

rapport nr. 43

Almenningen bru, kollaps av peler



STATENS VEGVESEN
VEGDIREKTORATET

Desember 1992

Statens vegvesen
Nordland

Laboratorieserien, rapport nr. 43

Almenningen bru, kollaps av peler

Sammendrag

Undergrunnen består av et øvre 4-6 meter mektig sand- og gruslag over middels fast lagrede lagdelte masser av sandig leirig silt/siltig sand og sannsynligvis også med flere leirlag til stor dybde.

Antatt fjell er registrert i dybder på mellom 35,5 og 47 meter under terreng.

Brua er anbefalt pelefundamentert på utstøpte stålørspeler.

Ved pelearbeidene ble det ialt rammet 12 stålørspeler Φ 914 x 12 mm. Opprinnelig var det forutsatt at pelene skulle bli i størrelsesorden 25 meter lange i jord, men stoppkriteriet ble ikke oppnådd før vesentlig under dette nivå for alle peler.

Etter peling viste det seg at de 4 pelene i akse 1 og 2 hadde kollapset i dybder på mellom 26 og 28 meter under topp pelerør.

Noen entydig forklaring til disse kollapsene er det vanskelig å finne, men sannsynligvis må det skyldes ekstremt store trykk pga. poreovertrykk og overkonsolidering.

Nye peler med godstykkelse 17,7 mm er ramme ned til erstatning for de skadete.

Emneord: *Peler, stål, jordtrykk*

Seksjon: Laboratoriet
Saksbehandler: Arild Sleipnes
Dato: Desember 1992

/BN

Statens vegvesen

Nordland

Rapporten kan fås ved henvendelse til Veglaboratoriet, Arkivet:
Postboks 6390 Etterstad, 0604 Oslo, tlf: 02-639900, fax: 02-467421

INNHALDSFORTEGNELSE

INNLEDNING
TIDLIGERE UNDERSØKELSER
MARK- OG LABORATORIEUNDERSØKELSER
TERRENGFORHOLD
GRUNNFORHOLD
GEOTEKNISKE VURDERINGER
KOLLAPS AV PELER I AKSE 1 OG 2
ØKONOMI
KONKLUSJONER

VEDLEGG TIL RAPPORTEN

Bilag 1A : Tegningsforklaring
2 : Rammemotstand, akse 1 og 2
3 : Rammemotstand, akse 3 og 4
4 : Rammemotstand, akse 5 og 6
5 : Skisse av skade på pel 3
6 : Rammemotstand, akse 1 og 2, nye peler
7 : Pelelengder for de opprinnelige og erstatningspelene
8 : Brev fra Byggcon A/S av 30.03.92

Tegn. W866A-03 : Oversiktskart, profil 0 - 350
-04 : Lengdeprofil, profil 0 - 400
-05 : Tverrprofil, profil 30
-06 : Tverrprofil, profil 60
-07 : Tverrprofil, profil 90
-07B: Analyseresultater, profil 90 cl
-08 : Tverrprofil, profil 100
-09 : Tverrprofil, profil 210
-10 : Tverrprofil, profil 220
-10B: Analyseresultater, profil 220 cl
-11 : Tverrprofil, profil 230
-12 : Tverrprofil, akse 1 og 2

INNLEDNING

Etter oppdrag fra anleggsavdelingen har vi utført grunnundersøkelser og delvis også fulgt opp pelearbeidene for Almenningen bru på E6 i Saltdal, parsellen Pothus-Medby.

Brua som har en totallengde på 160 meter, har ialt 6 pelefundamenter hver med 2 stk. utstøpte stålrørspeler.

Pelungen er utført av Vegdekke Anlegg A/S med Norfund som underentreprenør i løpet av vinteren 1992, mens den resterende delen av brua er bygd i egenregi.

Etter rammingen ble det oppdaget at alle de 4 pelene i akse 1 og 2 hadde kollapset/ var klemt sammen i dybder på mellom 26 og 28 meter under topp rør. Denne rapporten har til hensikt å avklare sannsynlige/mulige årsaker til disse kollapsene i tillegg til også å beskrive grunnforholdene og de geotekniske forhåndsvurderingene.

TIDLIGERE UNDERSØKELSER

Grunnundersøkelsene er tidligere rapportert i våre interne rapporter W866A, nr. 1 av 29.11.88 og nr. 2 av 6. 08.92.

Alle resultater fra de tidligere undersøkelsene er medtatt i vår nye rapport.

MARK- OG LABORATORIEUNDERSØKELSER

Det er ialt utført 16 dreietrykkssonderinger, 8 fjellkontrollboringer samt tatt opp 2 uforstyrrede prøveserier på begge sidene av elva.

På grunn av vannføringen er det ikke utført boringer ute i selve elveløpet.

Etter oppstart peling er det i tillegg boret 4 totalsonderinger i de nye pelepunktene i akse 1 og 2.

Prøveseriene er analysert ved Fylkeslaboratoriet i Bodø med hensyn til korngradering, vanninnhold og styrkeegenskaper.

Plasseringen av alle boringer og prøveserier framgår av oversiktskartet i tegn. -03 og resultatene av lengde- og tverrprofil, tegn. -04 til -12.

TERRENGFORHOLD

Ved Almenningen bru ligger det nåværende terrenget i dalbunnen på ca. kote 20 til 25. Ut fra studier av kvartærgeologien i Saltdal er det svært sannsynlig at hele

dalen på et tidlig stadium har vært fullstendig oppfylt til et betydelig høyere nivå enn dagens. Ved Vensmoen, 3 til 4 km. nedenfor brustedet, er dalen tilnærmet i hele dens bredde oppfylt med fluviale (elveavsatte) masser til ca. kote 75. Vensmoen er adskilt fra det nåværende elveløpet med en ca. 50 meter høy fjellrygg.

Ut fra disse antakelsene er det svært sannsynlig at undergrunnen ved Almenningen bru er relativt sterkt overkonsolidert og at terrenget her tidligere har ligget inntil 50 til 60 meter høyere enn det nåværende.

Ved Medby, ca. 11 km. videre nedover dalen ble det sommeren 1991 lagt ut en 10 til 15 meter høy fylling for å forbelaste et område hvor de to Matiere element-kulvertene skulle bygges. Beregningsmessig var setningene anslått til ca. 20 cm, selv om det også her ut fra terrengforholdene var forventet overkonsolidering. Denne antatte overkonsolideringen kunne imidlertid ikke registreres på ødometer-analysene og derfor ble denne metoden valgt for på forhånd å få unnagjort mest mulig av de beregnede setningene. I ettertid viste det seg at denne forbelastningen ikke førte til noen målbare setninger i området.

GRUNNFORHOLD

Løsmasser

Det er gjort relativt omfattende grunnundersøkelser med dreietrykksonderinger, fjellkontrollboringer, totalsonderinger og prøvetaking i dette området. Men på grunn av de vekslende, lagdelte massene med et høyt siltinnhold i dybden og de faste toppmassene fikk vi ikke opp noen uforstyrrede prøver ved prøvetakingen.

Hele området er dekket av et topplag av tildels svært faste sand og grusmasser og med vekslende mektighet. Undersøkelsene viser også at massene under topplaget og ned til ca. 14 - 15 meter består av vekslende, lagdelte masser av sandig leirig silt/siltig sand.

Ved pelingen ble det rammet gjennom noe løsere lag i dybder på mellom 25 og 40 meter under terrenget. Ut fra massene som kom opp langs pelene ved rammingen, særlig i akse 3, kan det synes som om disse massene i alle fall lagvis kan bestå av sensitiv leire. Opptrengingen av massene langs pelen tyder også på en betydelig poretrykksøkning ved rammingen gjennom disse massene.

Totalsonderingene i akse 1 og 2 tyder på at masser også videre nedover i dybden er svært lagdelte med vekslende finkornige og mer grovere lag ned til dybder på mellom 34 og 37 meter under terrenget. Videre nedover fra dette nivået er det påtruffet betydelig fastere masser over fjell. Den registrerte mektigheten av dette fastere laget varierer mellom 4 og 10 meter.

De totale registrerte løsmassemektighetene varierer mellom 35.5 og 47 meter.

Grunnvannsforholdene

Grunnvannsforholdene ble ikke spesielt registrert ved undersøkelsene. I beregningene ble det antatt at grunnvannsstanden stod i samme nivå som vannstanden i elva og varierer noe med årstider og vannstandsvariasjoner.

Fjell

Antatt fjell er registrert ved 7 av de 8 fjellkontrollboringene samt ved 3 av de 4 totalsonderingene i dybder på mellom 35.5 og 47 meter under terreng.

Som kontroll på at fjell virkelig er påtruffet er det boret videre inntil 3 meter ned i fjellet.

Det påpekes at andre bormetoder enn fjellboringer og totalsonderinger ikke gir grunnlag for en sikker fjellbestemmelse. Antatt fjell registrert med andre bormetoder enn de før nevnte må kun ses på som orienterende.

GEOTEKNISKE VURDERINGER

Ut fra resultatene fra grunnundersøkelsene, samt våre erfaringer fra de andre bruene på prosjektet, ble Almenningen bru i sin helhet anbefalt pelefundamentert.

Som grunnlag for de antatte styrkeverdiene ble det også benyttet etterregning av rammeforløpene for Nes og Kvæle bruer, henholdsvis 3000 og 5200 meter nedstrøms i dalen. Nes bru hadde i utgangspunktet relativt like grunnforhold med Almenningen bru og her var det også tatt opp uforstyrrede prøver for ødometer-, treaksial- samt rutineundersøkelser.

Ved pelearbeidene for begge disse bruene var det tildels betydelig hardere rammeforhold enn forventet og pelene oppnådde stoppkriteriet i løsmasser langt høyere enn de på forhånd antatte nivåene.

I den statiske bæreevneberegningen ble følgende jordartsparemetre benyttet:

- Dybde 0 til 6 meter, grusig sand med $tg\phi=0.8$, $a=0$ kN/m² og $\gamma=19$ kN/m³.
- Dybde 6 til 40 meter, lagdelt og fast sandig leirig silt med $tg\phi=0.75$, $a=15$ kN/m² og $\gamma=19$ kN/m³.

Grunnvannsstanden ble antatt å ligge omtrentlig i terreng for aksene i elveløpet og inntil 2-3 meter under for aksene på land.

De maksimale pelelastene i bruddgrensetilstand var vertikalt 4400 kN og horisontalt 515 kN ved 2 vertikale peler pr. akse.

Ved denne statiske bæreevneberegningen og på bakgrunn av det angitte lastbildet ble de antatte nødvendige pelelengdene i jord satt til 25 meter for utstøpte stålrørspeler av dimensjonene $\Phi 914 \times 12$ mm.

Godstykkelsen på 12 mm ble valgt fordi en stor del av den opprinnelig antatte nødvendige mengden var til overs fra pelingen av Nes og Kvæle bruer som pågikk umiddelbart før dette prosjektet. Erfaringene fra disse pelearbeidene tilsa imidlertid at det burde ha vært benyttet en noe større godstykkelse for å kunne verifisere bæreevnen bedre.

I tillegg ble det også ved hjelp av dybelteori (Håndbok -016, kap. 11.9, side 328) utført beregninger av pelenes kapasitet til å ta opp horisontale laster. De aktuelle horisontale lastene er i hovedsak islaste på tvers av brua. Beregningene viste at for dette tilfellet hadde pelene tilstrekkelig kapasitet til å ta opp horisontallastene i de øvre 8 -10 meterne av pelelengden i jord.

Beregningen viste også at lastene kunne tas opp på friksjon og at det ikke var nødvendig å ramme pelene helt ned til fjell, men prosesser for innmeisling til fjell var allikevel medtatt i peleanbudet.

Pelearbeidene startet opp medio januar 1992 og det viste seg raskt at stoppkriteriet ikke kunne oppnås i de angitte dybdene. De fleste av pelene ble derimot rammet helt ned til fjell eller faste masser like over fjell.

Ved pelingen ble det benyttet et hydraulisk fallodd av typen Banut 500 med loddvekt 70 kN, fallhøyde maksimalt 80 cm og antatt virkningsgrad på 0.75 til 0.90.

Tabellen i bilag 7 gir en oversikt over nivået for pelespiss, pelelengder i jord samt om den har stoppet mot løsmasser eller fjell. De opprinnelige, antatte stoppnivåene er også satt opp i tabellen.

Det opprinnelige stoppkriteriet innbefattet ramming til de angitte dybdene og deretter mindre eller lik 1 mm synk pr. slag ved en teoretisk elastisk deformasjon. I tillegg ble det også forlangt utført bevegelsesmålinger ved stoppslagningen. Alle peler ble rammet inntil det oppgitte stoppkriteriet ble oppnådd.

I bilag 2 til 4 er det vist en grafisk framstilling av rammemotstanden av alle pelene.

Det ble benyttet en fallhøyde på 80 cm ved det meste av rammingen, kun ved ramming gjennom toppmassene og ved stoppslagningen mot fjell ble fallhøyden redusert.

De økte pelelengdene ut fra de opprinnelig antatte medførte også at peler måtte etterbestilles. De nye pelene hadde delvis en noe større godstykkelse.

Tilsammen er det ialt rammet 451.2 løpemeter med pel for dette prosjektet (unntatt de vrakede pelene - se neste kapittel).

KOLLAPS AV PELER I AKSE 1 OG 2

Etter at rammingen var fullført ble det oppdaget at alle pelar i akse 1 og 2 (pel nr. 1 til 4) var klemt sammen/hadde kollapset i dybder på mellom ca. 26 og 28 meter under topp pel. Disse skadene ble registrert under tømningen av pelerøret for pel 3 og før tømningen av de andre pelene.

Ved tømningen av pelerøret viste det seg at senkepumpen satt helt fast ned i røret (var helt omsluttet av stålrøret) og ikke kunne trekkes opp. Dette indikerer at røret i hovedsak ble deformert mens lensingen for vann pågikk, men om hvorvidt denne startet opp umiddelbart etter rammingen er det ut fra våre data vanskelig påvise.

Bilag 5 viser en skisse på hvordan skaden på pel 3 kunne observeres fra toppen av pelen.

De andre 8 pelene i akse 3 til 6 er alle rammet, armert og utstøpt med pelerør tørt for vann uten at noe unormalt ble registrert hverken ved rammingen eller utstøpingen.

Det ble heller ikke ved nedrammingen av de skadede pelene registrert noe som tilsier at pelene ble skadet allerede da. Både nedrammingen gjennom massene samt stoppslagningen foregikk helt normalt.

Byggcon A/S, som også hadde prosjektert brua, har i ettertid gjennomført stabilitetsberegning av de kollapsede pelene. I beregningene er det forutsatt en ovalitet på 2 % dvs. 9 mm avvik på radius, som er den maksimalt tillatte ifølge standard (DIN 2458/DIN 17100) og stålkvalitet St 52-3.

