(GJENÅPNING OMLØPSTUNNELER VED SOLBERGFOSS)

RAPPORT

NORGES
VASSDRAGS- OG ENERGIDIREKTORAT
BIBLIOTEK

HB

NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FORSKNINGSRÅD
KONTOR FOR
SPRENGNINGSTEKNIKK

NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN
STATSKRAFTVERKENE

42
S
EXI

SPRENGNINGSARBEIDENE

VED

OMLØPSTUNNELENE SOLBERGFOSS

Rapport

NORGES
VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN
BIBLIOTEK
HB

Oslo, desember 1970

Siv.ing. Thorleif Hoff
Statskraftverkene

Ing. Sigurd Lunestad
Kontor for Fjellsprengningsteknikk

I N N H O L D:

	Side
Historikk	1
Flomsikring utredes	1
Gjenåpning av omløpstunnelen	2
Planendring	3
Utslaget og problemene forbundet med dette	4
Forhåndsvurderinger	5
Borplanen	7
Dimensjoneringsgrunnlaget for salveberegningen	7
Prøvesprengninger	8
Kommentarer til beregningsgrunnlaget	9
Utslagssalvene	11
Måleresultatene for utslagssalvene	12
Trykkmalingene	13
Vibrasjonsmalingene	14
Kommentar til trykkmalingene	17
Kommentar til vibrasjonsmalingene	18
Slutning	19

Historikk.

Gjennom tidene har området ved Øyeren vært utsatt for til dels store skadeflommer. "Storofsen" i 1789 var en naturkatastrofe for Østlands-området og topper naturlig nok listen over historisk kjente flommer. (Fig. 1).

I 1966 fikk man i Øyeren for første gang på 32 år en storflom med betydelige skader. De flomtruede områdene ligger særlig ved nordenden mellom utløpene av Glomma og Nitelva. Skadene beløp seg til ca. 5 millioner kroner.

Året etter fikk man en ny og enda større flom i området. Ved Lillestrøm og Fet ble ca. 15.000 da oversvømmet og omkring 1200 hus ble påført vannskader foruten at en rekke bedrifter ble skadelidende, kommunikasjoner stengt osv. Skadene kom denne gang opp i ca. 36 millioner kroner.

Flomsikring utredes.

Disse to skadeflommene førte til en regjeringsoppnevnt komite som skulle utrede mulighetene for flomsikring. Særlig skulle en legge vekt på å undersøke løsninger som kunne gi en rask bedring av forholdene.

Statskraftverkene ble engasjert i planleggingen, og etter omfattende beregninger kunne man konstatere at det var mulig å senke flomtoppene i Øyeren ca. 40 cm under forhold som i 1967 ved å ta i bruk de to gamle omløpstunnelene ved Mørkfoss-Solbergfoss kraftstasjon. Tunnelenes samlede avledningsevne ble beregnet til 700 m3/s. Solbergfoss ligger ca. 5 km nedenfor utløpet av Øyeren. Denne strekningen har enkelte trange partier - og hvis man ser en gjenåpning av omløpstunnelene i samband med en utvidelse av disse, kan flomtoppene i Øyeren reduseres en god del mer.

Hva disse 40 cm ville betydd i reduserte skader, er vanskelig å si, men det er hevdet at bl.a. vel 400 hus ville unngått flommen. Under enhver omstendighet var gjenåpning av omløpstunnelene det eneste prosjekt som kunne la seg gjennomføre innen påfølgende års vårflom. I desember 1967 fikk derfor Flomsikringskomiteen tillatelse fra Industridepartementet til å sette arbeidet i gang. Vassdragsdirektoratet ved Forbygningsavdelingen ble tillagt gjennomføringen og fikk en bevilgning på 2.5 millioner kroner til prosjektet.

Gjenåpning av omløpstunnelene.

Mørkfoss - Solbergfoss kraftverk er bygd i årene 1917 - 24. Dammen er utført som gravitasjonsdam i betong og har en største høyde over elvebunnen på ca. 35 m. Kraftstasjonen er plassert som en forlengelse av dammen langs østre elvebredd. Ved motsatt bredd er sprengt to omløpstunneler hver ca. 200 m og med 50 m2 tverrsnitt. Etter anleggstiden ble tunnelene stengt med betongpropper. (Fig. 2).

Forbygningsavdelingen anmodet Statskraftverkenes anleggskontor om å forestå arbeidet. Planene gikk ut på å sprenge to nye lukesjakter med tverrsnitt 15 m2 og høyde ca. 25 m - og montere nye luker hver med lysåpning på 33 m2. Videre måtte de gamle lukene fjernes (opptrekksanordningene var forlengst borte) og som sluttfase kom sprengning av betongproppene.

Programmet var hardt for den korte tiden som sto til rådighet, (snautt 5 måneder) spesielt fordi det knyttet seg en del usikkerhet til arbeidet med å tørrlegge tunnelene samt at man manglet oversikt over forholdene oppstrøms betongproppene.

Da arbeidet måtte settes i gang straks, var det ikke praktisk å drive dette i Statskraftverkenes egen regi - spesielt fordi A/S Høyer-Ellefsen var i virksomhet på stedet med reparasjonsarbeid ved kraftverket. Firmaet påtok seg oppdraget, og fra midten av januar 1968 var det full drift med 3 skift.

