

STATSBYGG

92033 UNIT REALFAGBYGGET PÅ GLØSHAUGEN STABILITET ØSTSKRÅNING

Utredning av mulige beredskapstiltak
under utgraving

57000 - 5

14. oktober 1996

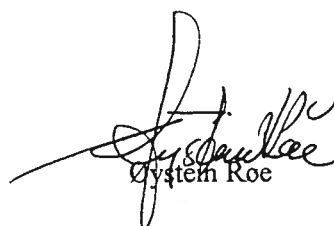
Oppdragsgiver:

Kontaktperson:

Anders W. Andersen

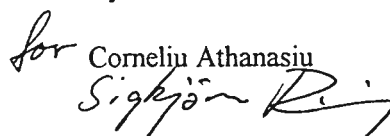
For Noteby:

Oppdragsansvarlig:


Øystein Roe

Saksbehandler:

Øystein Roe

for Corneliu Athanasiu


Sammendrag

NOTEBY har utredet 2 mulige stabilitetsbedrende beredskapstiltak i forbindelse med utgraving for Realfagbygget. De 2 metodene er poretrykkreduksjon ved dyp-pumping og stabilisering av leire/kvikkleire ved elektrolyse.

Når det gjelder poretrykkreduksjon ved pumping, er det vurdert 2 underalternativer, hvorav sugespiss-anlegg (well-point) anses lite velegnet, mens vakuum-ekstraksjonsmetoden kan gi den ønskede, reduksjon av poretrykket. Det er imidlertid knyttet betydelig usikkerhet også til denne metoden, og det må forutsettes en forstudie/laboratorieundersøkelse og prøvepumping fra 1 brønn før metoden eventuelt velges.

Stabilisering med elektrolyse kan ventes å gi tilsiktet bedring av stabiliteten, men er en omfattende og kostbar metode, vurdert som et ekstra beredskapstiltak. Den har imidlertid stor forskningsmessig interesse, og dette prosjektet ville være velegnet til utproving og videreutvikling av metoden.

2 alternative tiltak, motfylling på bunnplate, og forankring / forbelastning av bunnplate med stag til fjell er også kort beskrevet, uten å være nærmere utredet.

Innhold:	Side
1. INNLEDNING.....	4
2. ALTERNATIV 1: DYP-PUMPING	4
2.1 Metode / prinsipp.....	4
2.2 Vurdering av pumpemetodene	5
2.3 Kostnader	7
3. ALTERNATIV 2: STABILISERING VED ELEKTROLYSE	7
3.1 Metode / prinsipp.....	7
3.2 Nodvendige forundersokelser	8
3.3 Installasjon	8
3.4 Tilsiktet virkning	9
3.5 Negative virkninger.....	9
3.6 Kostnader	10
3.7 Vurdering av metoden	10
4. ANDRE METODER.....	11
4.1 Motfylling	11
4.2 Forbelastning av bunnplata med stag til fjell	11

Vedlegg:

Vedlegg 1:	Graveplan, østre del av byggegrop
Vedlegg 2:	Wellpoint, prinsipp
Vedlegg 3:	Dreneringsegenskaper, jord
Vedlegg 4:	Priseksempel, Wellpoint-anlegg
Vedlegg 5:	Vakuüm-ekstraksjon, prinsipp
Vedlegg 6:	Typisk graveprofil I-I m/jordartslagdeling
Vedlegg 7:	Eksempel, senkningseffekt av Wellpoint-anlegg
Vedlegg 8:	Transient grunnvannstand, 8 m fra brønn
Vedlegg 9:	Referanseprosjekt Holmestrand, sit.plan og plan elektrolyseanlegg
Vedlegg 10:	Kontrollmålinger av s_u , Holmestrand
Vedlegg 11:	Kontrollmålinger av elektrisk jordmotstand, Holmestrand

1. Innledning

Som geoteknisk prosjekterende for Realfagbygget har Noteby tidligere utført omfattende stabilitetsanalyser for gravetilstanden i ostskråningen. Valgt løsning innebærer oppstøtting med en mindre spuntvegg ved skråningstopp utenfor Materialteknisk institutt (kote 52,5) og en avtrappet graveskråning videre ned til bunn byggegrop på kote 36,5. Det vises til utsnitt graveplan i vedlegg 1 og typisk profil I-I i vedlegg 6).

Forutsatt seksjonsvis utgraving og stoping av bunnplate for bygg E fra kote 44,5 til kote 40,5 og omfattende kontrollmålinger under utgraving, er stabiliteten vurdert å være tilfredsstillende. Noteby er av Statsbygg gitt i oppdrag å utrede mulige stabilitetsbedrende tiltak for å ha i beredskap hvis kontrollmålingene under utgravingen skulle gi urovekkende signaler. Følgende alternativer er utredet:

- reduksjon av poretrykket ved dyp-pumping
- stabilisering av kvikkleire / leire ved hjelp av elektrolyse.

Utredningen gir prinsipiell beskrivelse av metode, forventet virkning og eventuelle negative bivirkninger. Det er også utarbeidet kostnadsoverslag for de 2 alternativene.

På grunnlag av denne utredningen skal det gjøres et valg av metode som skal prosjekteres i detalj slik at pris kan innhentes.

2. Alternativ 1: Dyp-pumping

2.1 Metode / prinsipp

Utgravingene vil i første omgang føre til en reduksjon av både totalspenninger og poretrykk. I denne tilstanden blir effektiv- (normal) spenningene og dermed udrenert skjærstyrke uendret. Avlastningen under utgravningene er modellert vha. en element-analyse for profil I-I (Noteby, rapport 57000-2 og -3). Storrelsesorden for avlastning (vertikale totale spenninger) er 80-160 kN/m². I tid starter det en konsolideringsprosess hvor poretrykkendringene utjevnes (øker tilbake til hydrostatisk nivå) under konstant totalspenning. Skjærstyrken er da redusert i takt med effektivspenningene og fører til redusert sikkerhetsnivå, særlig som følge av den siste, seksjonsvise utgravningsfase.

Dyp-pumping er tenkt som en alternativ metode for å opprettholde poreundertrykk så nær som mulig poreundertrykket fra utgravningene. Det er vurdert 2 underalternativer:

- «sugespiss»-metoden (well-point)
- «vakum-ekstraksjon»-metoden

Disse 2 metodene er beskrevet i kap. 2.1.1 og 2.1.2.:

2.1.1 Sugespiss-metoden

Sugespiss er et anleggsutstyr for senkning av grunnvann. Det består, som vist på (vedlegg 2) av en rekke stigeror med en spesiell filterspiss (sugespiss). Spissene kan spyles eller bores ned i bakken. Fra filterspissen, opp langs stigerøret til grunnvannspeilet, forsynes sugespissene

med et sandfilter (Ø 200 - 300 mm). Stigerorene forbindes via et samleror med en kombinert vakuum-sugepumpe som suger opp vann/luft som strømmer til filterspissen.

Dreneringsdybden er begrenset til praktisk sugehøyde for et ett-trinns sugespissanlegg (ca 4-6 m). Erfaringsdata viser at metoden kan brukes for jordarter med permeabilitet så lav som $k=10^{-5}$ cm/sek, jfr. vedlegg 3 (Sowers, 1979).

Metoden er brukt i Norge (f.eks. ved Oslo Hovedflyplass, Gardermoen). Vedlegg 4 gir enhets- anbudspriser for Gardermoen (Lyche, 1996).

2.1.2 Vakuum-ekstraksjonsmetoden

NOTE BY bruker vakuum-ekstraksjon som en tiltaksmetode for å trekke ut for eksempel bensingasser fra grunnen. Vi har brukt metoden på masser fra grus og ned til siltige masser (bresjosedimenter, Roros). Utstyret har også vært brukt på leirfraksjoner i England (Manchester-leire).

Utstyret består av en stor vakuum-pumpe (10kW eller 3,5 kW) som kobles opp mot vertikale eller horisontale brønner. Pumpen kan arbeide fra 0,5 bar undertrykk til 1 bar overtrykk. Luftmengden den suger ut er selvsagt avhengig av sug/trykk, men ved ca 0,2 bar undertrykk trekker den ut ca 600 m³ luft /time. NOTE BY eier 2 slike enheter og har det operative ansvaret for ytterligere 3 enheter som er eid av Norske Shell.

Primært brukes metoden til å trekke ut gass fra grunnen, men metoden egner seg også for å trekke ut vann/luft. Vakuum-ekstraksjonsmetoden er da et kombinert system som kan suge opp vann og trekke luft samtidig og holde et vakuum i bronnen (vedlegg 5). Det kombinerte utstyret består av et grovt rør som trekker gass, og et tynt innerrør som suger opp vann. Denne gass/vann-blandingen fores så til en separator hvor væsken skilles fra og gassen går videre gjennom vakuum-pumpen og ut.