Beregningene, som er vedlagt som bilag 8, gir en stabilitetsgrense for netto ytre trykk på 697 kN/m² for det aktuelle pelerør med 12 mm godstykkelse. Økes godstykkelsen til 17.7 mm økes også stabilitetsgrensen til 1877 kN/m².

Disse resultatene er ømfientlig for små variasjoner i diameter, godstykkelse og ovalitet.

Ut fra hendelsesforløpet er det vanskelig å entydig skulle forklare hvorfor disse pelene skulle kollapse. For at dette skulle kunne skje må det ha vært ekstremt store trykk i de aktuelle dybdene.

Sannsynlige/mulige forklaringer på dette er:

- Svært store horisontaltrykk på grunn av den antatte overkonsolideringen av massene i undergrunnen.
- Svært store poreovertrykk ved pelene på grunn av omrøring og mulige naturlige poreovertrykk i sand/siltlag i de aktuelle dybdene.

Med en antatt grunnvannsstand ca. 2 meter under terreng må det ha vært et poreovertrykk på ca. 380 kN/m² i 30 meters dybde for å overstige stabilitetsgrensen for pelen i dette nivået. I ca. 40 meter dybde er det nødvendig med et poreovertrykk på ca. 280 kN/m² med maksimal ovalitet på pelerøret.

Akse 1 og 2 ligger nærmest dalsiden, fra akse 1 er det kun 50 - 60 meter til dalsiden som her stiger relativt bratt til ca. kote 250-300. Det er mulig at et eventuelt poreovertrykk i grovere lag i de aktuelle dybder kan komunisere direkte med vannfylte sprekker i fjellet.

Sansynligvis skyldes kollapsene en kombinasjon av begge de to angitte faktorene.

Det ble tidlig konstatert at de skadede pelerørene ikke kunne benyttes og at det derfor måtte installeres nye peler i de to aksene.

De nye pelene ble alle rammet 3 meter fra de gamle ved at avstanden mellom akse 2 og 3 ble innkortet tilsvarende. Det ble benyttet pelerør med dimensjonene $\Phi 914 \times 17.7$ mm.

Før rammingen startet opp ble det utført totalsonderinger i alle de nye pelepunktene. Dette ble utført for både å kunne skaffe seg en bedre oversikt over lagdelingen i de dybdene pelene hadde kollapset og videre nedover til faste masser/fjell. Denne bormetode var ikke tilgjengelig for oss på tidspunktet for de opprinnelige grunnundersøkelsene.

Resultatene fra disse totalsonderingene framgår av tegn. -12.

Arbeidene ble lagt opp slik at en pel i hver akse ble rammet samtidig og at begge disse ble støpt ut før rammingen av de to siste pelene ble oppstartet. Utstøpingen av pelene ble utført i vannfylte rør for å øke sikkerheten mot kollaps ytterligere.

I bilag 7 er det også tatt med nivå for pelespiss og pelelengder i jord for erstatningspelene, nummer fra 1A til 4A.

Som det framgår av tabellen oppnådde vi stoppkriterium for disse pelene 0.20 til 1.24 meter høyere enn for de opprinnelige pelene.

Bilag 6 viser en grafisk framstilling av rammemotstanden for de nye pelene i akse 1 og 2.

Rammingen av de nye pelerørene foregikk uten problemer av noe slag og det ble heller ikke registrert noe unormalt under utstøpingen av pelene.

Skadene på pelene medførte at ialt 159.7 løpemeter med pel måtte vrakes. Til erstatningen for disse ble det installert 155.4 løpemeter med nye peler.

ØKONOMI

Den totale kostnaden for pelingen inkl. ekstraarbeidene ble kr. 3.292.231 eks. MVA. Ekstraarbeidene kostet kr. 627.862, derav ca. kr. 110.000 for venting, div. tilleggsarbeider og gjennfylling av de skadende pelene.

Av den totale summen er det benyttet kr. 865.700 for post 83.226 "*Tillegg for evt. supplerende ramming*". Dette gjelder for flere peler, særlig i akse 5 som er rammet relativt langt ned gjennom svært faste masser og med en synk på mindre enn 4 mm. pr. slag.

Den totale enhetsprisen for pelingen er kr. 7230 pr. løpemeter derav kr. 1460 for ekstraarbeidene på grunn av erstatningspelene og kr. 1920 som tillegg for supplerende ramming.

KONKLUSJONER


















De registrerte skadene på pelene i akse 1 og 2 viser at det er viktig å ta hensyn til/ vurdere faren for mulige overkonsolideringer og store poreovertrykk ved dimensjoneringen av godstykkelsen for stålrørspeler.

Også av hensyn til rammeforholdene og for å kunne verifisere pelens bæreevne er det viktig at en ikke benytter en for liten godstykkelse, men heller øker denne noe om en er usikker.

Det må legges vekt på at en benyttes rammeutstyr (og godstykkelser på pelene) som medfører minst mulig ekstrakostnader for supplerende ramming da dette normalt vil kunne bli svært kostbart.

Opptegning i plan

TEGNINGSSYMBOLER


Symbol	Metode	Anmerkning	Symbol	Metode	Anmerkning
	Prøveserie	Prøvene tatt med boringsredskap (skovlbor, prøvetager, diamantkjernebor m.m.)		Prøvegrop	Prøvene tatt i gropvegg
	Enkel sondering	Sondering uten registrering av motstand, f.eks. spyleboring, slagboring (manuelt eller med maskin) m.m.		Prøvebelastning	Peler, terrengplater, fundamenter o.l.
	Dreie-trykksondering	Maskinsondering med automatisk opptegning		Setningsmåling	
	S.P.T.	Standard Penetration Test		Dreiesondering	
	Fjellkontrollboring	Boring ned til og i fjell		Trykksondering	
	Skruplateforsøk	Kompressometer o.l.		Ramsondering	
	In situ permeabilitetsmåling	Infiltrasjonsforsøk, prøvepumping m.m.		Helningsmåling	Inklinometer
				Poretrykksmåling	Inkludert måling av grunnvannstand
				Vingeboring	
				Elektrisk sondering	Elektr. motstand, korrosivitet etc.


NIVAER OG DYBDER (i meter)

$$\begin{array}{c} 12,8 \\ \bullet \\ \hline 18,5 + 3,0 \\ -5,7 \end{array}$$

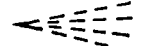
Over linjen, kote terreng eller elvebunn, sjøbunn ved boring i vann (12,8).
Ut for linjen, boret dybde i løsmasser (18,5). Eventuelt boret dybde i fjell angis etter plusstegn (+ 3,0).
Under linjen, kote antatt fjell (-5,7). Antas at fjell ikke er påtruffet angis ~.

KVARTÆRGEOLOGISKE SYMBOLER

 Gjel, vannbevegelse mot høyre


 Terrasse, innerkant stiplest h.o.h. er angitt

 Vifte (kjegle)


 Delta

 Ravine

 Rasgrop

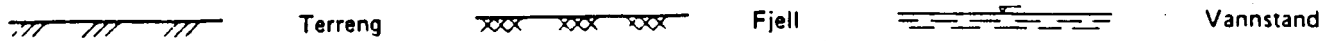
 Solifluksjonstunger

 Kildehorisont med kilde

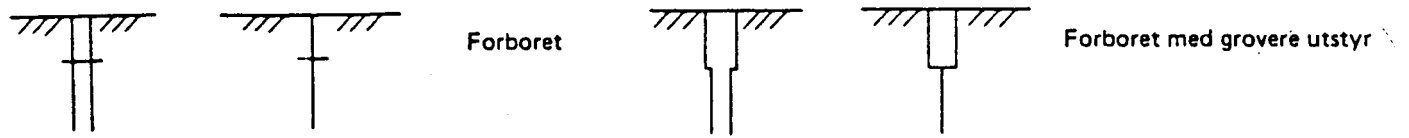
 Grus-, sand-, leir-, torvtak

Opptegning i profil

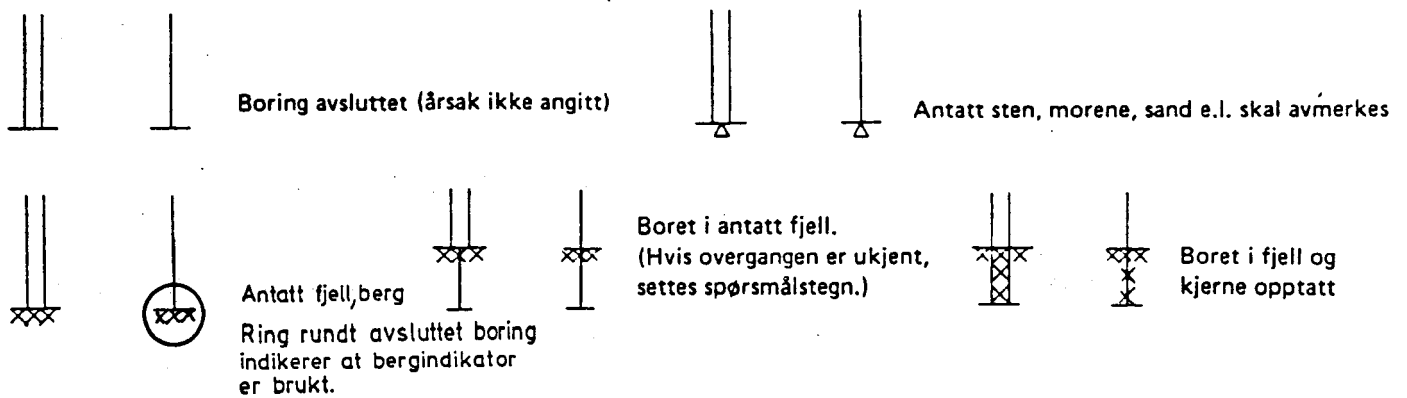
GENERELT



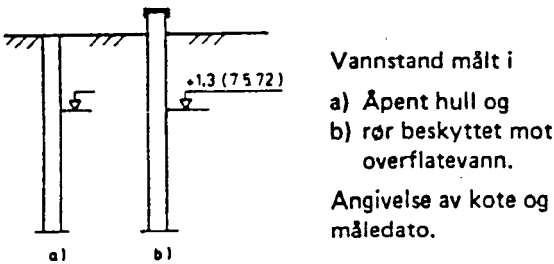
FORBORING (GJELDER ALLE SONDERINGSTYPER)



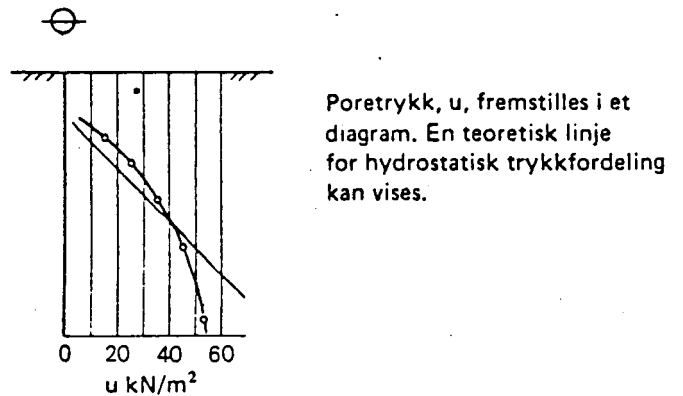
AVSLUTNING AV BORING (GJELDER ALLE SONDERINGSTYPER)



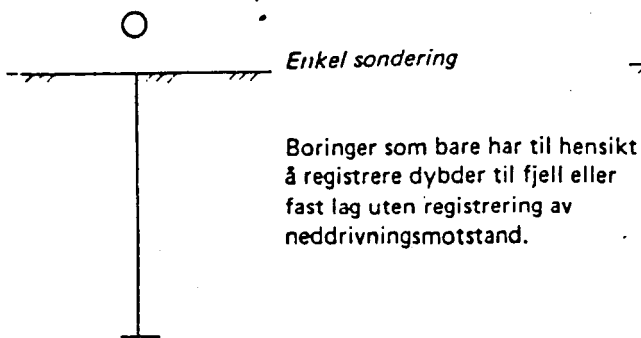
GRUNNVANNSTAND



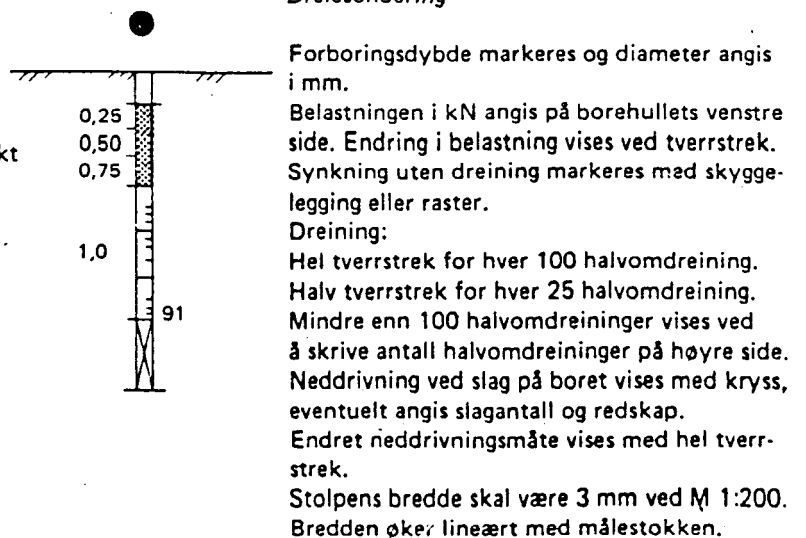
PORETRYKK

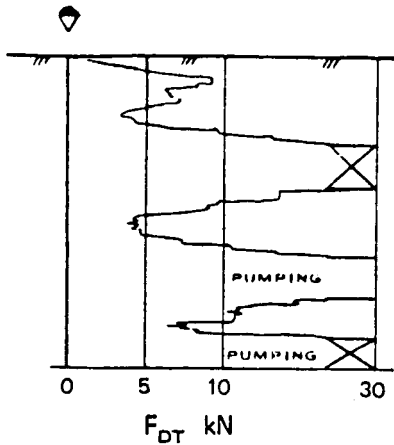


SONDERING



Dreiesondering





Vanlig boring med
25 omdr./min

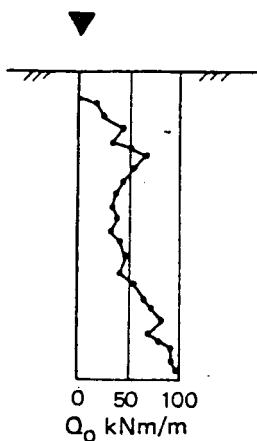
Økt rotasjon

Pumping

Pumping og økt rotasjon

Dreietrykksondering

Borhullet markeres med en enkel tykk strek.
Målt nedpressingskraft er vist som funksjon av dybden.
Kraften er registrert ved automatisk skriver.

