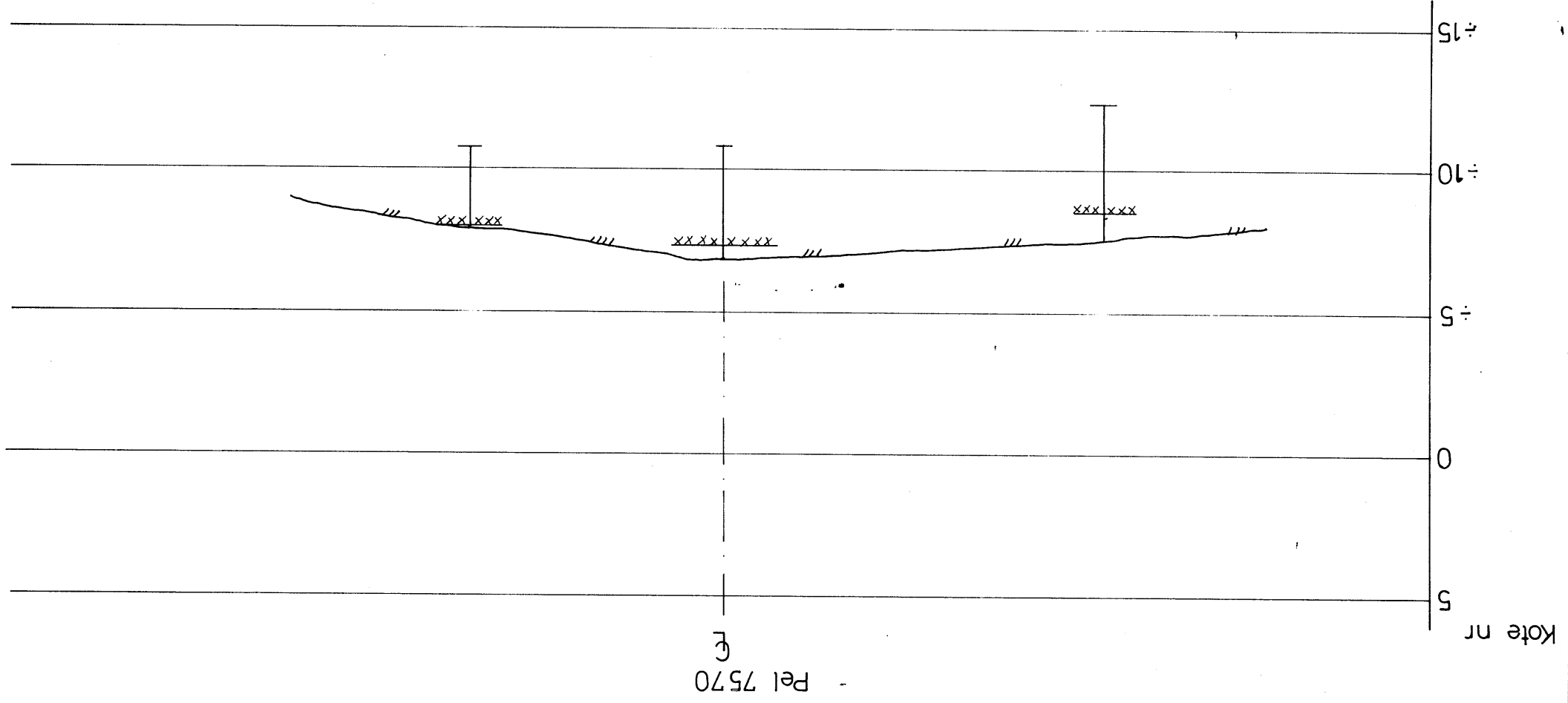
STATENS VEGVESEN - Blaukett nr. 437A

STATENS VEGVESEN - Blaukett nr. 437A

STATENS VEGVESEN - Blaukett nr. 437A

STATENS VEGVESEN - Blaukett nr. 437A

Tegningsgrunnlag:	
Vedlegg til rapport: L 156A nr 1 av 1987-03-04	
Målestokk	Boret: Juni 1986
1:200	Tegn:
	Saksbeh.: SG
Tverrprofiler	
GRUNNUNDERSØKELSE:	
Rv 512	
Boknadsundet bru	
45 Bokn	
Tegning nr.	
L 156A-05	
VEGLABORATORIET - GEOTEKNISK SEKSJON	
VEGDIREKTORATET	



Profil 7714
G

Kote nr.

5

0

÷5

÷10

÷15

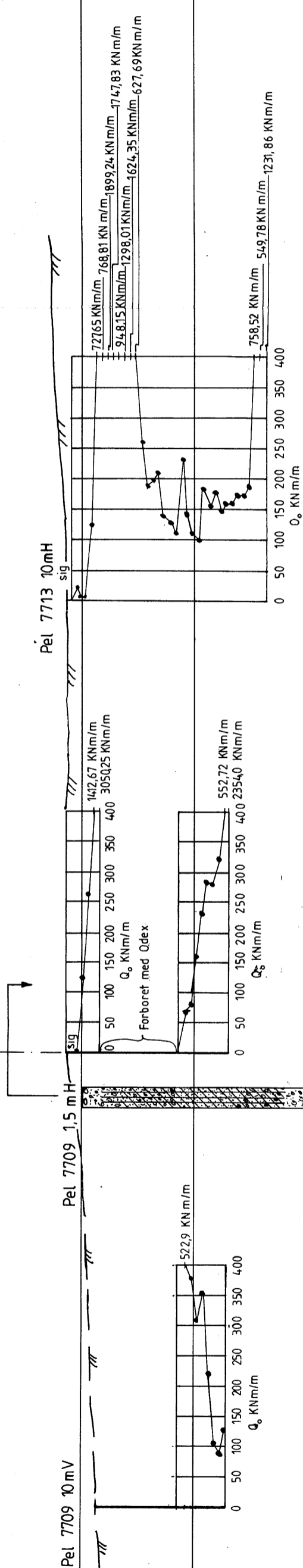
÷20

÷25

÷30

÷35

÷40



Tegningsgrunnlag:

Vedlegg til rapport: L 156A nr. 1 av 1987-03-04

Målestokk
H:1:100
V:1:200

Boret: Juni 1986
Tegn.:
Saksbeh.: SG

Tverrprofil

GRUNNUNDERSØKELSE:
Rv 512
Boknasundet bru
45 Bokn

Tegning nr. -
L 156A 06

VEGDIREKTORATET
VEGLABORATORIET - GEOTEKNISK SEKSJON