Vakuum er brukt for å kunne trekke gass og vann mot brønner uten å senke grunnvannet. Dreneringshøyden er ikke begrenset til 4-6 m som for sugespiss-metoden, i og med at blandingen av gass/vann har mindre romvekt enn vann. Erfaringene viser at i relativt tette formasjoner (silt) får man ut mye mer vann når man bruker vakuum-suging enn ved konvensjonell pumping fra bronnen.

I de massene vi har brukt utstyret har det vært undersug i brønnene på opptil 0,2 bar, men dette er avhengig av formasjonen og hvorledes man tetter mot innsug av falsk luft fra overflaten.

2.2 Vurdering av pumpemetodene

2.2.1 Grunnforhold

Typisk profil for ostskråningen (profil I-I) er vist i vedlegg 6. Materialet i leirlaget (tykkelse 4-7 m) kan klassifiseres som leire (opp til 30-40% korn mindre enn 0,002 mm). Plastisitetsindeksen $I_p=15-25\%$. Under leirlaget er det et kvikkleirelag (tykkelse 0-6m) som er mindre plastisk ($I_p=10\%$). Vanninnholdet avtar fra ca 40% i leirlaget til 25-30% i kvikkleire-laget.

Ødometerforsøk utført på prøver fra dybder rundt 20 m (Lab. for Geoteknikk, NTNU) viser en deformasjonsmodul i spenningsområdet under 200 kPa (avlastnings-rebelastningsområdet) $M=5000-7000 \text{ kN/m}^2$. Konsolideringskoeffisient $C_v=1-2 \text{ m}^2/\text{år}$. Ved å anta at C_v er 5 ganger så stor i horisontal som i vertikal retning, er gjennomsnittlig horisontal permeabilitet $k=4 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-2} \text{ m/år}$, dvs $10^{-10} - 10^{-9} \text{ m/sek.}$

2.2.2 Vurdering av sugespiss-metoden

Ut fra kornfordelingskurver og de lave permeabilitetskoeffisienter kan man konkludere med at sugespiss-metoden er lite egnet som sikringstiltak i dette tilfelle. De geometriske forhold viser at ved en begrenset dreneringshøyde til 4-6 m og ved plassering av anlegget på skråningsavsatsen på kote 44, vil spissene komme kun 1-3 m under nåværende grunnvannsoverflate. Dette betyr at man i praksis kan opprettholde ca 20-25% av undertrykket pga. utgravningen.

Feltpermeabilitet i leire i horisontal retning for spenningsområde under forkonsoliderings-trykk, med mulige sand- og gruslommer, kan være svært forskjellig fra laboratieverdiene. Det er derfor foretatt en plane-strain elementanalyse, parametrisk studium av transient (inkludert konsolideringseffekt) vannstrømning rundt en brønn (sliss), vedlegg 7, med forutsetning «confined aquifer». Følgende parametre ble brukt i analysen:

Lagringskoeffisient:	$Sc = 3 \times 10^{-5}$
Specific «yield»:	$Sy = 7 \%$
Permeabilitet:	$k = \text{variabel} (k = 10^{-9} - 10^{-6} \text{ m/sek})$
Aquifer (lag) tykkelse:	$H = 10 \text{ m}$
Transmissibilitet:	$T = k \times H$

I «steady state»-tilstand vil grunnvannsspeilet bli senket med ca 3 m i 8 m avstand fra bronnen, forutsatt 3,9 m senkning av grunnvannsnivå i bronnen. Vedlegg 8 viser tidsforløpet for grunnvannsoverflata i en avstand 8 m fra bronnen for forskjellige transmissibiliteter T .

Ut fra diagrammene i vedlegg 7 kan man konkludere med at sugespiss-metoden kan være effektiv i løpet av 1-3 måneder dersom felt-permeabiliteten er i området $k = 10^{-6} - 10^{-7} \text{ m/sek.}$ En evt. videre vurdering av denne metoden ville kreve bestemmelse av permeabilitetskoeffisienten i felt og laboratorium.

Som nevnt innledningsvis synes metoden ut fra nåværende datagrunnlag ikke å være velegnet, både fordi permeabiliteten i leira/kvikkleira synes for lav, og fordi sugespissene satt ned fra kote 44,5 kommer i så liten dybde under grunnvannstanden at virkningen vil bli beskjeden.

2.2.3 Vurdering av vakuum-ekstraksjonsmetoden

Vakuum-ekstraksjonsmetoden har ikke begrenset dreneringshøyde og påfører en kombinert reduksjon av poretrykk i vann samt redusert lufttrykk på overflaten. Metoden er imidlertid avhengig av jordens sammensetning over grunnvannstanden og hvorledes man tetter mot innsug av falsk luft fra overflaten.

Da denne metoden såvidt vi vet ikke er brukt ved tilsvarende problemstilling tidligere, er det knyttet betydelig usikkerhet til effekten i det foreliggende tilfelle.

Det foreslås derfor en videre vurdering av vakuum-ekstraksjonsmetoden som innebærer følgende forstudie / forundersøkelse:

- Laboratorieforsøk og teoretisk analyse av poretrykk / lufttrykk og spenningsfordeling rundt brønnene
- Full skala feltforsøk med 1 pumpebrønn for å bestemme felt-permeabiliteten, virkningssone rundt brønnen og praktiske utførelsesdetaljer.

2.3 Kostnader

Da sugespiss-metoden av tekniske årsaker synes lite aktuell for dette prosjektet, vil kostnadene ikke bli nærmere vurdert for denne metoden. Det vises imidlertid til priseksempel i vedlegg 4.

For vakuum-ekstraksjonsmetoden kan forundersøkelsen tilbys til følgende priser:

- | | |
|---|------------|
| • Laboratorieforsøk og teoretisk analyse | kr 100 000 |
| • Installasjon av en provebrønn + 6 observasjonspiezometre
inklusive frakt/leie av container og vakuum-pumpe | kr 100 000 |

Hvis forundersøkelsen gir grunnlag for å velge denne metoden, kan det fra tidligere erfaring antas en brønn for hver 4-5 m. For et anlegg bestående av 10 brønner plassert langs en strekning på ca 50 m, forbundet med et hovedrør til en tank med vakuum-pumpe, anslås følgende priser for en antatt periode på 3 måneder:

- | | |
|---|---------------------|
| • Boring og installasjon av brønner | kr 150 000 |
| • Installasjon av hovedrør og kobling til container | kr 50 000 |
| • Opptak av 6, og nedsetting av 10 observasjonspiezometre | kr 60 000 |
| • Leie av container og vakuum-pumpe, ant. 3 mnd à kr 20 000 | <u>kr 60 000</u> |
| Sum | kr 320 000 |
| • Uforutsette kostnader 20 % av kr 320 000 | ca <u>kr 64 000</u> |
| Sum kostnadsoverslag | kr 384 000 |

I tillegg kommer kr 200 000 for forundersøkelsene. Alle priser er eks. merverdiavgift

3. Alternativ 2: Stabilisering ved elektrolyse

3.1 Metode / prinsipp

Metoden går ut på å påføre en leire-/kvikkleire-avsetning et elektrisk likestrøms-potensiale mellom installerte rekker med elektroder, vekselvis anoderekker og katoderekker, samtidig som det tilføres en saltoppløsning (elektrolytt) ved anodene.

På grunn av det elektriske potensialet som dannes mellom elektroderekkene, vil en elektrolyse-reaksjon oppstå. Elektrolyse av saltoppløsningen ved anodene vil tilføre porevannet positive salt-ioner (kationer). Disse vil tiltrekkes de negative katodene, og en ione-vandring oppstår fra anodene til katodene. Leira tilføres salter ved at de positive kationene vil bindes til leirmineralenes negative overflate, og porevannets saltinnhold øker.

Økning av saltinnholdet vil føre til økte bindingskrefter mellom leirpartiklene og dermed følgende endringer i leiras/kvikkleiras egenskaper:

- Økt udrenert skjærstyrke
- Økt plastisitet
- Sterkt redusert sensitivitet

I stabilitetssammenheng vil dette føre til bedre stabilitet, både fordi beregningsmessig sikkerhet øker og fordi den kvikke leira ikke lenger er «kvikk» men har fått en «seigere» bruddkarakteristikk, som vanlig leire.

Denne metoden tar primært ikke sikte på vanntransport og endring av jordartenes vanninnhold slik som ved elektrosmose, som kan føre til betydelige terrengsetninger. Likevel er det verdt å merke seg at det kan oppstå midlertidig poreovertrykk ved katodene.

Det er meget liten erfaring med denne stabiliseringsmetoden, såvidt vites er den brukt bare en gang tidligere i Norge, ved stabilisering av en leirskråning ved Holmestrand, i forbindelse med utvidelse av E 18 (Fig.1, vedlegg 9). Ved dette tilfelle var metoden vellykket, med en økning i udrenert skjærstyrke på 20-25 kPa i løpet av en stabiliseringsperiode på 1-1,5 måned, det vil si mer enn fordobling av skjærstyrken for de bloteste lagene. Ref (3).