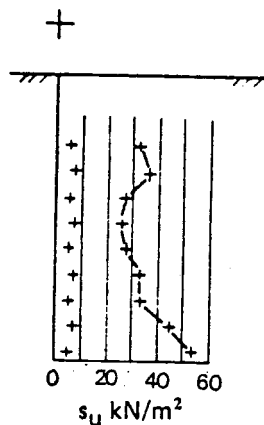


Ramsondering

Borhullet markeres med enkel tykk strek.
Rammotstanden Q_0 angis som brutto ramenergi (kN) pr. m synkning av boret.

$$Q_0 = \frac{N \cdot W \cdot H}{S_n}$$

der N = Antall slag
 S_n = Synkning i m for N slag
 W = Loddvekt (kN)
 H = Fallhøyde (m)



Vingeboring

Borhullet markeres med enkel tykk strek.
Skjærfastheten s_u angis i kN/m^2 med tegnet +. (+) verdien ansees ikke representativ.
Alternativt kan punktene for omrørt skjærfasthet sløyfes og isteden verdien settes opp i kolonne lengst til høyre.

PRØVESERIE

Materialsignatur			Anmerking
	Fjell		Silt
	Blokk		Leire
	Stein		Fyllmasse
	Grus		Matjord
	Sand		Gytje, dy
			Torv Planterester
			Trerester Sagflis
			Skjell
			Moreneleire
			Grusig morene



T = tørrskorpe
Leire: R = resedimenterte masser
K = kvikkleire

Ved blandingsjordarter kombineres signaturene

Morene vises med skyggelegging:

For konkresjoner kan bokstavsymboler settes inn i materialsignaturen
Ca = kalkkonkresjoner
Fe = jernkonkresjoner
AH = aurbelle

Symboler for laboratoriedata

Laboratoriebestemmelser	Bokstav-symbol	Tegn-symbol	Anmerkninger
Materiale			Jordarter beskrives i samsvar med NGF's gjeldende normer. Hovedbetegnelsen skrives med store bokstaver. Gruppesymboler kan angis bak i parentes.
Vanninnhold Naturlig vanninnhold Utrullingsgrense Flytegrense Finhetstall	W W _P W _L W _F	•  ▼	Vanninnhold av prøve angis i % av tørrvekten.
Tyngdetetthet/densitet Tyngdetetthet Tørr densitet Korndensitet Porøsitet	γ ρ_d ρ_s n		Tyngdetetthet angis i kN/m ³ Porøsitet angis i % av total volum.
Skjørstyrke – udrenert Konusforsøk	s_{uk} s_{uk}	▽ ▼	Tegnsymboler settes i parentes hvis verdien ikke ansees representativ. Uomrørt skjærstyrke Omrørt skjærstyrke
Enkelt trykkforsøk	s_{ut}	⊖	Aksialdeformasjon ved brudd (ϵ_f) angis i % av prøvens lengde ved hjelp av viserens stilling. 
Sensitivitet	S _t		Metode bør angis.
Organisk materiale Innhold av organisk karbon Glødetap Humusinnhold Formuldningsgraden	0_c 0_{gl} 0_{Na} vP		Angis i masseprosent av tørrstoff før forsøk. Bestemt ved NaOH-metoden. Klassifisering etter von Post's skala H ₁ -H ₁₀ .

Forøvrig benyttes bokstavsymboler vedtatt av The International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.

Forkortelser

Følgende forkortelser kan benyttes i plan og i profil:

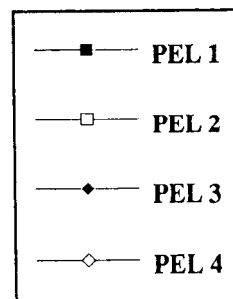
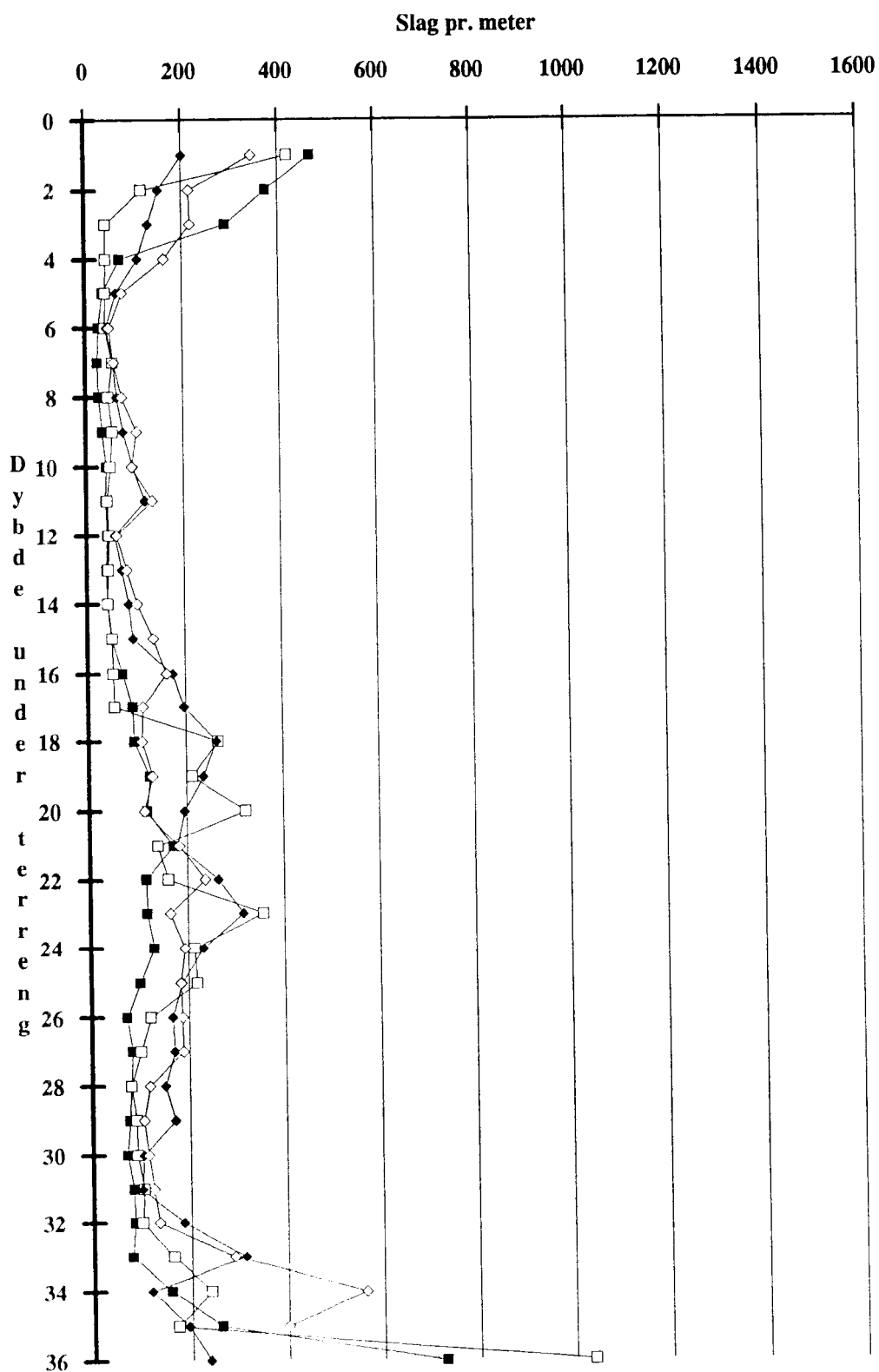
Boringsutstyr

BB Bergbor	SP Spylebor
DR Dreiebor	TR Trykksone
EL Elektrisk sonde	VB Vingebor
KB Kannebor	m Benyttes foran hovedbetegnelsen for å markere maskinelt utstyr når dette er ønskelig. (Maskintype bør angis på tegningen.)
RP Ramprøvetager	Eksempel:
PK Kjerneprøvetaker (diamantbor)	mDr Maskinelt dreiebor
PO Prøvetaker med tykkvegget sylind	mSl Maskinelt slagbor
PR Prøvetaker med tynnveggete sylind	mBb Bergbor med mekanisk matning
PZ Piezometer (poretrykkmåler)	
RB Rambor	
SK Skovlbor	
SL Slagbor	

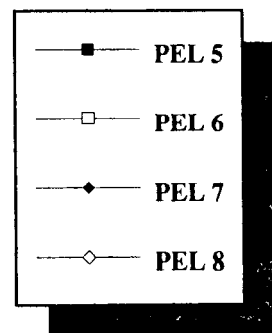
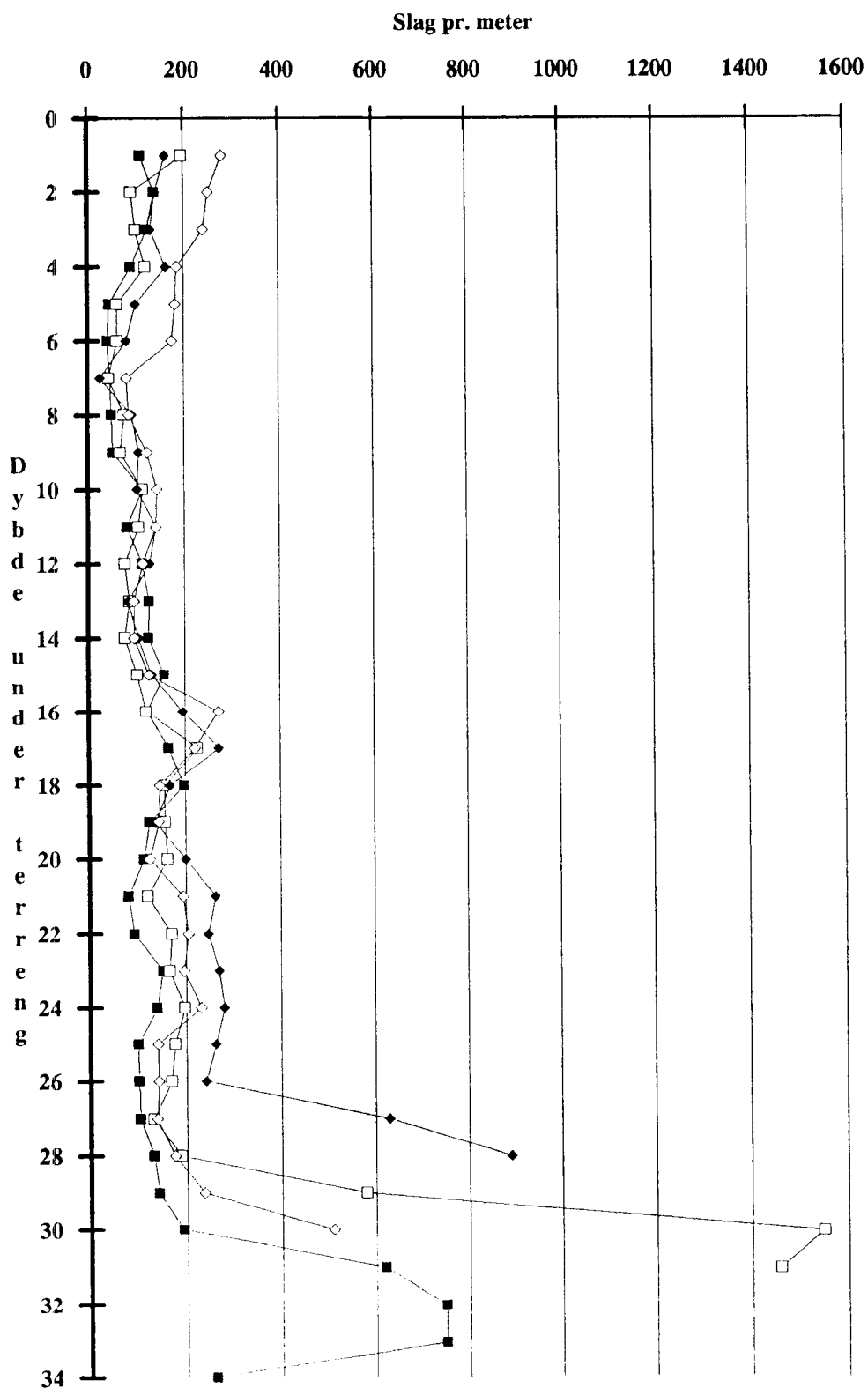
Vannstand

HFV Høyeste flomvannstand	HV Normal høyvannstand
HRV Høyeste regulerte vannstand	LV Normal lavvannstand
LRV Laveste regulerte vannstand	MV Normal middelvannstand
HHV Høyeste høyvannstand	V Vannstand (dato angis)
LLV Laveste lavvannstand	GV Grunnvannstand (dato angis)

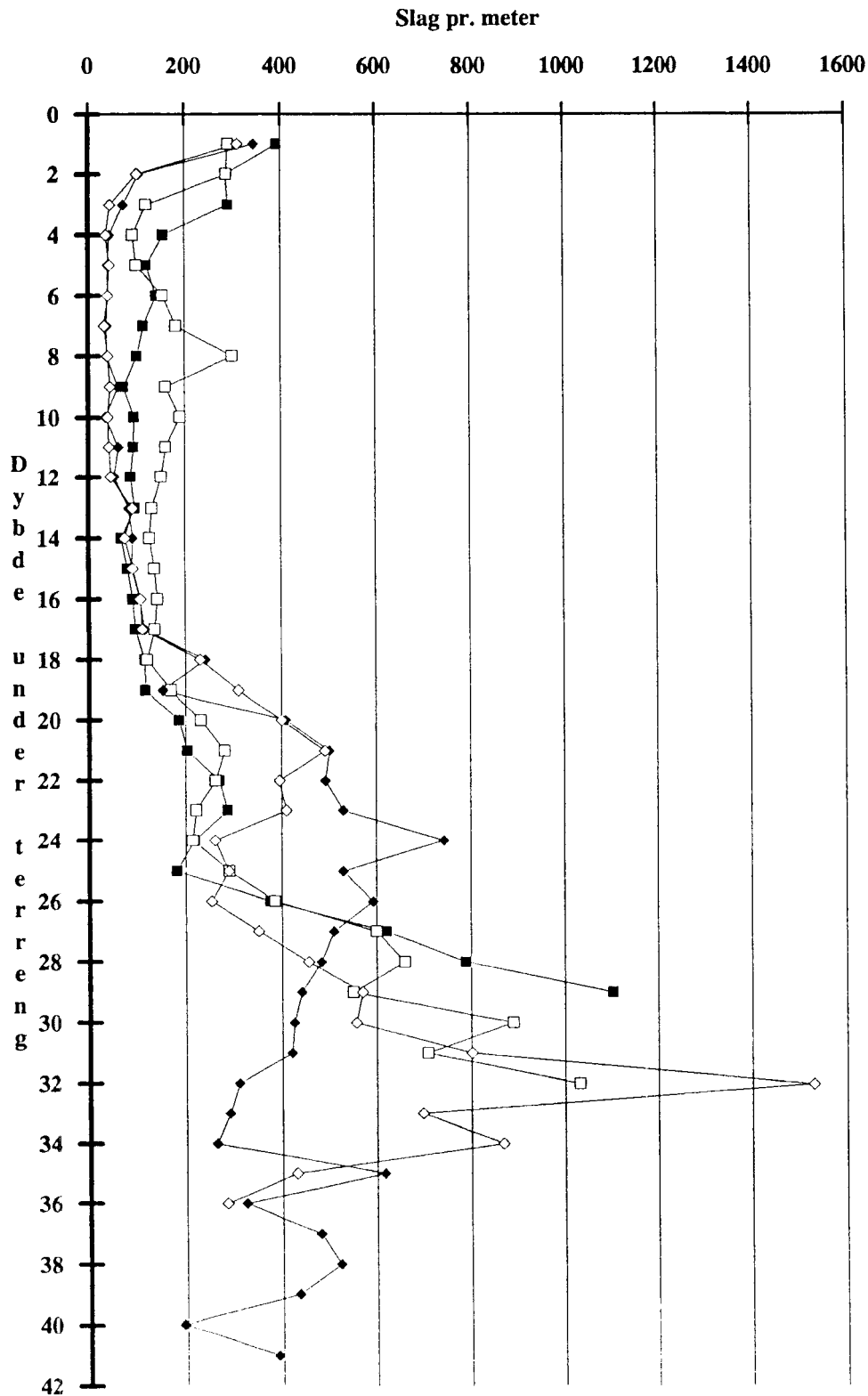
RAMMEMOTSTAND AKSE 1 OG 2



RAMMEMOTSTAND AKSE 3 OG 4

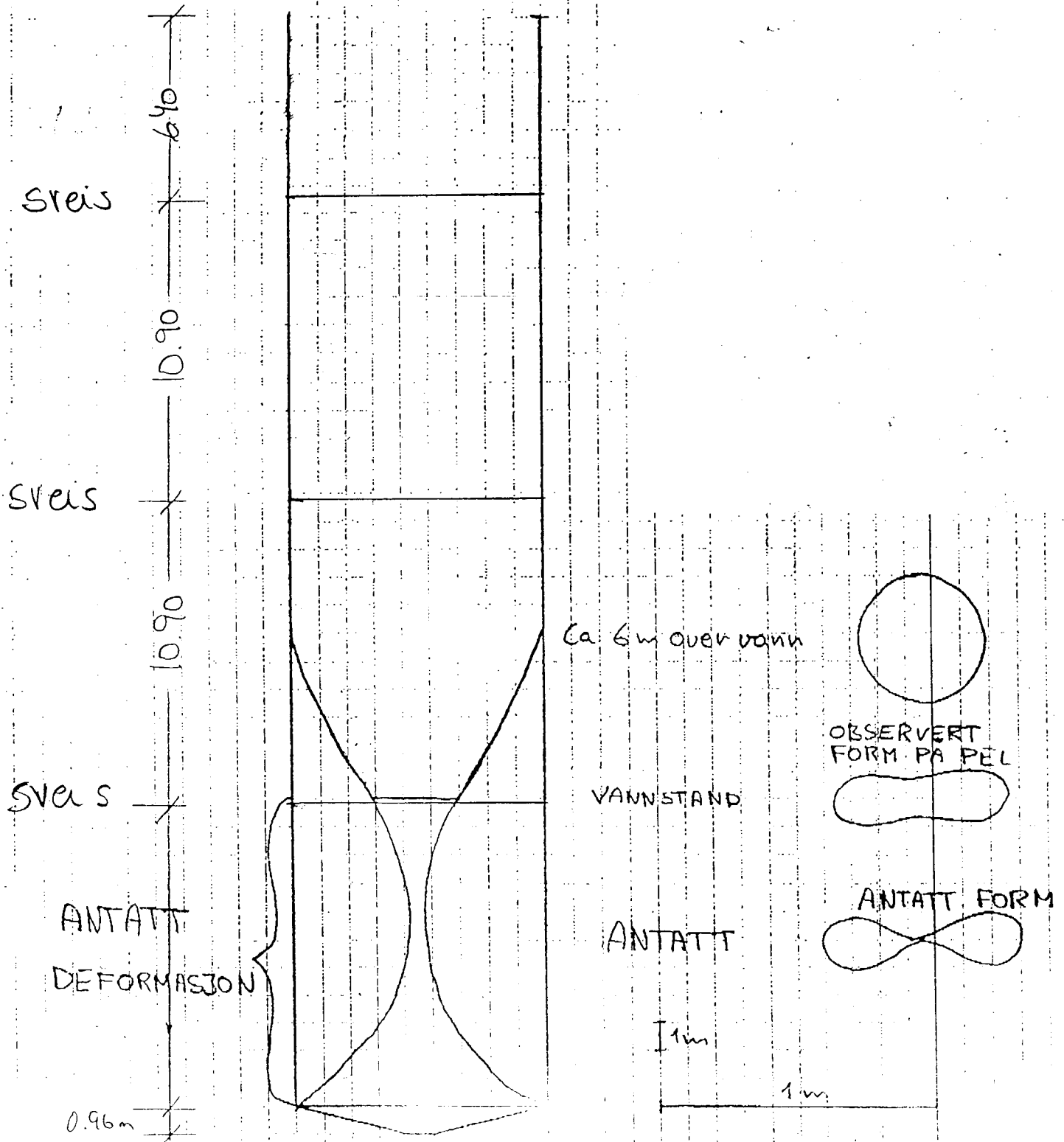


RAMMEMOTSTAND AKSE 5 OG 6



KOLLAPS PEL 3, ALMENNINGEN

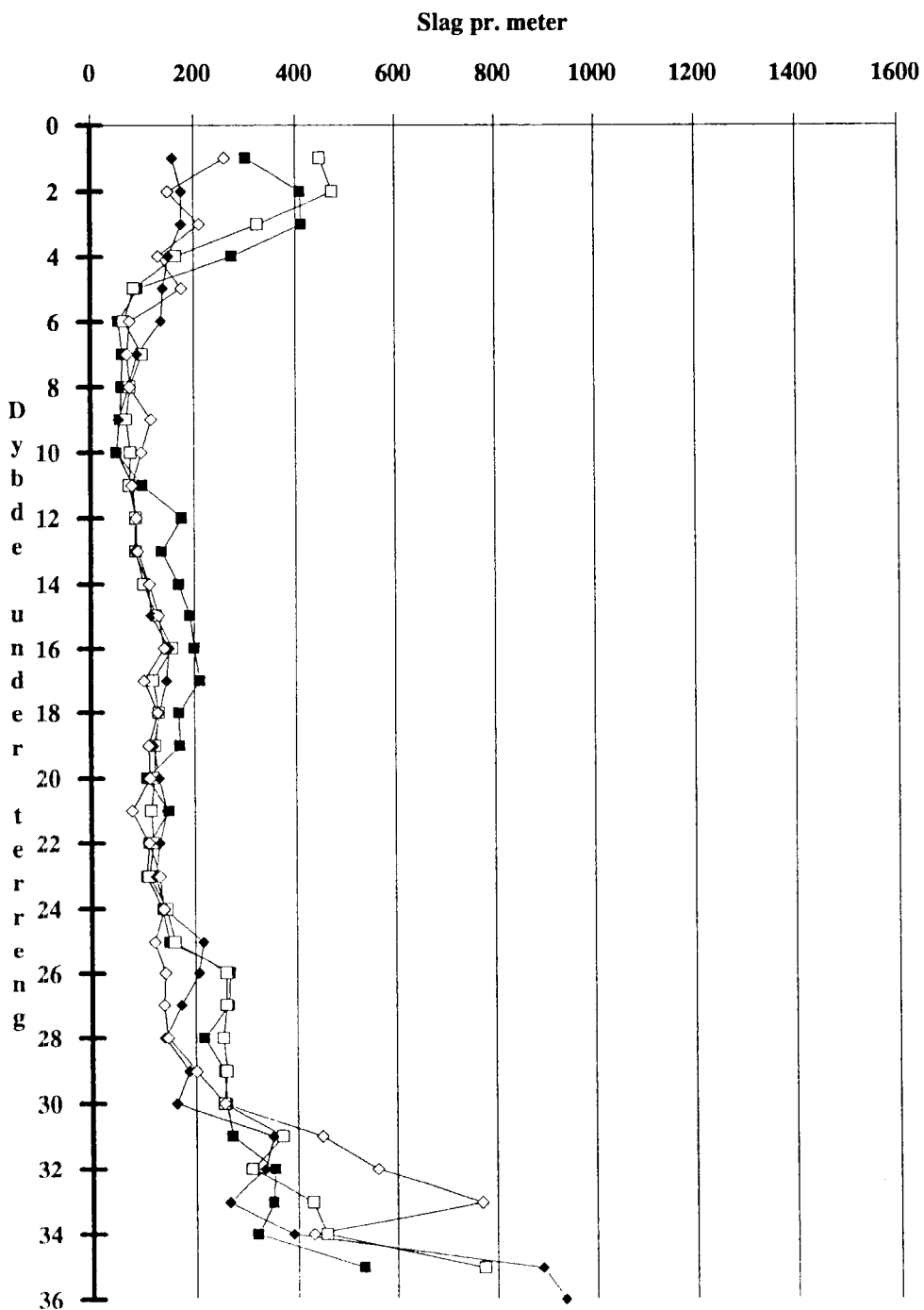
MÅLT: ca 28 m til vann
39 m til grunn.



120392

K. Hølsed

RAMMEMOTSTAND AKSE 1 OG 2 NYE PELER



PELELENGDER FOR DE OPPRINNELIGE OG ERSTATNINGSPELENE.

PEL NR.	OPPRINNELIG ANTATT STOPPNIVÅ -kt.-	ENDELIG NIVÅ PELESPISS -kt.-	PELELENGDE I JORD -m-	STOPP MOT FJELL/ LØSMASSER
1	-0.6	-12.83	37.2	løsmasser
2	-0.6	-12.66	37.0	løsmasser
3	-0.8	-13.20	37.4	fjell
4	-0.8	-11.39	35.6	løsmasser
5	-2.8	-12.63	34.8	løsmasser
6	-2.8	-8.86	31.1	løsmasser
7	-3.3	-6.32	28.0	løsmasser
8	-3.3	-7.78	29.5	løsmasser
9	-2.5	-7.15	29.7	løsmasser
10	-2.5	-10.06	32.6	løsmasser
11	0	-16.96	42.0	fjell
12	0	-12.20	12.20	fjell
1A	-0.6	-12.00	36.4	løsmasser
2A	-0.6	-11.54	34.9	løsmasser
3A	-0.8	-12.99	37.2	løsmasser
4A	-0.8	-10.15	34.4	løsmasser

De nye pelene som ble satt ned som erstatning for de skadede er nummerert fra pel 1A til 4A.



MØRKVEDGÅRDEN
8016 MØRKVED
TELEFON: (081) 14 055
TELEFAX: (081) 15 373

Nordland Vegkontor
v. Arild Sleipnes
Nordstrandv. 41
8000 Bodø

31 MARS 1992

Bodø 30.03.92

Vår ref:

Deres ref:

ALMENNINGEN BRU STABILITETSBEREGNING FOR STÅLRØRSPELER

Det er gjennomført en stabilitetsberegning av den pel-type som kollapset under ramming på Almenningen Bru.

Beregningen er gjort ut fra følgende inngangsdata:

Ytre diameter	914mm
Godstykkelse	12mm
Ovalitet	2% dvs 9mm avvik på radius, elliptisk form.
Stål	St 52 -3

Dette gir stabilitetsgrense for netto ytre trykk 697 kN/m²

For samme betingelser men godtykkelse 17,7mm blir stabilitetsgrensen 1877 kN/m²

Resultatet er ømfindtlig for små variasjoner i diameter, godstykkelse og ovalitet.

Stabilitetsformlene er basert på iterasjon til kritisk trykk. Det var derfor raskest å programmere formelverket. Vi kan raskt utføre beregninger av peler i andre dimensjoner og materialer på samme program.

Med hilsen
for BYGGCON AS

Frank Jacobsen

Vedlegg: Beregninger 6 sider



Prosjekt

ALMENNINGEN BRU

Omfatter

STABILITET RØRPEL
TEORI

Tegning

Blad

av

Beregnet

Dato

30.13.92

Kontroll

Dato

Revidert

Dato

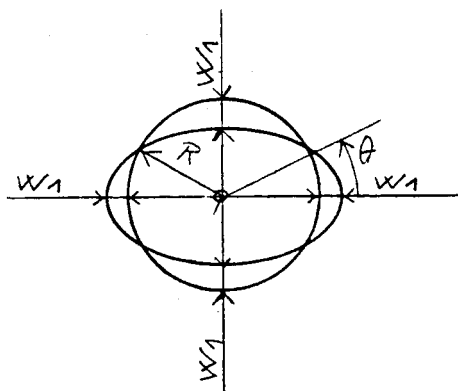
Timoshenko & Gere
"Theory of Elastic
Stability"

Stålpel $\varnothing 900 \times 12$ St 52-3 $R = 450 - 6 = 444 \text{ mm}$
 $h = 12 \text{ mm}$

DIN 20 458 DIN 17.10

Ovalitet: Max 2%

$w_1 = 0.02 \cdot 450 = 9 \text{ mm}$



$$w_i(\theta) = w_1 \cos 2\theta$$

Ytre væssetrykk q

↓
Konstant ringtrykk $S = qR$

$$M = qR (w + w_1 \cos 2\theta)$$

$$w = \frac{w_1 q}{q_{cr} - q} \cos 2\theta$$

$$M_{max} = qR \left(w_1 + \frac{w_1 q}{q_{cr} - q} \right) = qR \frac{w_1}{1 - q/q_{cr}}$$

$$\sigma_{max} = \frac{qR}{h} + \frac{6qR}{h^2} \frac{w_1}{1 - q/q_{cr}}$$

$$\sigma_{YP} = \frac{q_{YP} R}{h} + 6q_{YP} \frac{R^2}{h^2} \frac{w_1}{R (1 - q_{YP}/q_{cr})}$$

$$\frac{R}{h} = m \quad \frac{w_1}{R} = w \quad \sigma_{YP} = 355 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$q_{YP}^2 - \left[\frac{\sigma_{YP}}{m} + (1 + 6mw) q_{cr} \right] q_{YP} + \frac{\sigma_{YP}}{m} q_{cr} = 0$$

(7-12)

↑ Dim. ytre trykk

$$q_{cr} = \frac{E}{4(1-\nu^2)} \left(\frac{h}{R} \right)^3$$

← 0.3

RØR
KRITISK YTRE TRYKK

Timoshenko & Gere:
Theory of Elastic Stability
1961 McGraw-Hill Kogakusha

Frank Jacobsen
30,03,92

<i>inndata</i>	<i>input uthevet</i>	<i>kalkulerte verdier</i>
RØR		
ytre Ø	914 mm	
godstykkelse	h= 12 mm	
radius		R= 451 mm
ovalitet	w1 = 9 mm	
Elastisitetsmodul	E= 210000 N/mm2	n= 0,019956
Tverrkontraksjon	ny= 0,3	m= 37,58333
flytespenning	sig(yp)= 355 N/mm2	q(cr)= 1,086756 N/mm2 1086,756 kN/m2
		X= 15,42283
		Y= 10,26514

ANTATT DIM. YTRE TRYKK (ITERER!)