3.2 Nødvendige forundersøkelser

For å kunne prosjektere et elektrolyseanlegg er det nødvendig på forhånd å bestemme noen elektrolytiske parametre for de aktuelle jordartene. Av slike parametre er porevannets saltinnhold, grunnens spesifikke elektriske motstand og den elektrolytiske permeabilitetskoeffisient de viktigste.

Grunnens vanlige, geotekniske egenskaper er grundig undersøkt ved tidligere undersøkelser, og et typisk profil med jordartslagdeling er vist i vedlegg 6.

3.3 Installasjon

Ved det tidligere anlegget ved Holmestrand ble anodene utført som saltbrønner, bestående av filterrør fylt med en oppløsning av kaliumklorid (KCl), og til elektroder ble benyttet armeringsstål, 20 - 25 mm. Da prosessen «spiser» anoder under drift, ble det installert 3 stk Ø 25 mm armeringsstål ved hver anodebrønn og 1stk Ø 20 mm stål ved hver katode. Avstanden mellom elektroderekkene og mellom katodene i hver rekke var ca 2,5 m, mens avstanden mellom anodene i hver rekke var ca 5 m. Alle brønner og elektroder ble ført ned til 12 m dybde. Elektrodene ble forbundet med Ø 10 mm stål.

Anodene ble automatisk matet med kaliumklorid-oppløsning via ledningsopplegg fra sedimenterings- og blandekar, som var plassert høyere i terrenget slik at en fikk trykk uten pumping. På grunn av lagdelt grunn med enkelte permeable lag ble det pumpet gjennomstrømmet elektrolytt fra brønner i nederste katoderad og tilbake til sedimentasjons- og blandekaret. Det vises til Fig.4 i vedlegg 9.

Strømmen ble tatt fra byens høyspentnett på 5 kV, transformert ned og ført inn på en Selén likeretter, tréfaset med dobbel likeretting. Denne installasjonen leverte likestrøm på opptil 1000 A og med en spenning på 300 V.

Ved denne utredningen forutsettes et tilsvarende opplegg også ved Realfagbygget, men ved eventuell detaljprosjektering må elektrodeavstander, elektrisk spenning og strømstyrke vurderes nærmere på grunnlag av målte elektrolytiske parametre.

3.4 Tilsiktet virkning

Tilsiktet virkning av elektrolysebehandlingen er at stabiliteten av ostskråningen i utgravingsfasen skal bedres. Graden av forbedring vil avhenge av anleggets størrelse, driftstiden og strømforbruket i driftstiden.

Ved det nevnte referanseprosjektet ved Holmestrand var anleggets størrelse ca 10 x 50 m, effektiv driftstid (etter innkjøringsperiode) var ca 1 måned og i mesteparten av tida ble det brukt strømstyrke 1000 A og spenning 300 V. Her ble det oppnådd en stabilitetsforbedring av størrelse 14-15%, beregnet på grunnlag av udrenert skjærstyrke. Virkningen ble målt, dels ved måling av udrenert skjærstyrke for og etter stabilisering, dels ved måling av elektrisk jordmotstand som på forhånd var kalibrert mot s_u . Det vises til vedlegg 10 og 11.

Et anlegg av tilsvarende størrelse kan også være aktuelt i dette tilfelle. Den stabilitetsmessige virkningen kan imidlertid ikke ventes å bli like stor her, dels fordi udrenert skjærstyrke i utgangspunktet var mye lavere i Holmestrand, og dels fordi skråningshøyden var vesentlig mindre enn på Gløshaugen. Det skulle imidlertid være realistisk å vente at et tilsvarende anlegg over samme tid kan føre til en stabilitetsbedring av størrelse 5-10 %, dvs. en beregningsmessig heving av sikkerhetsnivået i mest utsatt periode fra ca 1,4 til 1,5. Dessuten vil det oppnås en sone hvor den tidligere kvikkleira er blitt vesentlig mindre sensitiv.

3.5 Negative virkninger

I forbindelse med installering av bronner/elektroder må det regnes med midlertidig nedsatt fasthet i leira/kvikkleira aller nærmest brønnene. Erfaringene fra Holmestrand tyder dessuten på at det under prosessen kan oppstå et visst poreovertrykk ved katodene, noe som i prinsippet også vil føre til nedsatt materialstyrke og svekkelse av stabiliteten.

Disse virkningene er imidlertid lokale og vil dessuten reduseres under prosessens gang. De ventes derfor ikke å få så stor negativ virkning på stabiliteten at metoden av den grunn må frarådes.

En annen negativ effekt ved denne metoden kan være lekkasje av elektrolytt gjennom permeable lag, forbi nederste katoderekke og ut i grunnvannet. Det permeable sandlaget over leira må skjermes ved at saltbrønnene utfores med tette rør gjennom dette laget, slik at det unngås lekkasje av saltvannsoppløsning ut i dette laget. Leire- og kvikkleirelaget under synes å være relativt homogent uten permeable lag, bortsett fra det nederste laget i kvikkleira, mot fjell, hvor det er påvist silt- og finsandlag. Jordartslagdelingen er vist i vedlegg 6.

Den miljømessige belastningen vurderes å være relativt liten selv om noe saltvannsoppløsning skulle lekke ut og følge grovere lag langs fjelloverflata videre nedover, da den etter hvert vil tynnes ut og opptas av leirmassene nedenfor. Ved referanseprosjektet i Holmestrand var lekkasje gjennom permeable lag et problem, som ble løst ved at gjennomstrømmet elektrolytt ble samlet opp i bronner ved nederste katoderekke og pumpet tilbake til sedimentasjons- og blandekaret for gjenbruk.

3.6 Kostnader

I det etterfølgende kostnadsoverslag har vi tatt utgangspunkt i referanseprosjektet i Holmestrand, idet vi forutsetter omtrent samme omfang i vårt tilfelle, dvs. 5 elektroderekker (2 anoderekker og 3 katoderekker) dekkende en bredde på 10-12 m i en lengde på ca 50 m. Gjennomsnittlig boreddybde for brønner og elektroder antas 15 m, mot 12 m i Holmestrand.

Kostnadsoverslag:

• Forundersøkelser og kontrollmålinger	RS	kr 70 000
• Installasjon av brønner / elektroder		kr 850 000
• Innstallasjon av blandekar, inkl. ford.ledninger til brønnene	RS	kr 100 000
• Installasjon av transformator/likeretter, inkl. fordelingsanlegg	RS	kr 300 000
• Drift / tilsyn, 100 dagsverk à kr		kr 50 000
• Forbruk likestrøm, 130 Mwh à kr		kr 80 000
• Forbruk kaliumklorid, 200 kN à kr 250		kr 50 000
• Inngjerding, 180 m gjerde à kr		kr 20 000
• Prosjektering	RS	kr 80 000
Sum		kr 1600.000

Kostnadsoverslaget må betraktes som orienterende, da det knytter seg betydelige usikkerheter til flere av postene.

Samlede kostnader inkl. for- og kontrollundersøkelser ved referanseprosjektet i Holmestrand i 1965 er oppgitt å være ca kr 280 000. Iflg. Statistisk Sentralbyrå er både bygge- og konsumprisindeksen ca 6,5 ganger høyere idag enn i 1965, og med denne faktor svarer prisen den gang til kr 1820.000 etter dagens prisnivå.

Tatt i betraktning forbedrede boremetoder og mindre arbeidskrevende metoder, f. eks. ved sammenkobling av elektrodene (kabler i stedet for armeringsstål) synes kostnadsoverslaget å være relativt troverdig.

3.7 Vurdering av metoden

For et prosjekt hvor utgravningsstabiliteten i utgangspunktet er tilfredsstillende, men hvor det likevel er ønskelig å ha et beredskapstiltak klart under utgraving, synes stabilisering med elektrolyse å være et noe for omfattende og kostbart tiltak, hvis kostnadene skal bæres av dette prosjektet alene. Metoden har imidlertid stor forskningsmessig interesse, og hvis det kunne stilles i utsikt forskningsmidler til dekning av en del av kostnadene, ville dette prosjektet være meget velegnet til å utprøve og videreutvikle denne stabiliseringsmetoden.

Da metoden er noe tidkrevende, må det forutsettes at installeringsarbeidet settes igang snarest mulig etter at 1. utgravingstrinn er gjennomført. Dette betyr at det må være kort leveringstid på alt utstyr som skal brukes. Videre må det for evt. bruk av metoden sjekkes at prosessen ikke vil skade eller forstyrre eksisterende, nærliggende anlegg i grunnen, som f. eks. telekabler, strømkabler, vannledninger m.m.