STABILITETSFORMEL VERDI

q(yp)=	690 kN/m2 =	0,69 N/mm2	0,099489
	695 kN/m2 =	0,695 N/mm2	0,0293
	697 kN/m2 =	0,697 N/mm2	0,001239 <u>SKAL = 0</u>
	698 kN/m2 =	0,698 N/mm2	-0,01279 <u>SKAL = 0</u>
	699 kN/m2 =	0,699 N/mm2	-0,02682
	700 kN/m2 =	0,7 N/mm2	-0,04084

STABILITETSGRENSE FOR (NETTO) YTRE TRYKK:

697 kN/m2

RØR
KRITISK YTRE TRYKK

Timoshenko & Gere:
Theory of Elastic Stability
1961 McGraw-Hill Kogakusha

Frank Jacobsen
30,03,92

<i>inndata</i>	<i>input uthevet</i>	<i>kalkulerte verdier</i>
RØR		
ytre Ø	914 mm	
godstykkelse	h= 17,7 mm	
radius		R= 448,15 mm
ovalitet	w1 = 9 mm	n= 0,020083
		m= 25,31921
Elastisitetsmodul	E= 210000 N/mm ²	
Tverrrkontraksjon	ny= 0,3	q(cr)= 3,55441 N/mm ² 3554,41 kN/m ²
flytespenning	sig(yp)= 355 N/mm ²	X= 28,41935 Y= 49,83629

ANTATT DIM. YTRE TRYKK (ITERER!)			STABILITETSFORMEL VERDI
q(yp)=	1875 kN/m ² =	1,875 N/mm ²	0,065641
	1876 kN/m ² =	1,876 N/mm ²	0,040973
	1877 kN/m ² =	1,877 N/mm ²	0,016307 <u>SKAL = 0</u>
	1888 kN/m ² =	1,888 N/mm ²	-0,25489 <u>SKAL = 0</u>
	1889 kN/m ² =	1,889 N/mm ²	-0,27953
	1880 kN/m ² =	1,88 N/mm ²	-0,05768

STABILITETSGRENSE FOR (NETTO) YTRE TRYKK: 1877 kN/m²

RØR
KRITISK YTRE TRYKK

Timoshenko & Gere:
Theory of Elastic Stability
1961 McGraw-Hill Kogakusha

Frank Jacobsen
30,03,92

inndata		input uthevet	kalkulerte verdier
RØR		14	
ytre Ø		900 mm	
godstykkelse	h=	12 mm	
radius			R= 444 mm
ovalitet	w1 =	9 mm	
			n= 0,02027
			m= 37
Elastisitetsmodul	E=	210000 N/mm2	
Tverrkontraksjon	ny=	0,3	
			q(cr)= 1,138971 N/mm2 1138,971 kN/m2
flytespenning	sig(yp)=	355 N/mm2	
			X= 15,85894
			Y= 10,92797

ANTATT DIM. YTRE TRYKK (ITERER!)			STABILITETSFORMEL VERDI
q(yp)=	720 kN/m2 =	0,72 N/mm2	0,027933
	721 kN/m2 =	0,721 N/mm2	0,013515
	722 kN/m2 =	0,722 N/mm2	-0,0009 <u>SKAL = 0</u>
	723 kN/m2 =	0,723 N/mm2	-0,01532 <u>SKAL = 0</u>
	724 kN/m2 =	0,724 N/mm2	-0,02973
	725 kN/m2 =	0,725 N/mm2	-0,04414

STABILITETSGRENSE 722 kN/m²

$$= 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 40 \text{ m}$$

RØR

KRITISK YTRE TRYKK

Timoshenko & Gere:
Theory of Elastic Stability
1961 McGraw-Hill Kogakusha

Frank Jacobsen
30,03,92

inndata		input uthevet	kalkulerte verdier
RØR			
ytte Ø		900 mm	
godstykkelse	h=	17,7 mm	
radius			R= 441,15 mm
ovalitet	w1 =	9 mm	
Elastisitetsmodul	E=	210000 N/mm2	n= 0,020401
Tverrrkontraksjon	ny=	0,3	m= 24,92373
flytespenning	sig(yp)=	355 N/mm2	q(cr)= 3,726309 N/mm2 3726,309 kN/m2
			X= 29,33816
			Y= 53,07551

ANTATT DIM. YTRE TRYKK (ITERER!)			STABILITETSFORMEL VERDI
q(yp)=	1800 kN/m2 =	1,8 N/mm2	3,506818
	1935 kN/m2 =	1,935 N/mm2	0,050391
	1936 kN/m2 =	1,936 N/mm2	0,024923 <u>SKAL = 0</u>
	1937 kN/m2 =	1,937 N/mm2	-0,00054 <u>SKAL = 0</u>
	1938 kN/m2 =	1,938 N/mm2	-0,026
	1939 kN/m2 =	1,939 N/mm2	-0,05147

STABILITETS GRENSE 1937 kN/m²

$$= 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 107 \text{ m}$$



Prosjekt

ALMENNINGEN BRU

Omfatter

STABILITET RØRPEL
KONTROLLBEREGNING

Tegning

Blad

av

Beregnet

Dato

30/3-92

Kontroll

Dato

Revidert

Dato

Kontrollregning på 12 mm rør!

$$n = \frac{w_1}{R} = \frac{9}{444} = 0,203 \quad \text{OK}$$

$$m = \frac{R}{h} = \frac{444}{12} = 37 \quad \text{OK}$$

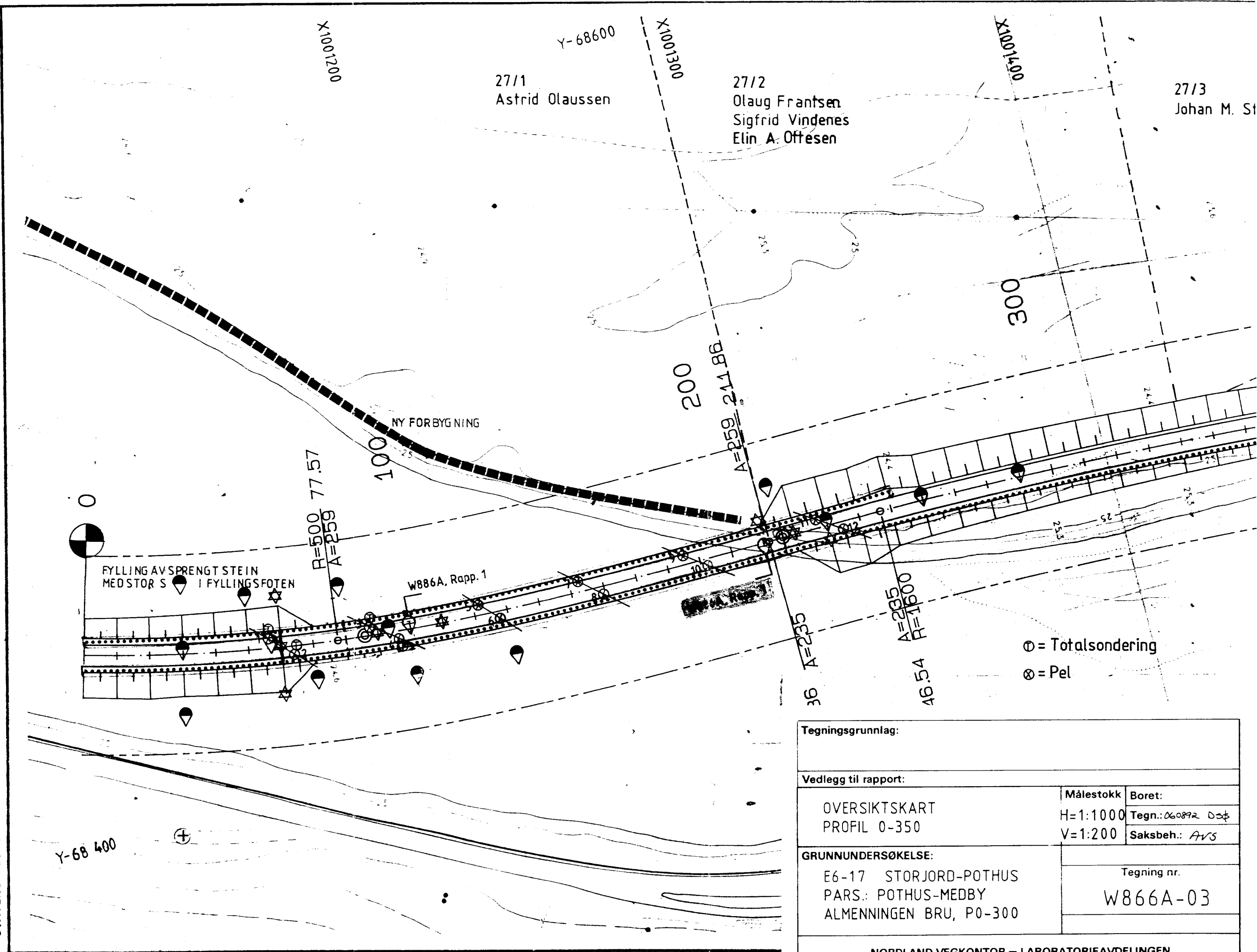
$$q_{cr} = \frac{E}{4(1-\nu^2)} \left(\frac{h}{R}\right)^3 = \frac{2,1 \cdot 10^5}{4(1-0,3^2)} \left(\frac{12}{444}\right)^3 = 1,139 \quad \text{OK}$$

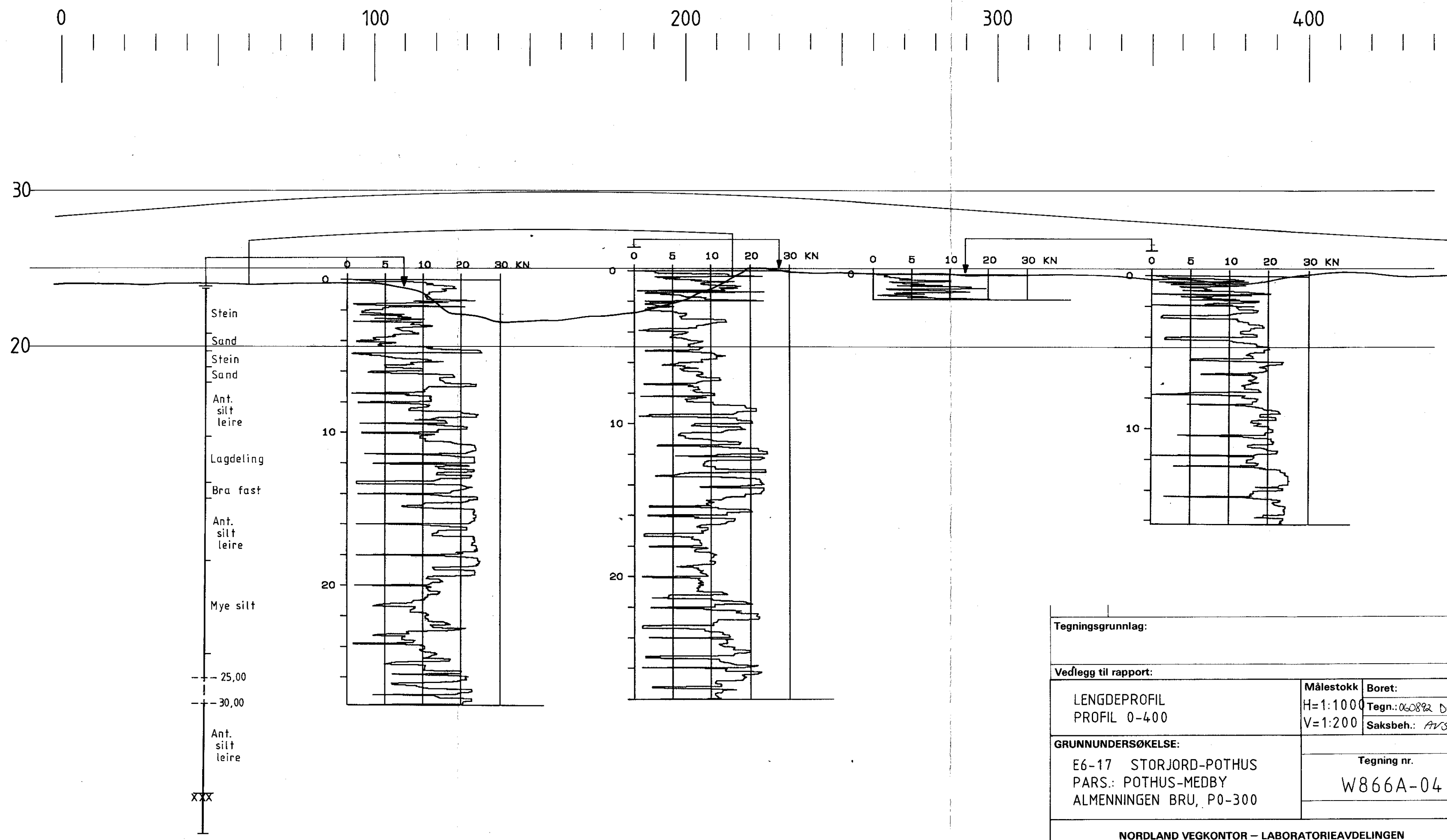
$$X = \left[\frac{\sigma_{yp}}{m} + (1+6mn)q_{cr} \right] = 15,87 \quad \text{OK}$$

$$Y = \frac{\sigma_{yp}}{m} q_{cr} = \frac{355}{37} \cdot 1,139 = 10,93$$

$$q_{yp} = 0,722 \Rightarrow 0,722^2 - 15,87 \cdot 0,722 + 10,93 = -0,007 \quad \text{OK}$$