4. Andre metoder

4.1 Motfylling

Denne metoden går ut på å legge en fylling i for eksempel 2 m høyde på bunnplata etter hvert som denne stopes. Dette kan gjøres ved å legge en del av gravemassen fra den seksjonsvise utgravingen over på sist stoppte bunnplate-seksjon og bare kjøre bort omtrent halvparten av massen.

Dette er et effektivt og isolert sett det enkleste og billigste tiltak for å oppnå en viss stabilitetsbedring. Imidlertid vil motfyllingen være til sterkt hinder for rasjonell bygging av bygg E, med mye masseflytting fram og tilbake under oppforingen av nederste etasje, og senere fjerning av motfyllingsmassen når bygget har nådd tilstrekkelig høyde. Ved kostnadsmessig vurdering av motfyllingstiltaket, må merkostnadene ved urasjonell bygging av de nederste etasjene i bygg E tas i betraktning.

4.2 Forbelastning av bunnplata med stag til fjell

Dette tiltaket går ut på å bore forankringsstag gjennom bunnplata og ned i fjell. Ved å forspenne disse oppnås en stabiliserende virkning tilsvarende motfylling på bunnplata. For eksempel vil 4 forankringsstag à 600 kN i hver grunnrager kunne gi en belastning tilsvarende 30 kN/m².

Dette tiltaket kan forberedes ved å lage utsparing for stag ved stoping av bunnplata og evt. lokal forsterkning ved forankringspunktene.

Referanser, dyp-pumping:

- (1) Sowers, G. F. (1979): Introductory Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering, Fourth Edition, MacMillan Publishing Co, Inc.
- (2) Lyche, E. (1996): Stabilisering ved bruk av Wellpoint. NIF Grunnforsterkning - Økonomi og metoder. 8-10 januar, 1996. NTNU.

Referanser, elektrolyse:

- (3) P.A.Madshus og N. Janbu: Forsterkning av kvikkleire ved elektrolyse NGM Lindköping, 1984
- (4) Sigurd Langerød: Teoretiske og eksperimentelle undersøkelser i tilknytning til elektrolytisk stabilisering av leire. Det store eksamensarbeid Inst. for Geoteknikk, NTH, 1968.

Arkivreferanser:

Fagområde: Geoteknikk

Stikkord: Utgraving - stabilitet - kvikkleire

Land/Fylke: Sor-Trondelag

Kartblad: 1621 IV

Kommune: Trondheim

UTM koordinater, Sone: 32V

Sted: Gløshaugen

Øst: 5703 Nord: 70329

Distribusjon:

☒ Begrenset (Spesifisert av oppdragsgiver)

☐ Intern

☐ Fri

		Dokument		Revisjon 1		Revisjon 2		Revisjon 3	
		Dato	Sign	Dato	Sign	Dato	Sign	Dato	Sign
Forutsetninger	Utarbeidet	14.10.96	ØR						
	Kontrollert	14.10.96	ØA						
Grunnlagsdata	Utarbeidet	14.10.96	ØR						
	Kontrollert	14.10.96	ØA						
Teknisk Innhold	Utarbeidet	14.10.96	ØR						
	Kontrollert	14.10.96	ØA						
Format	Utarbeidet	14.10.96	ØR						
	Kontrollert	14.10.96	ØA						

Dokumentkontroll:

Anmerkninger:

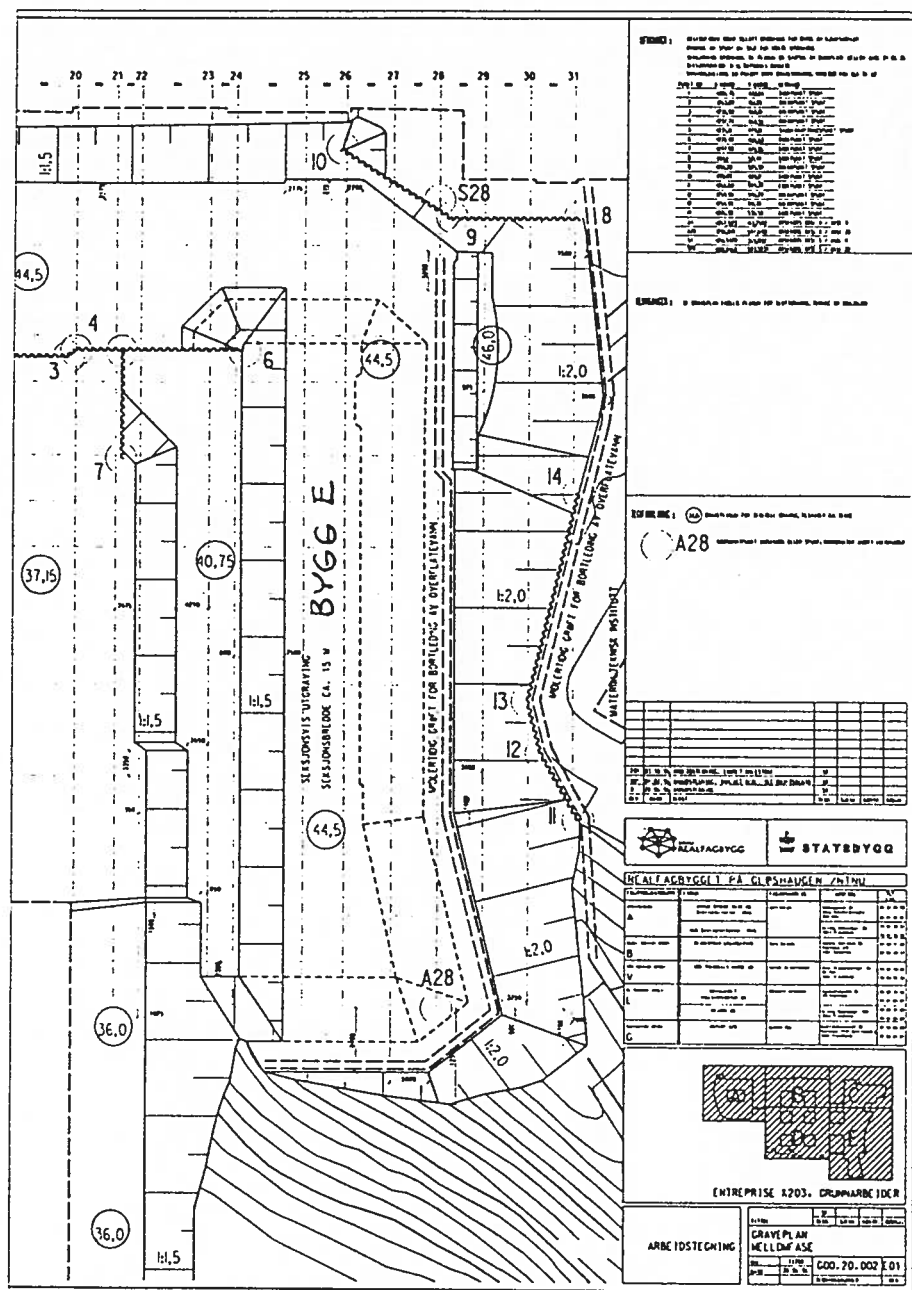
Godkjent for utsendelse
(Seksjonsleder/Avdelingsleder)

Dato

17.10.96

Sign

Kjell Kristiansen



STATSBYGG
GRAVEPLAN ØSTRE DEL AV BYGGEGRUPP.
REALFAGBYGGET PÅ GLØSHAUGEN.

MÅLESTOKK

1:1000

TEGNET

KONTR.
ØR

DATO
14.10.96

REV.

KONTR.

DATO

OPPDRAG NR.

57000

TEGN. NR.

—

REV.

SIDE

FIG. 3-4. Typical installation of a wellpoint system. [Griffin Wellpoint Corp. (8).]