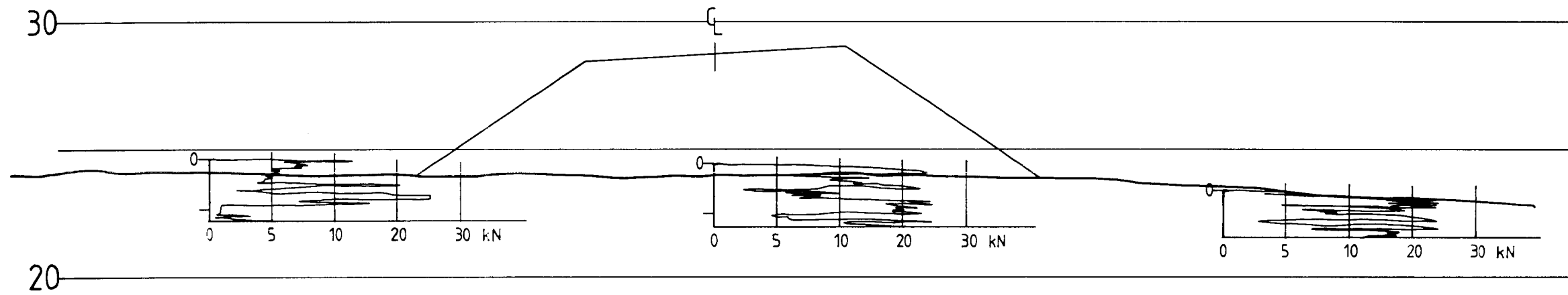
STATENS VEGVESEN





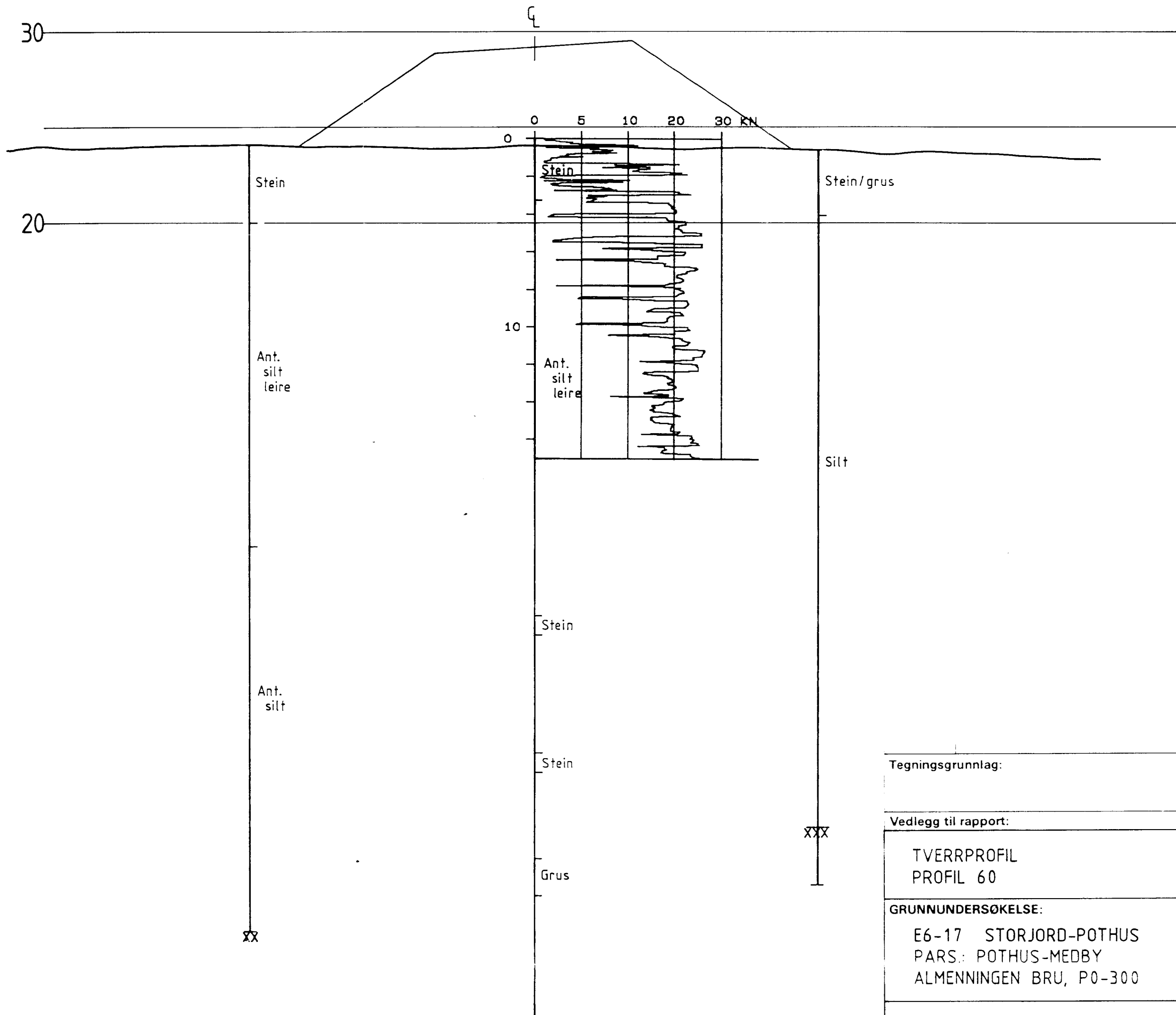
Tegningsgrunnlag:	
Vedlegg til rapport:	
LENGDEPROFIL PROFIL 0-400	Målestokk H=1:1000 V=1:200
	Boret: Tegn.: 060892 D58 Saksbeh.: AVS
GRUNNUNDERSØKELSE:	
E6-17 STORJORD-POTHUS PARS.: POTHUS-MEDBY ALMENNINGEN BRU, P0-300	
Tegning nr. W866A-04	
NORDLAND VEGKONTOR – LABORATORIEAVDELINGEN	

Profil 30



Tegningsgrunnlag:	
Vedlegg til rapport:	
TVERRPROFIL PROFIL 30	Målestokk 1:200
	Boret: Tegn.: 060892 DSB Saksbeh.: AVS
GRUNNUNDERSØKELSE: E6-17 STORJORD-POTHUS PARS.: POTHUS-MEDBY ALMENNINGEN BRU, P0-300	Tegning nr. W866A-05
	NORDLAND VEGKONTOR – LABORATORIEAVDELINGEN

Profil 60



Tegningsgrunnlag:

Vedlegg til rapport:

TVERRPROFIL
PROFIL 60

Målestokk
1:200

Boret:
Tegn.: 060892 D55
Saksbeh.: AVS

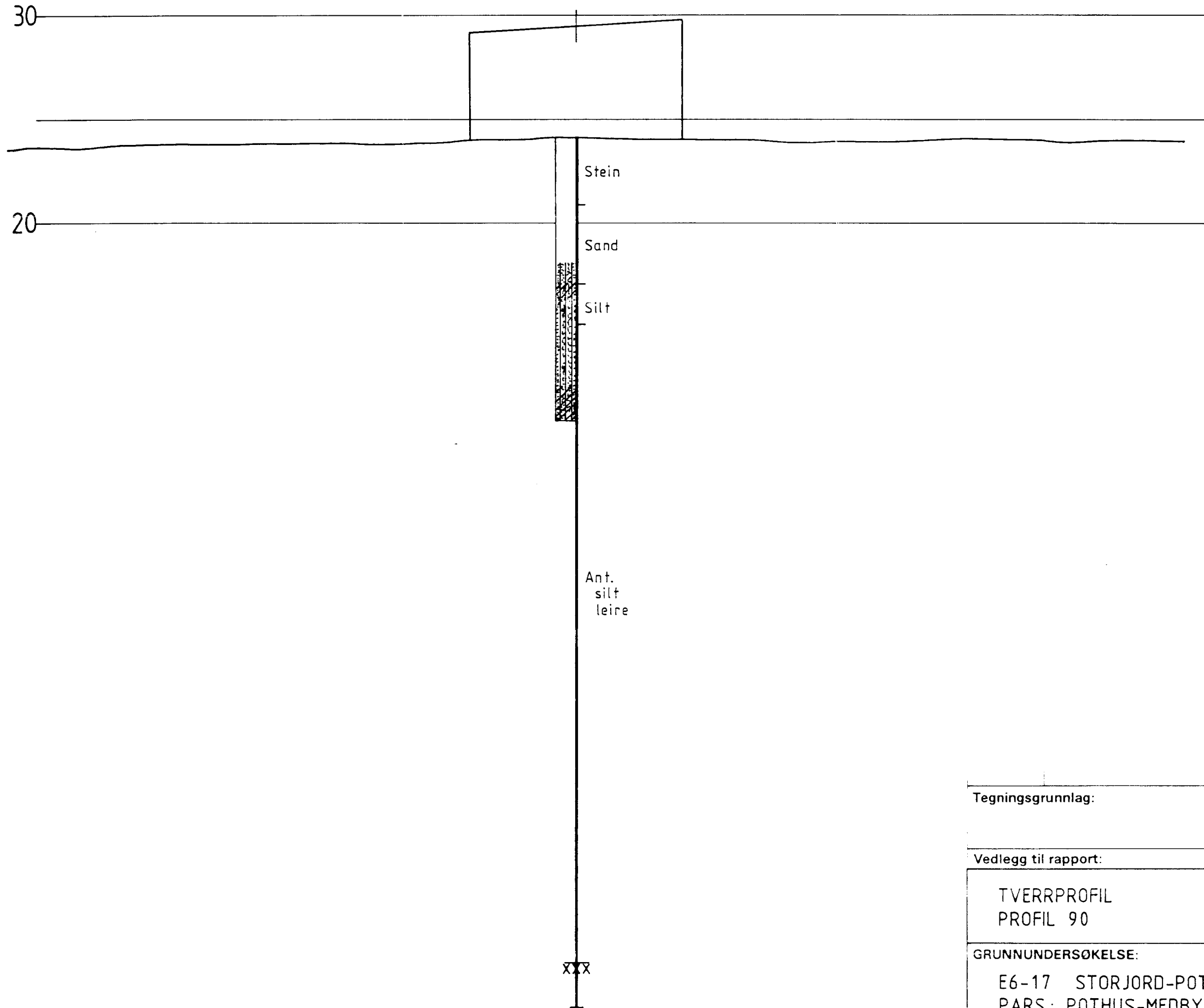
GRUNNUNDERSØKELSE:

E6-17 STORJORD-POTHUS
PARS.: POTHUS-MEDBY
ALMENNINGEN BRU, P0-300

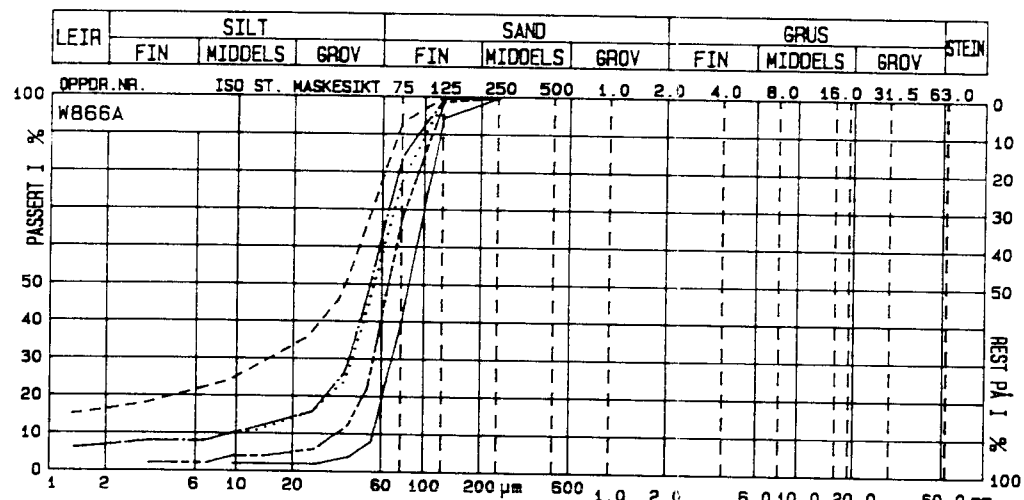
Tegning nr.

W866A-06

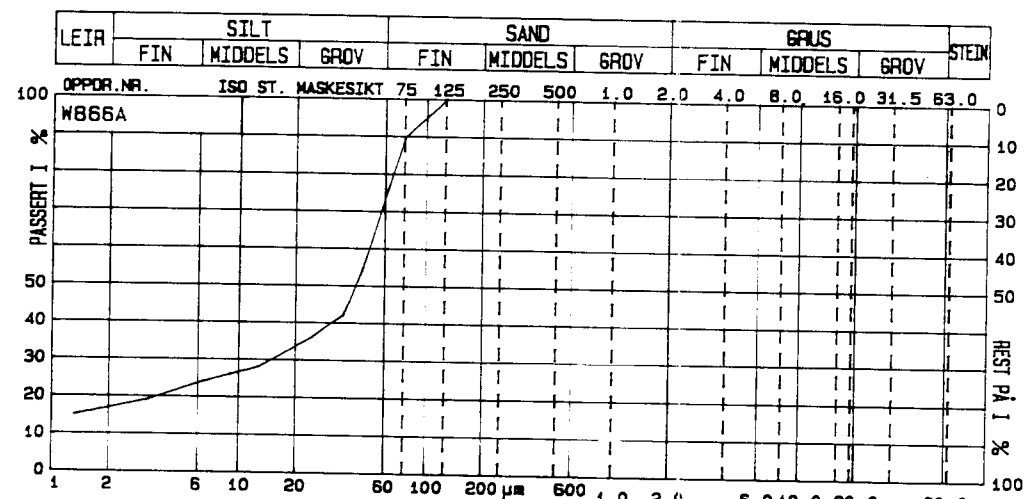
Profil 90



Tegningsgrunnlag:		
Vedlegg til rapport:		
TVERRPROFIL PROFIL 90	Målestokk	Boret:
	1:200	Tegn.: 060892 DS& Saksbeh.: AVS
GRUNNUNDERSØKELSE: E6-17 STORJORD-POTHUS PARS.: POTHUS-MEDBY ALMENNINGEN BRU, P0-300	Tegning nr.	
	W866A-07	
NORDLAND VEGKONTOR – LABORATORIEAVDELINGEN		



PROFIL NR.	DYBDE	LAB.NR.	KURVE	JORDARTSBETEGNELSE	C _u	TELEGR.
90 CL	6-6.6	91L0180	---	SILTIG SAND	1.6	T1
90 CL	7-7.2	91L0181	---	SILTIG SANDIG LEIRE	5.6	T4
90 CL	7.2-7.65	91L0196	---	SANDIG LEIRIG SILT	6.1	T4
90 CL	8-11.6	91L0182	---	SILTIG SAND	2.0	T2
90 CL	12-13.55	91L0186	---	SANDIG LEIRIG SILT	6.5	T4



PROFIL NR.	DYBDE	LAB.NR.	KURVE	JORDARTSBETEGNELSE	C _u	TELEGR.
90 CL	13.55-13.65	91L0197	---	SILTIG SANDIG LEIRE	8.3	T4

Oppdr.nr.: W866A		Prøveserie: 90 ϕ		Prøvetaker: 54 MM										
Dybde m	Materialer	Prøve	Vanninnhold %			γ kn/m ³	St	Skjærstyrke kn/m ²						
			20	40	60			20	40	60	80	100		
1														
2														
3														
4														
5														
6	SILTIG SAND	180	•											
7	SILTIG SANDIG LEIRE	181	•											
8	SILTIG SAND	182	•											
9	SILTIG SAND	183	•											
10	SILTIG SAND	184	•											
11	SILTIG SAND	185	•											
12	SANDIG LEIRIG SILT	186	•											
13	SANDIG LEIRIG SILT	187	•											