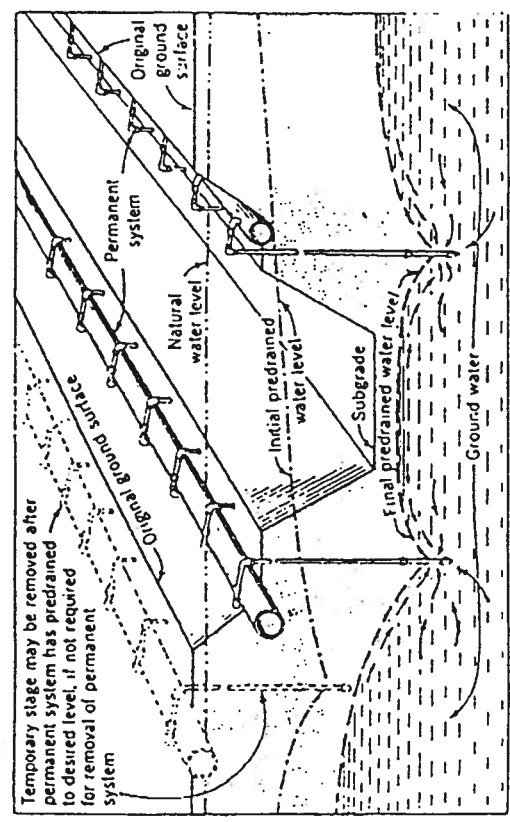


FIG. 16

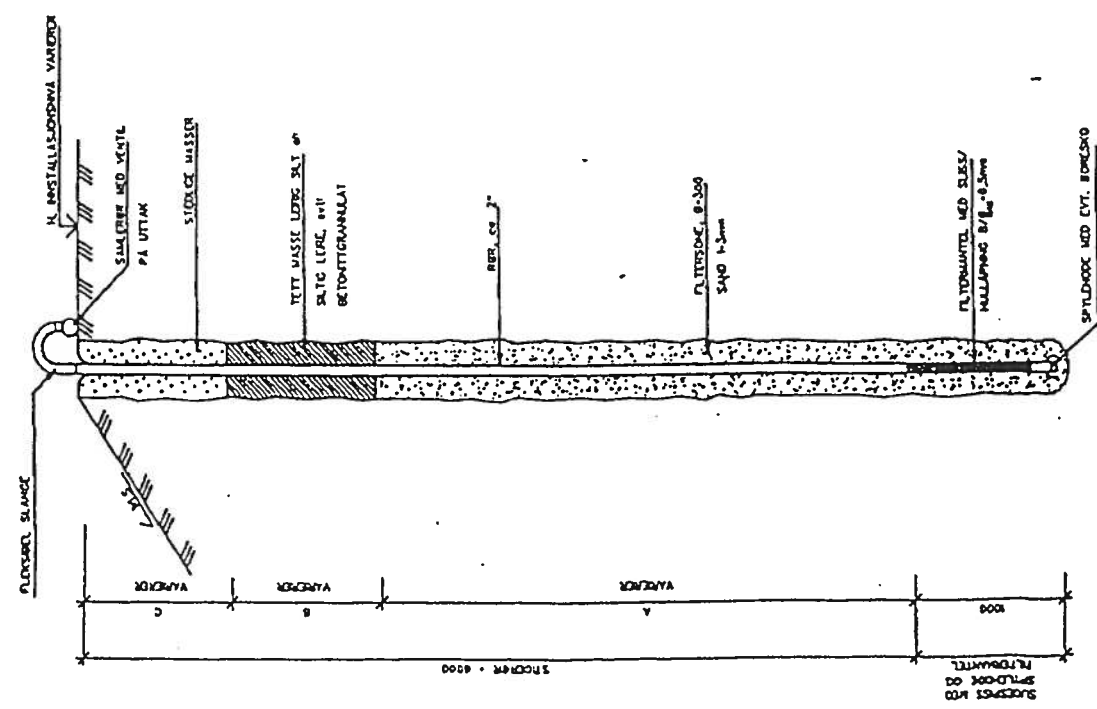
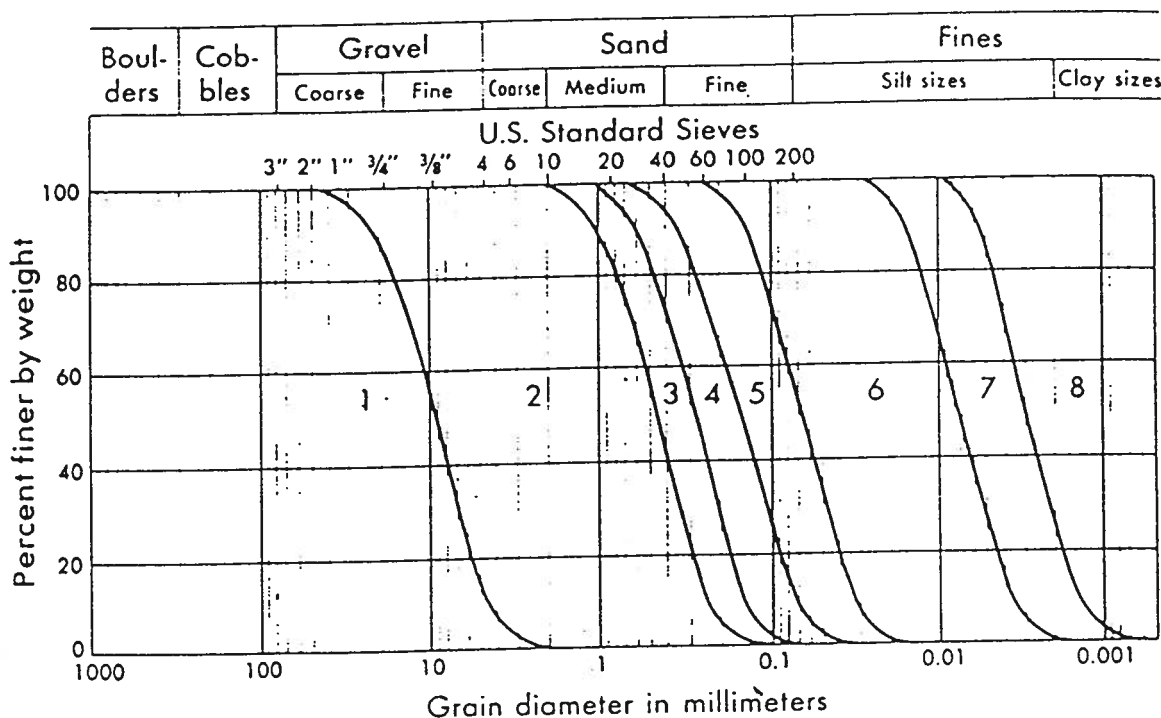


FIG 1 a
PRINSIPDETALJ FOR
INSTALLERT. WELLPOINT

REV.	REVISJONEN GJELDER	SIGN.	DATO
	WELLPOINT, PRINSIPP	MALESTOKK	TEGNET
	STATSBYGG		
	REALFABBYGGET PÅ GLOSØHAUGEN		
		ERST. FOR	
		TEGN. NR.	
		OPFORAG NR.	57000



Note: Obtain best fit in range of sizes from 10 to 30 percent finer

- | | |
|---|---|
| <p>1 Drainage difficult because of large flow. Cutoffs, void filling, blankets helpful.</p> <p>2 Excellent operation of open drains, simple gravity well points. Large flow likely.</p> <p>3 Good operation of open drains, simple well points.</p> <p>4 Good to fair open drains. Sanding of well points and vacuum helpful. Erosion in open drains.</p> | <p>5 Gravity drainage slow and erosion may be serious. Sanding of well points and vacuum needed.</p> <p>6 Gravity drainage impossible except for fissures, sand seams. Vacuum well point usually effective.</p> <p>7 Sanding well points with vacuum sometimes successful. Electro-osmosis will increase drainage.</p> <p>8 Drainage by consolidation, accelerated by sand blankets and vertical sand drains.</p> |
|---|---|

Figure 3.24 Drainage capabilities of soils.

FIG. 2.

Typisk anbudspris for ett vakuum Wellpointanlegg var som følger:

Tilrigging av komplett vakuum sugespissanlegg bestående av:

- 1 stk. vakuum sugepumpe med kapasitet 200 m³/time:
 - 70 stk. sugespisser á 7 m lengde inkl. filter.
 - 150 m 4" samlerør
 - 1 stk. samleikum/container for mottak av vann fra sugepumpe
- RS kr. 25.000,-

Installasjon/montering av:

- 1 stk. vakuum sugepumpe med kapasitet 200 m³/time:
 - 60 stk. sugespisser á 7 m lengde inkl. filter:
 - 150 m 4" samlerør:
 - 1 stk. samleikum/container for mottak av vann fra sugepumpe
- á kr. 10.000,-/stk.
á kr. 750,-/stk
á kr. 100,-/m
á kr. 8000,-/stk.

Drift/leie av:

- 1 stk. vakuum sugepumpe med kapasitet 200 m³/time:
 - 60 stk. sugespisser á 7 m lengde inkl. filter:
 - 150 m 4" samlerør:
 - 1 stk. samleikum/container for mottak av vann fra sugepumpe
- á kr. 500,-/døgn.
á kr. 10,-/døgn.
á kr. 2,-/døgn.
á kr. 100,-/døgn.

I tilriggingsprisen inngår også beredskapsopplegg med nødstrøm og reserve pumpe.

For et slikt anlegg med driftstid ca 90 dager blir totalprisen ca kr. 240.000,- kr. eks. MVA.

Fra de samlede arbeidene med Sentralbygningen/Jernbanestasjonen kan følgende ca-priser beregnes for installasjon og drift av et komplett midlertidig Wellpointanlegg, med driftstid inntil ca 2 - 3 mndr.:

- 1 sugespissanlegg består av 1 vakuum sugepumpe + ca 40 - 60 sugespisser.

Installasjonsdybde	0 - 2 m: Pris pr. installert sugespiss	kr. 700,-
	2 - 3 m:	kr. 1.000,-
	3 - 4 m:	kr. 1.500,-
	4 - 6 m:	kr. 2.000,- - 4.000,-

FIG. 3

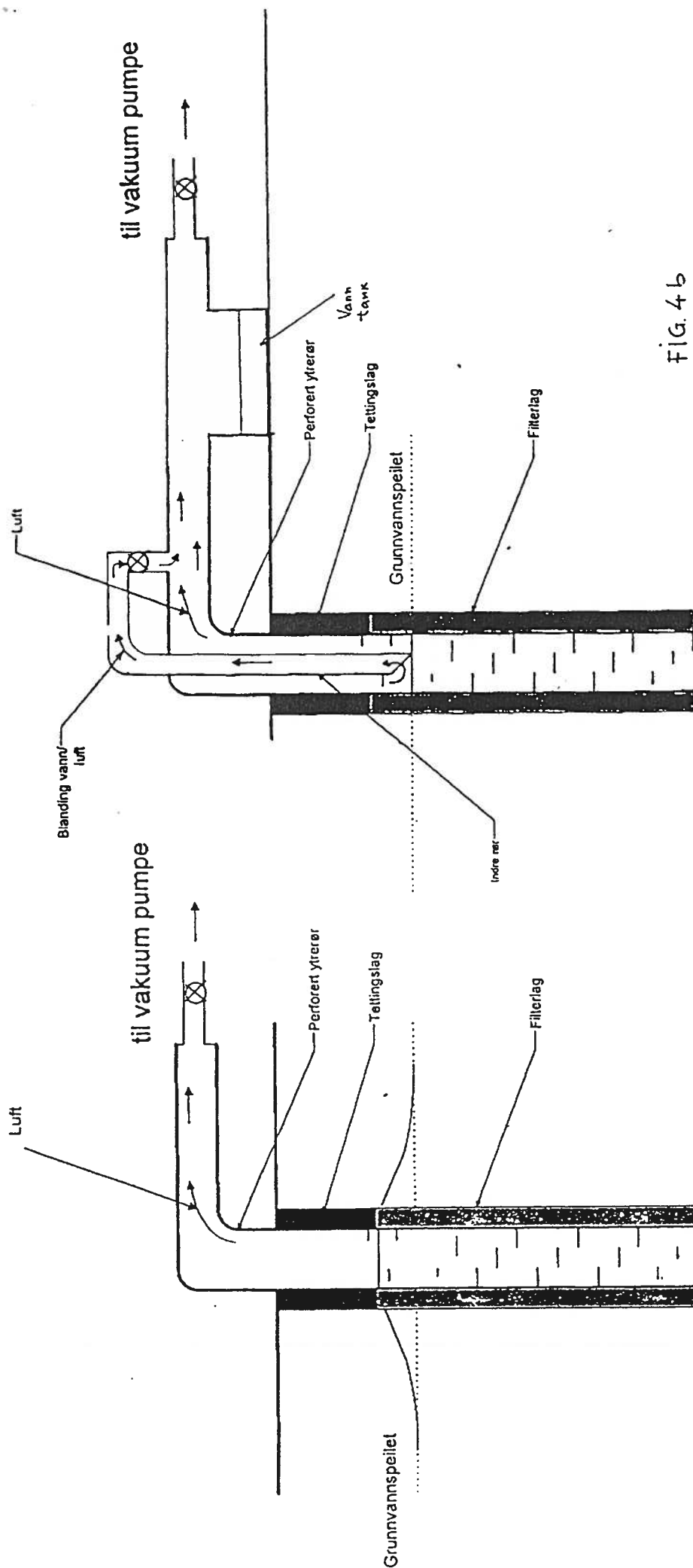

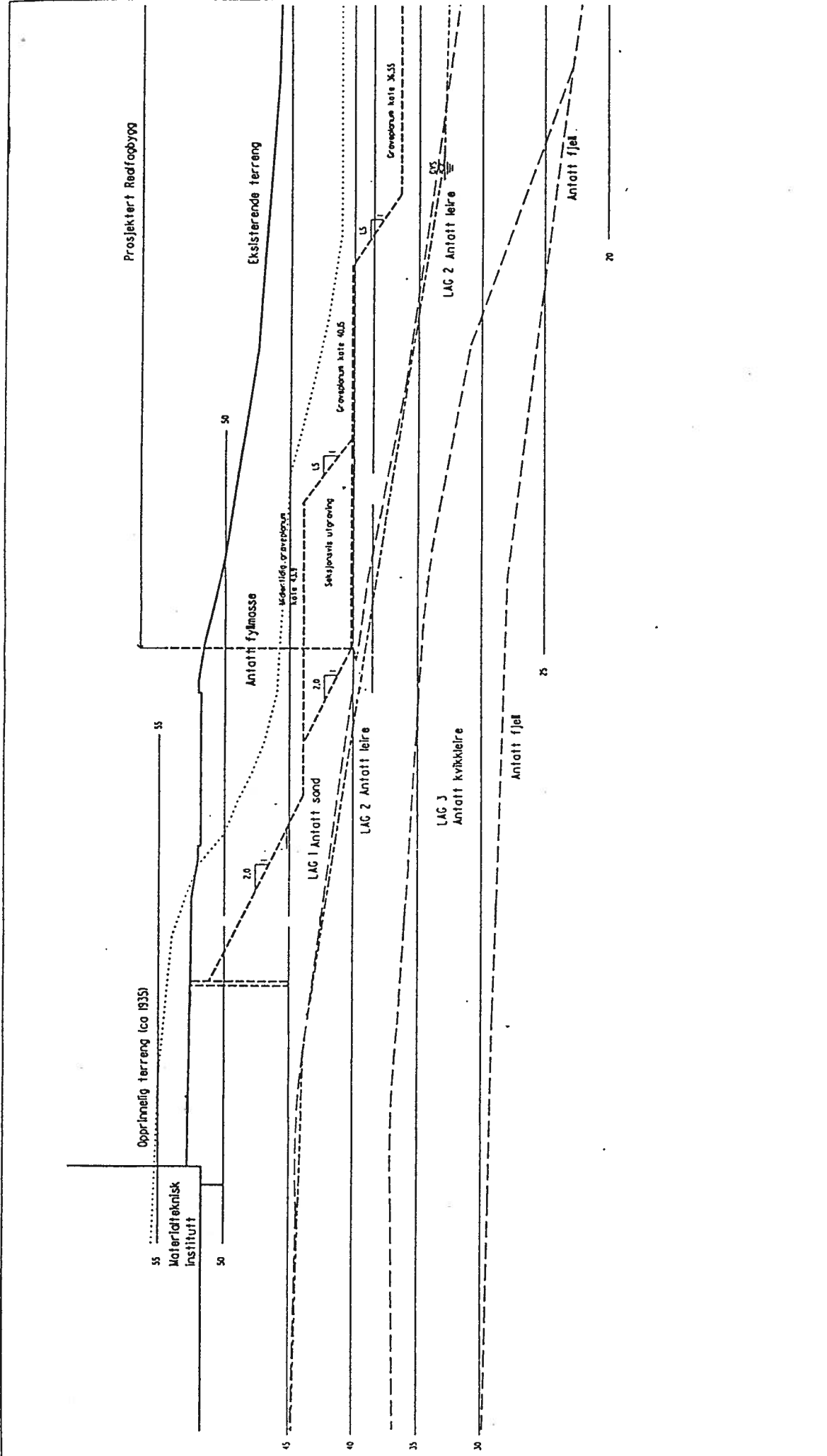


FIG. 4a

REV.	REVISJONEN GJELDER	 NOTEBY NORSK TEKNISK BYGGEKONTROLL AS		OPPDAG NR.	57000
		VAKUUM-EKSTRAKSJON, PRINSIPP STATSBYGG REALFAGBYGGET PÅ GLØSHAUGEN		ERST. FOR —	TEGN. NR. —
				MALESTOKK	SIGN.
				TEGNET	DATO
				KONTA	
				DI	



A		ENDRET UTGRAVING	SR	20.06.96
PROFIL I-I, GRAVEREDEL OG LAGDELING		SR	20.06.96	
STATSBYGG		SR	20.06.96	
REALFAGBYGGET PÅ GLØSHAUGEN		SR	20.06.96	
NOTE BY		57000		