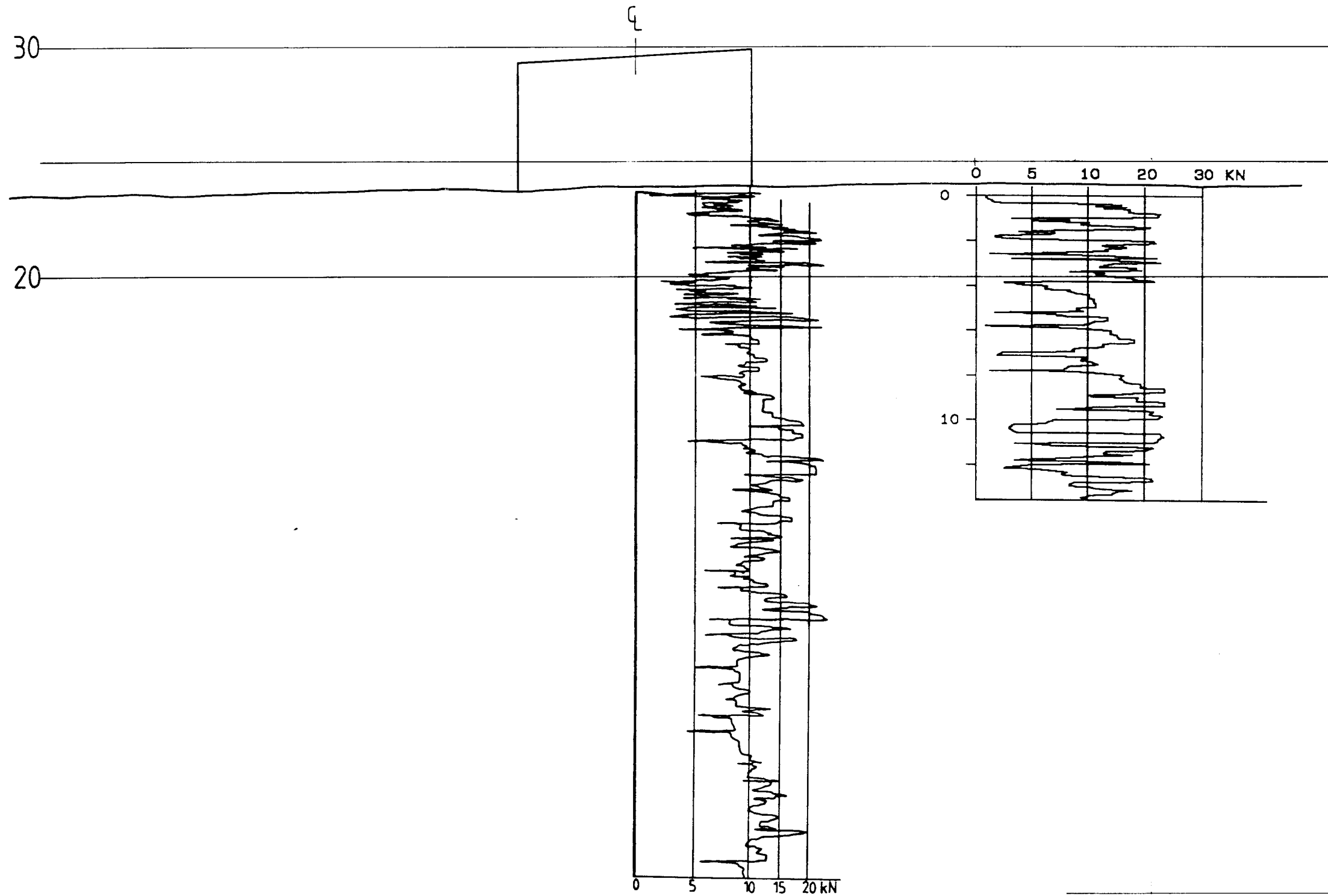
Tegningsgrunnlag:

Vedlegg til rapport:

ANALYSERESULTATER PROFIL 90 CL	Målestokk	Boret:
		Tegn.: 060892 056
GRUNNUNDERSØKELSE: E6-17 STORJORD-POTHUS PARS.: POTHUS-MEDBY ALMENNINGEN BRU, P0-300	Saksbeh.: AVS	
	Tegning nr. W866A-07B	

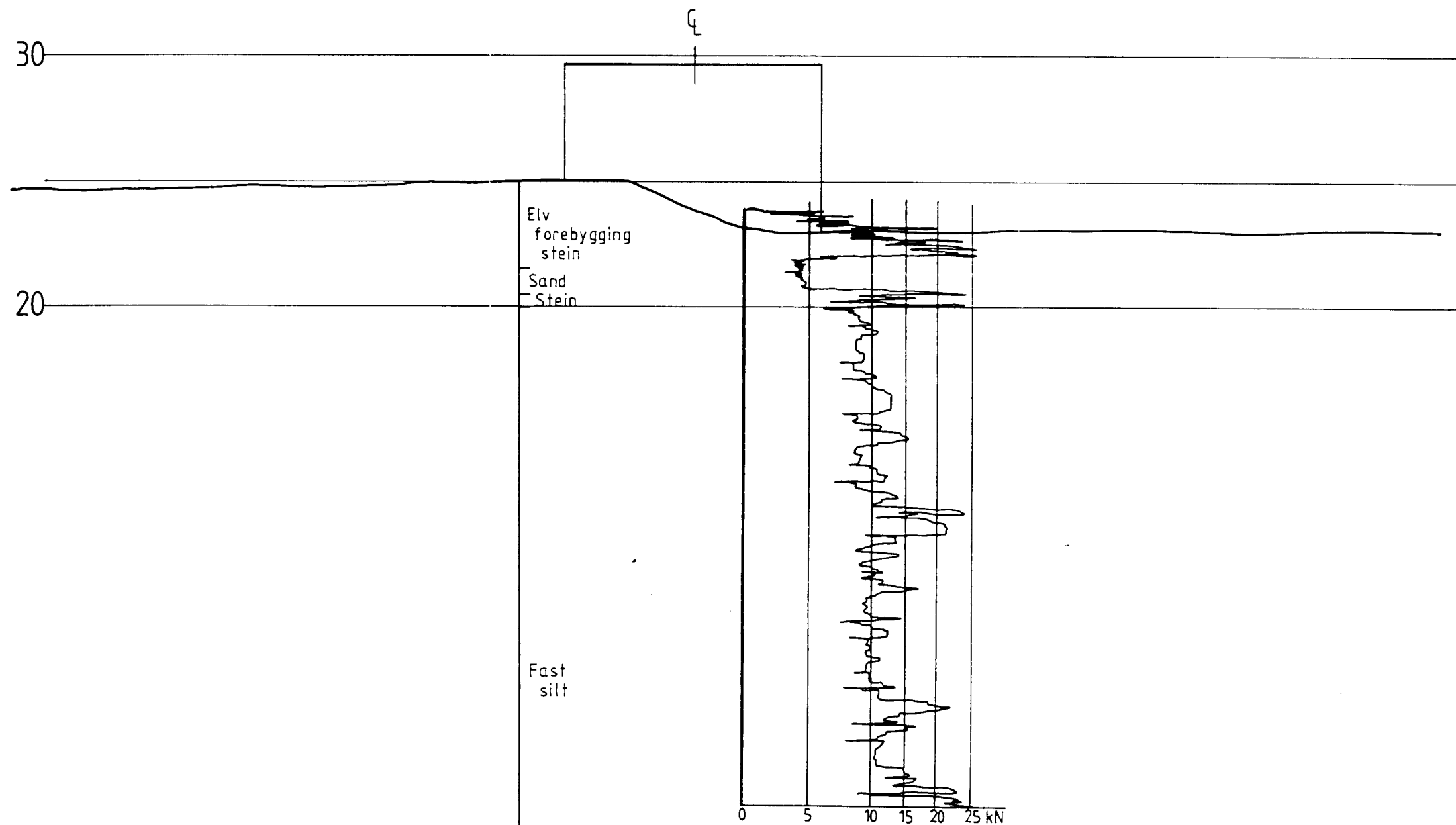
NORDLAND VEGKONTOR – LABORATORIEAVDELINGEN

Profil 100



Tegningsgrunnlag:		
Vedlegg til rapport:		
TVERRPROFIL PROFIL 100	Målestokk	Boret:
	1:200	Tegn.: 060892 05f Saksbeh.: AVS
GRUNNUNDERSØKELSE: E6-17 STORJORD-POTHUS PARS.: POTHUS-MEDBY ALMENNINGEN BRU, P0-300	Tegning nr.	
	W866A-08	
NORDLAND VEGKONTOR – LABORATORIEAVDELINGEN		

Profil 210



Tegningsgrunnlag:

Vedlegg til rapport:

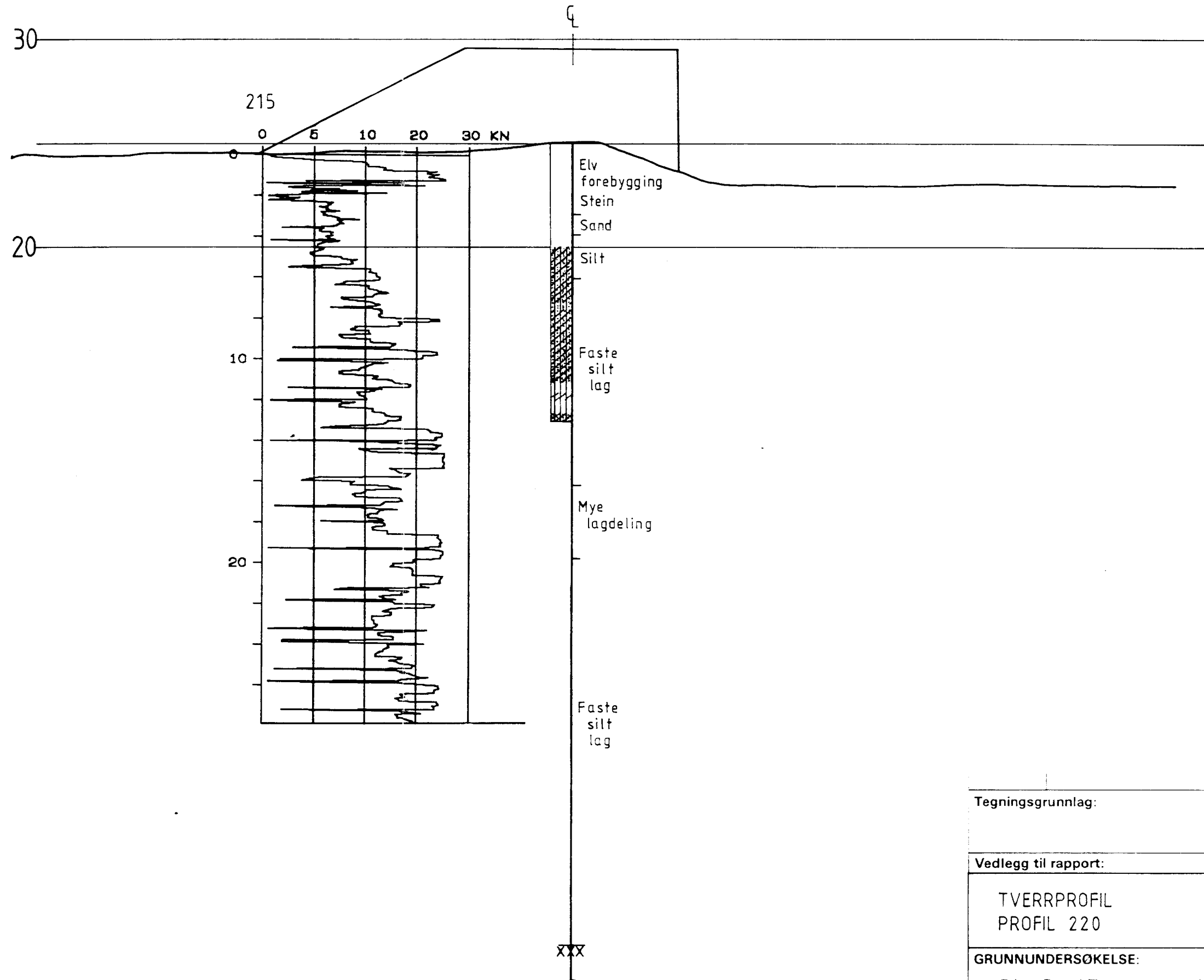
TVERRPROFIL PROFIL 210	Målestokk	Boret:
	1:200	Tegn.: 060872 DS
		Saksbeh.: AVS

GRUNNUNDERSØKELSE: E6-17 STORJORD-POTHUS PARS.: POTHUS-MEDBY ALMENNINGEN BRU, P0-300	Tegning nr.
	W866A-09

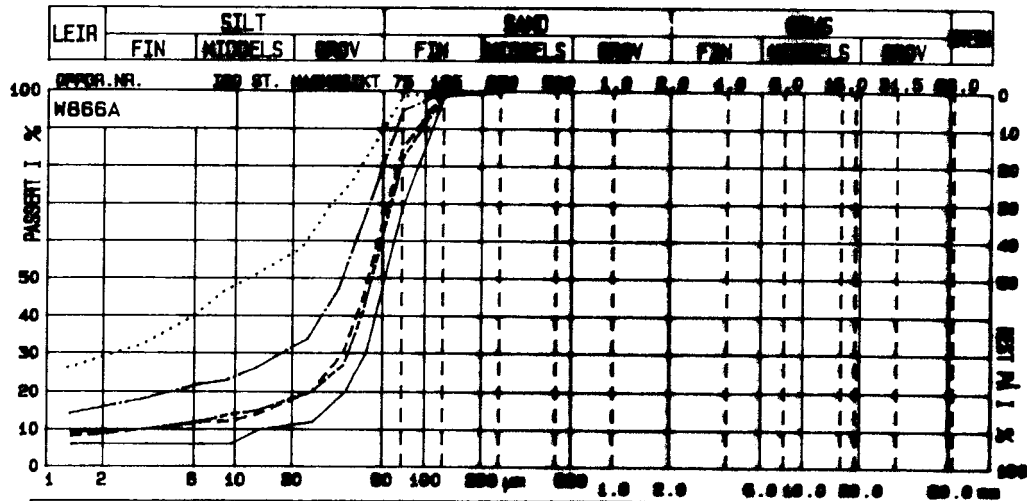
NORDLAND VEGKONTOR – LABORATORIEAVDELINGEN