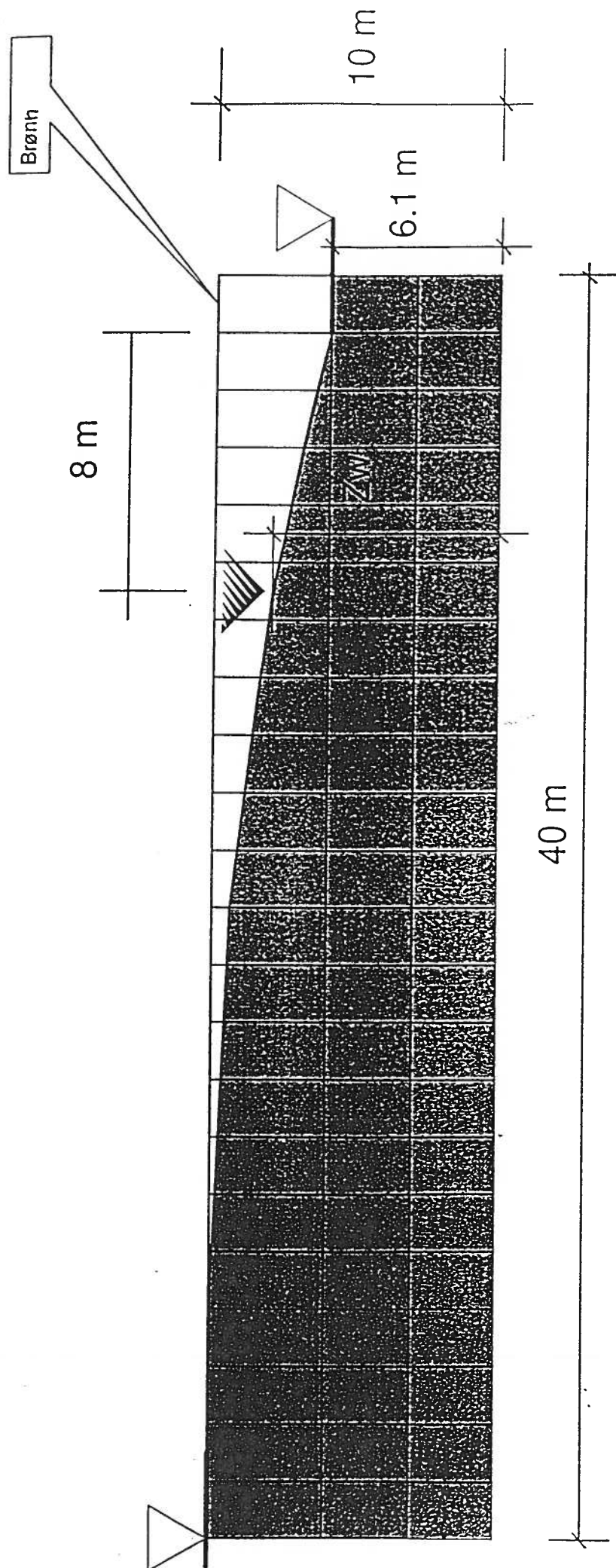


Fig. 6

Transient grunnvannstand 8m fra brønn

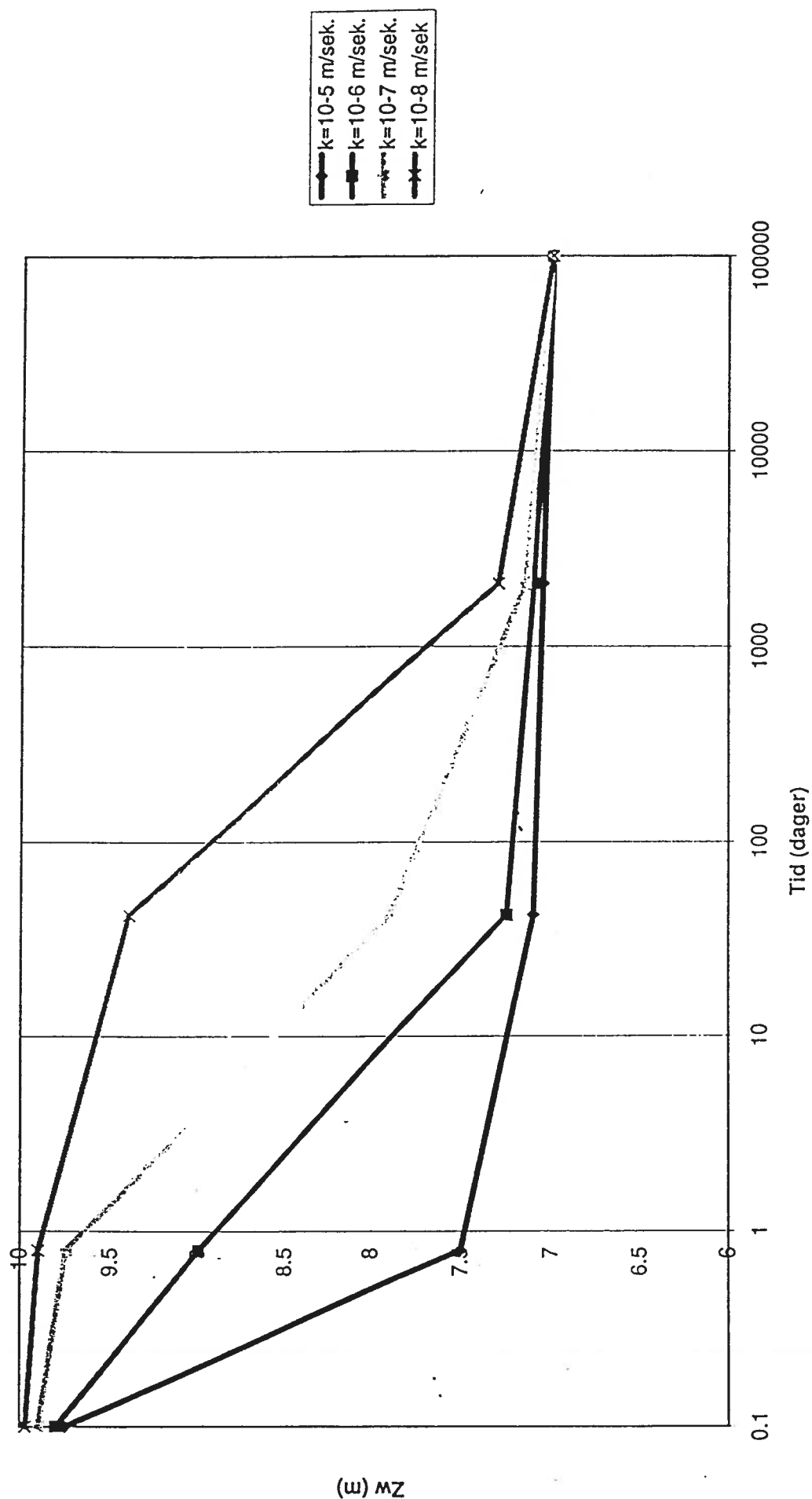


FIG. 7.

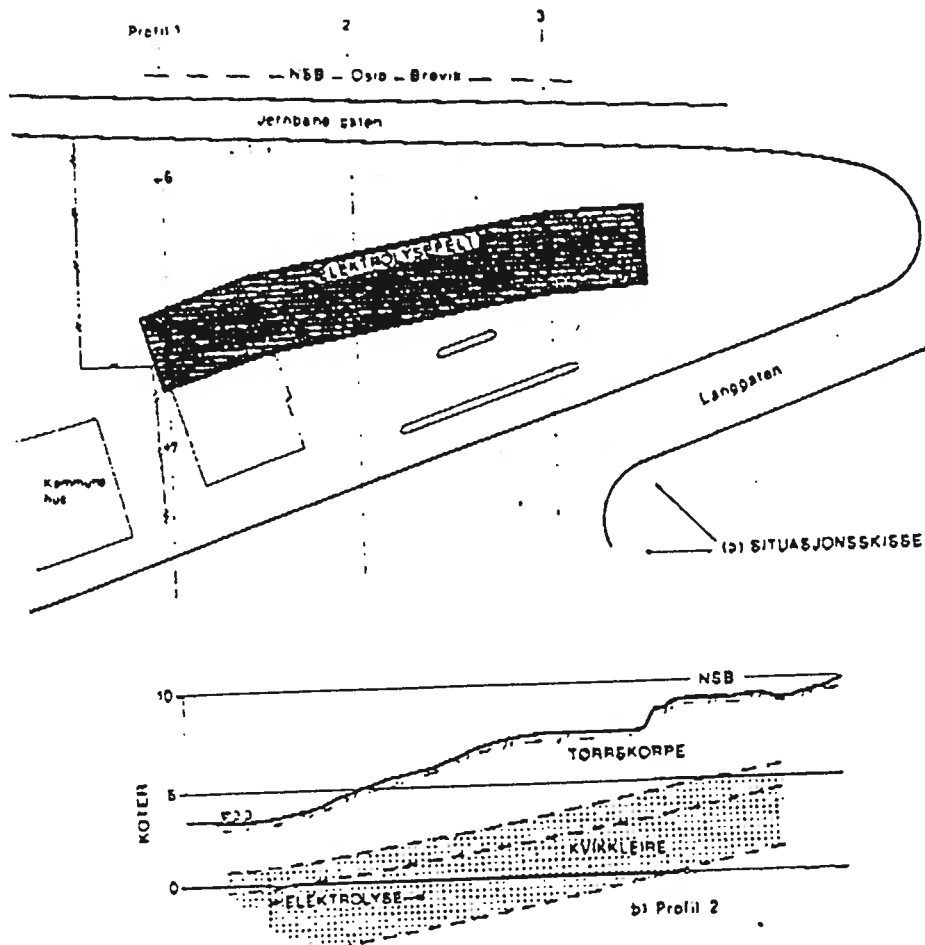


Fig.1. Situasjonsplan og profil.