V. 3. 1. 2004

Profil 220



Tegningsgrunnlag:		
Vedlegg til rapport:		
TVERRPROFIL PROFIL 220	Målestokk	Boret:
	1:200	Tegn.: 060892 DS\$ Saksbeh.: AVS
GRUNNUNDERSØKELSE:		Tegning nr.
E6-17 STORJORD-POTHUS PARS.: POTHUS-MEDBY ALMENNINGEN BRU, P0-300		W866A-10
NORDLAND VEGKONTOR – LABORATORIEAVDELINGEN		



STATENS VEKSELER	PROFIL NR.	DYBDE	LAB.NR.	NÅRVE	JORDARTSBETEGNELSE	C _v	T ₈₀
		220 CL	5-7.85	91L0188	---	SANDIG SILTIG LEIRIG MATR.	5.2
	220 CL	8-11.5	91L0191	---	SANDIG LEIRIG SILT	17.	T4
	220 CL	12-12.35	91L0194	---	SILTIG LEIRE	4.5	T4
	220 CL	13-13.25	91L0196	---	SANDIG LEIRIG SILT	17.	T4
	220 CL	13.25-13.3	91L0198	SILTIG LEIRE	-	T4

Oppdr.nr.: W866A		Prøveserie: 220 ϕ		Prøvetaker: 54 mm										
Dybde i m	Materiale	Prøve	Vanninnhold %			Y KN/m ³	S _t	Skjærstyrke kN/m ²						
			20	40	60			20	40	60	80	100		
1														
2														
3														
4														
5	SANDIG SILTIG LEIRIG MATR.	188				21.0								
6	SANDIG SILTIG LEIRIG MATR.	189												
7	SANDIG SILTIG LEIRIG MATR.	190												
8	SANDIG LEIRIG SILT	191												
9														
10	SANDIG LEIRIG SILT	192				28.0								
11	SANDIG LEIRIG SILT	193												
12	SILTIG LEIRE	194												
13	SANDIG LEIRIG SILT	195												

Tegningsgrunnlag:

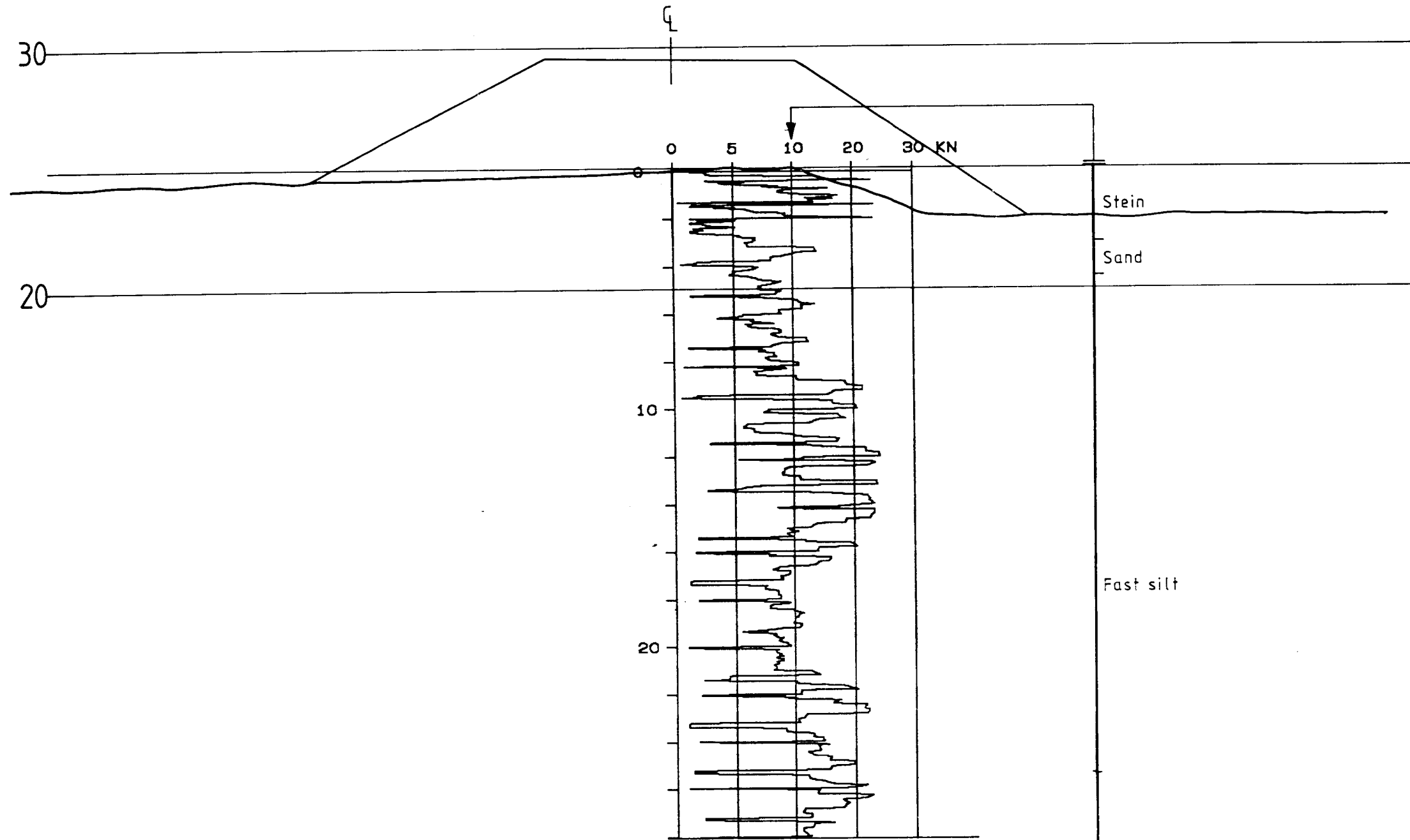
Vedlegg til rapport:

ANALYSERESULTATER PROFIL 220 CL	Målestokk	Boret:
		Tegn.: 060892 DSØ
GRUNNUNDERSØKELSE: E6-17 STORJORD-POTHUS PARS.: POTHUS-MEDBY ALMENNINGEN BRU, P0-300	Saksbeh.: AVS	
	Tegning nr. W866A-10B	

NORDLAND VEGKONTOR – LABORATORIEAVDELINGEN

A 5 TØRRAKOPI

Profil 230



Tegningsgrunnlag:

Vedlegg til rapport:

TVERRPROFIL
PROFIL 230

Målestokk Boret:

1:200

Tegn.: 060892 DSK
Saksbeh.: AVS

GRUNNUNDERSØKELSE:

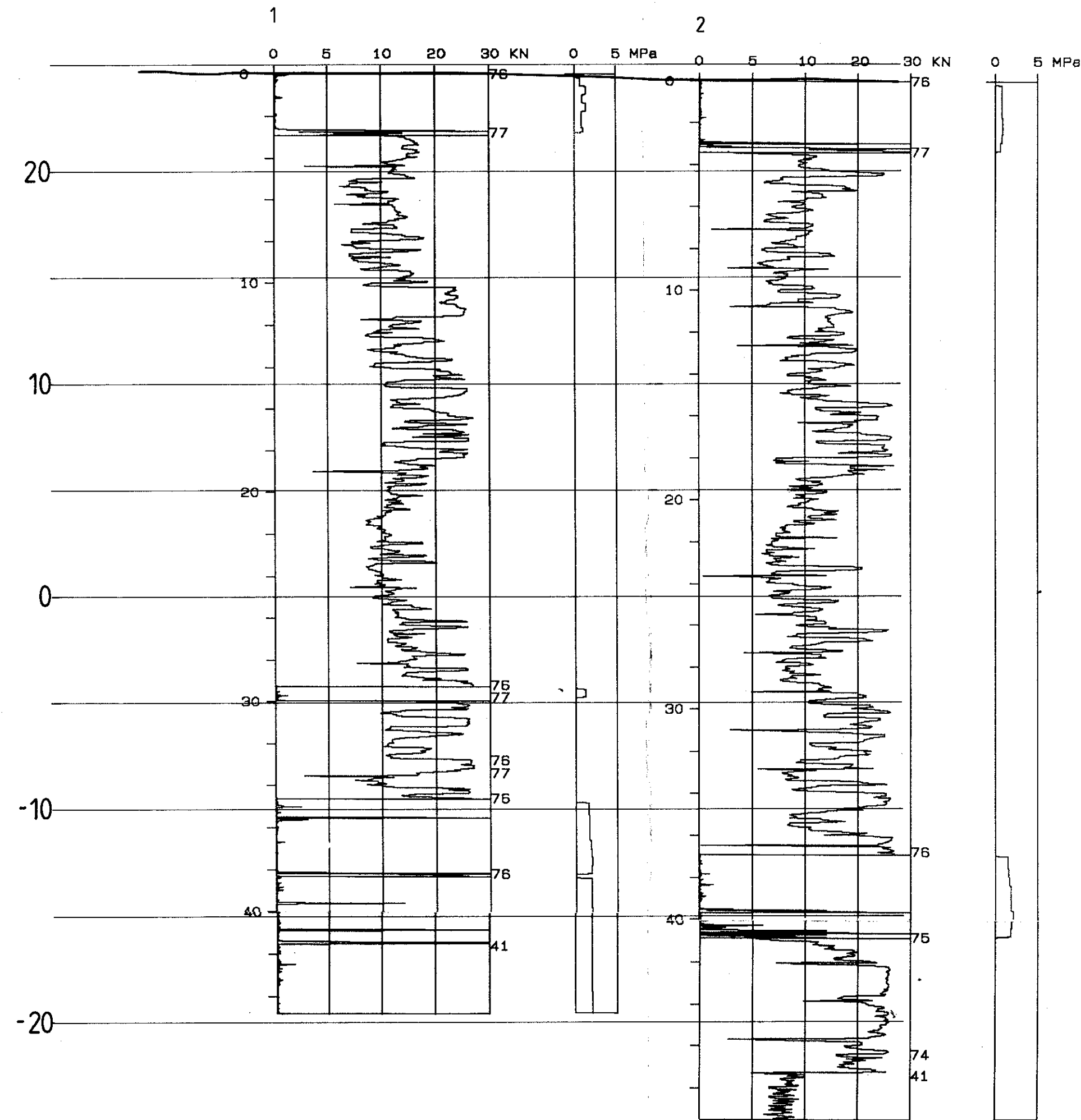
E6-17 STORJORD-POTHUS
PARS.: POTHUS-MEDBY
ALMENNINGEN BRU, P0-300

Tegning nr.

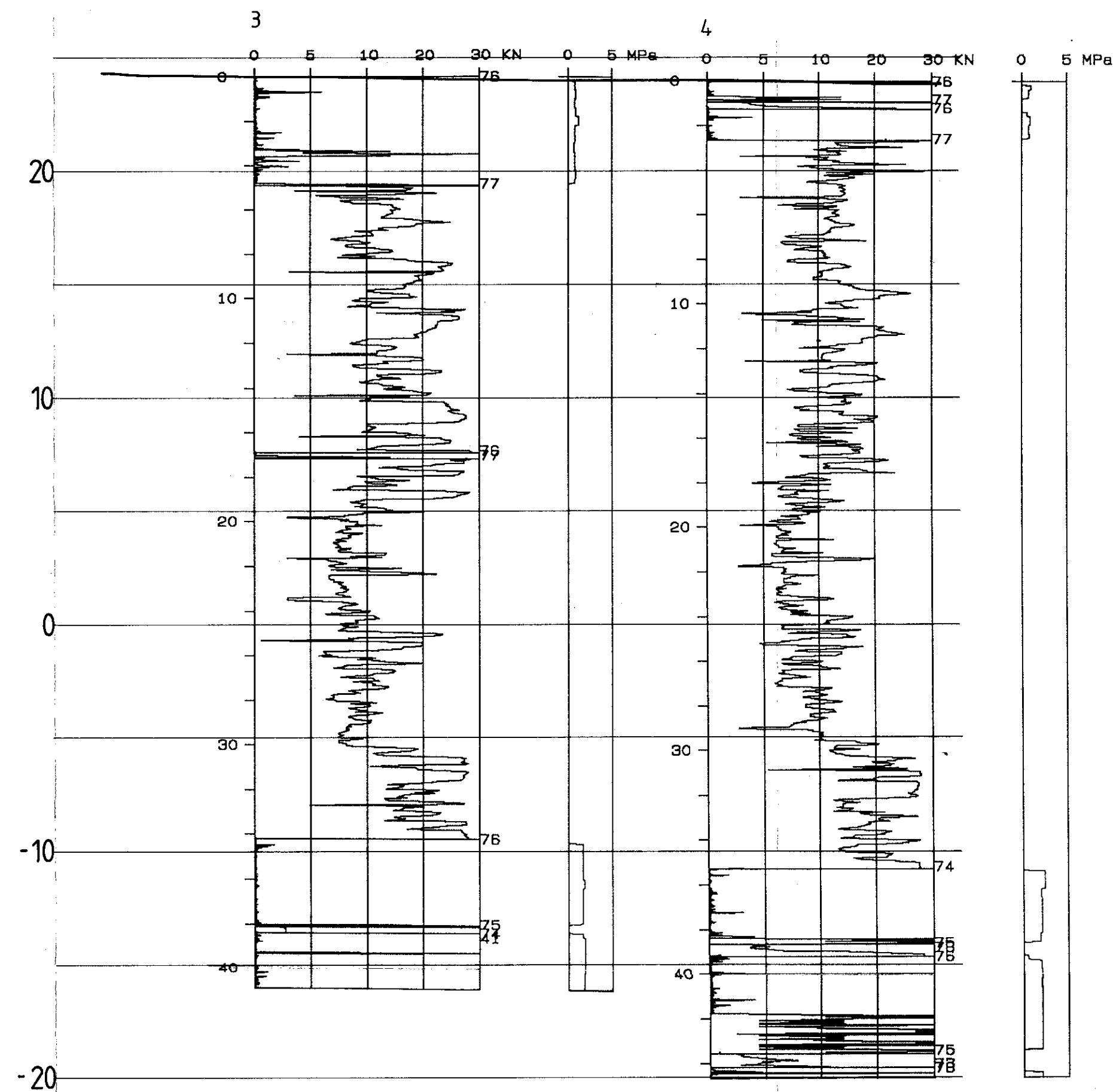
W866A-11

NORDLAND VEGKONTOR – LABORATORIEAVDELINGEN

Akse 1



Akse 2



Tegningsgrunnlag:	
Vedlegg til rapport:	
TVERRPROFIL AKSE 1 og 2	Målestokk H=1:100 V=1:200
GRUNNUNDERSØKELSE: E6-17 STORJORD-POTHUS PARS.: POTHUS-MEDBY ALMENNINGEN BRU, P0-300	Boret: Tegn.: <i>292 dot</i> Saksbeh.: <i>M/S</i>
Tegning nr. W866A- 12	
NORDLAND VEGKONTOR – LABORATORIEAVDELINGEN	