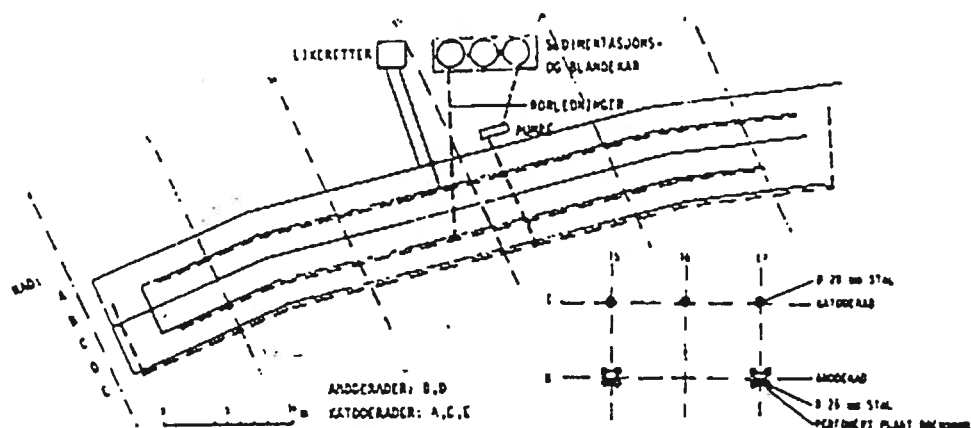


Fig.4. Plan over elektrolyseanlegget.

SITUASJONSPLAN / PLAN ELEKTROLYSEANLEGG HOLMESTRAND	MÅLESTOKK —	TEGNET	REV.
		KONTR. ØR	KONTR.
		DATO 14.10.96.	DATO
STATSBYGG REALFAGBYGGET PÅ GLØSHAUGEN	OPPDRAK NR. 57000	TEGN. NR.	REV.
			SIDE

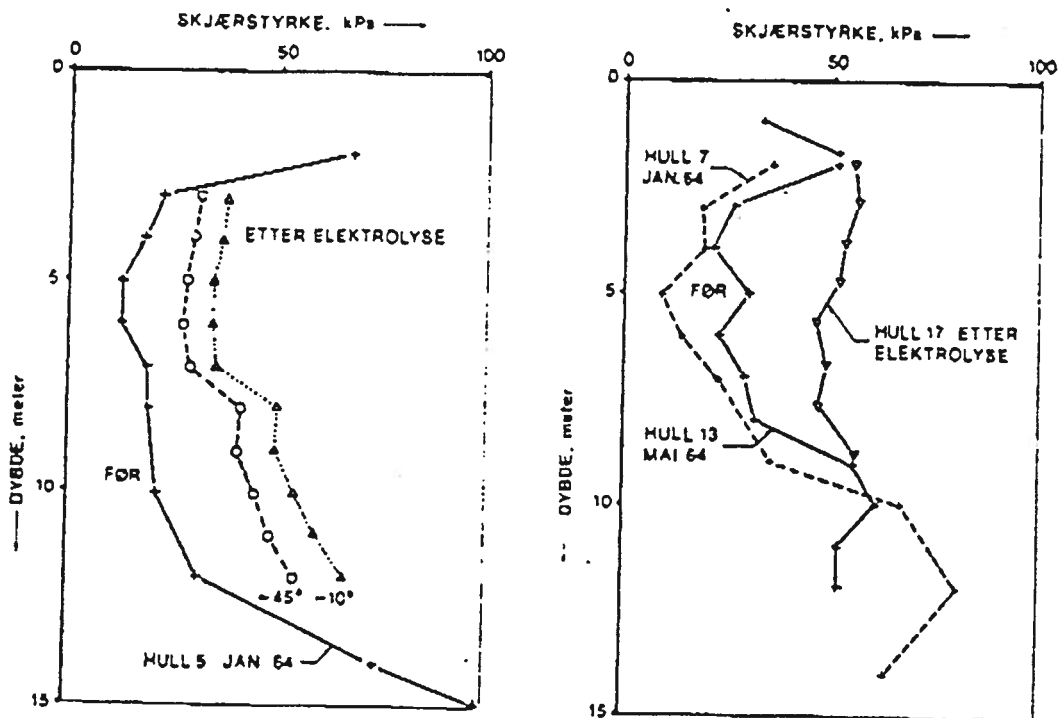



Fig.6. Skjærstyrke før og etter elektrolysen.

VIRKNING AV ELEKTROLYSE HOLMESTRAND. STATSBYGG REALFAGBYGGET PÅ GLØSHAUGEN.	MÅLESTOKK —	TEGNET	REV.
		KONTR. OR.	KONTR.
		DATO	DATO
 NOTEBY NORSK TEKNISK BYGGEKONTROLL A/S	OPPDAG NR. 57000	TEGN. NR. —	REV.
			SIDE

a) Kalibreringskurve

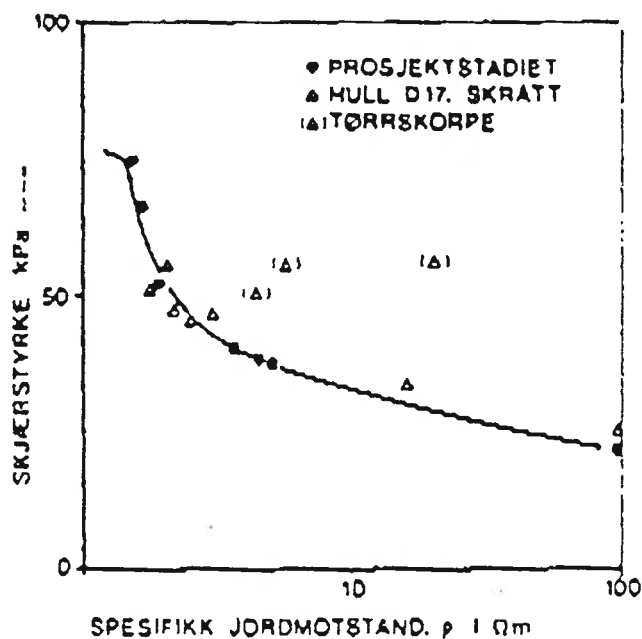


Fig. 5. Kalibreringskurve for s_u

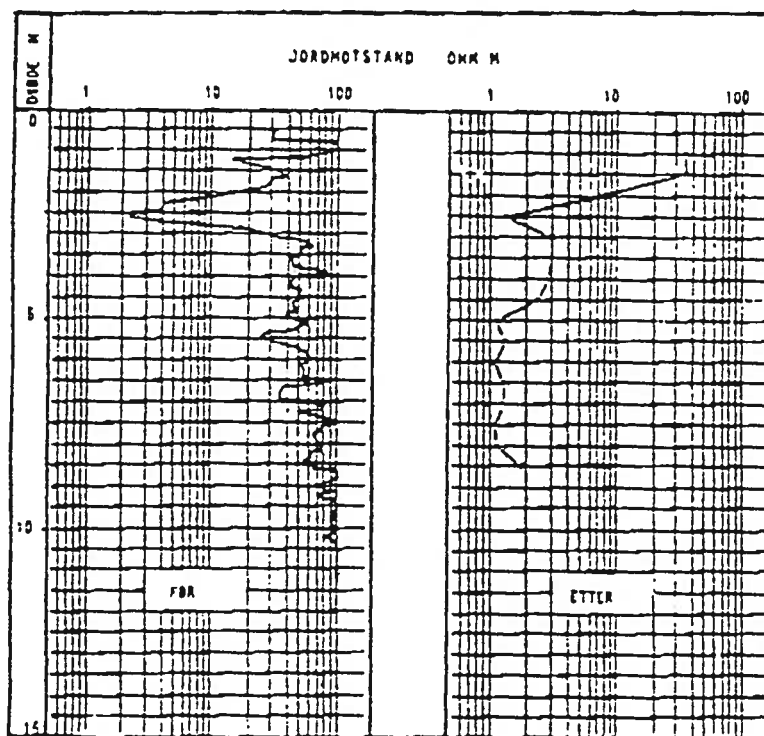


Fig. 3. Jordmotstand før og etter elektrolysen.
Hull 24-S2 og CD 17.

KONTROLLMÅLING ELEKTRISK JORDMOTSTAND
HOLMESTRAND.

STATSBYGG

REALFAGBYGGET PÅ GLØSHAUGEN

MÅLESTOKK

TEGNET

REV.

KONTR.

KONTR.

DATO
14.10.96.

DATO

REV.

SIDE