Uforutsette vansker støtte man i grunnen ikke på, men enkelte av arbeidsoperasjonene var adskillig mer tidkrevende enn forutsatt. Dette medførte stadige forseringer på andre områder - og presset på arbeidere og ledelse var stort. 26. mars var man stort sett å jour med tempoplanen. Den ene platekassen var klar til innstøping, og den andre ferdig montert. Videre var den ytre av de gamle lukene fjernet. Denne morgenen gikk det et større ras ved elvekanten. Det var en del av en fjellhammer over innløpet til omløpstunnelene som ramlet ut. Raset var 30 - 35 m høyt og av et slikt omfang at det var urealistisk å tenke på å fjerne massene, spesielt fordi dette ble undervannsarbeide og hammeren fortsatt var rasfarlig.

Når først galt skulle skje, kunne ikke raset kommet på et mer beleilig tidspunkt. Et ras etter sprengning av betongproppene ville fått store konsekvenser. Som forholdene nå var, hadde man muligheter for å vurdere alternative løsninger. Statskraftverkenes plankontor tok seg straks av prosjekteringen - og den beste løsningen syntes å være et nytt inntak mellom det gamle og dammen.

Mulighetene for å ta omløpstunnelene i bruk våren 1968 var selvsagt ikke lenger tilstede, og arbeidsinnsatsen ble derfor sterkt redusert. Av det utførte arbeide kom alt fullt ut til nytte i de nye planene (med unntak av arbeidet med å fjerne den ene gamle luka).

Planendring.

Det nye prosjektet bød på vesentlige fordeler fremfor det opprinnelige. For det første ville man få full kontroll over fjellet i innløpet og dessuten ville det være relativt enkelt å få istand et arrangement for varegrinder - noe som er av betydning for sikkerheten ved drift av tunnelene.

For å sikre en riktig utforming av inntaket og sjakta ned til tunnelene ble løsningen prøvd i en modell ved Vassdrags- og havnelaboratoriet ved NTH. Forøvrig ble det foretatt seismiske og geologiske undersøkelser.

Etter de nye planene skulle det nå sprenges en sjakt med tverrsnitt ca. 100 m2 ned til tunnelsalenes nivå og med en konet innføring til ytre tunnel. Indre tunnel skulle forbindes med ytre ved en 50 m2 tverrtunnel. Selve inntaket hadde vifteform. For at inntaket skulle få tilstrekkelig kapasitet, viste modellforsøket at det ble nødvendig å fjerne en del masse under vann fra et nes mellom det gamle og det nye inntaket. I alt dreide det seg om vel 500 m3 fjell fra neset.

Da det nye inntaket skulle sprenges i umiddelbar nærhet av dammen, ble det etter samråd med Vassdragsdirektoratet ved Vassdragstilsynet vedtatt at sprengningsarbeidene skulle følges nøye opp. Denne kontrollen ble overlatt Kontor for Fjellsprengningsteknikk, (K.F.F.).

Man sto først overfor oppgaven å fastsette ladningsmengder for sprengning av sjakta og neset. P.g.a. vansker med å lense tunnelene etter at vårflommen 1968 satte inn, lot man disse fylles med vann og satset i første omgang på å drive sjakta som synk. Restriksjonene lå i tillatte rystelser på dammen. (Kraftstasjonen lå i så stor avstand at en kunne se bort fra denne - noe en kontrollmåling ogsa bekreftet). Når det gjaldt dammens kvalitet og homogenitet hadde man lite å holde seg til. Det var kjent at en del større injeksjonsarbeider var foretatt for å stoppe lekkasjer gjennom dammen. Det samme gjaldt fjellet ved høgre landfeste.

Delvis med støtte i de erfaringer K.F.F. hadde fra sprengninger nær andre byggverk valgte man å holde rystelsene under ca. 200 µm for den mest utsatte del av dammen. Dette ga stor sikkerhet bl.a. mot overladning i enkelte hull. På grunnlag av en rekke prøvesprengninger kom man fram til en ladningsmengde på 2 kg. pr. tennerintervall for arbeidet med sjakta - og 3 kg pr. intervall for sprengningen ved neset under forutsetning av godt fjell.

Den høyere verdi for arbeidet ved neset berodde på den større avstand fra dammen. Senere viste deg seg imidlertid at fjellet her var svært oppsprukket og på grunn av faren for detonering av sprengstoff fritt i vann, ble grensen satt til 1 kg pr. intervall. Disse verdiene var selvsagt for lave for et såvidt stort sprengningsarbeide til at dette kunne drives rasjonelt. Men man hadde på forhånd fastsatt kriteriene og fikk derfor ta konsekvensen når det gjaldt gjennomføringen av arbeidet.

Utslaget og problemene forbundet med dette.

1. mars 1969 var man endelig kommet så langt at arbeidet med utslaget kunne ta til. Forut for dette hadde det imidlertid vært arbeidet meget med problemene. Man var på et tidlig tidspunkt blitt enige om at utslaget skulle skje med vannfylt tunnel og da fortrinnsvis med overhøyde på vannspeilet i inntaket.

Problemstillingen man sto overfor kan skisseres slik (kfr. fig. 5 og 6).

1. Utslaget lå i bassenget oppstrøms dammen. Avstanden fra dammen i det punkt hvor denne slutter i fjellet i samme dybde som bunnen av proppen (kote 90.5) og til ytre begrensningslinjer av utslaget var henholdsvis 7 og 26 m. Høyden på proppen var c a. 13 m hvorav 11.5 m under vann. Fjellmassen som skulle fjernes var vel 1400 m3.
2. Umiddelbart inn til proppen lå varegrindkonstruksjonen (avstanden i bunnen var bare vel 1 m). Samlet grindareal er 120 m2.
3. Det måtte også tas hensyn til sprengvirkningen på valsene i dammen og lukene i omløpstunnelene.

Ved en sprengning av denne art er det tre årsaker til skader som må vurderes, nemlig steinsprut fra salven, rystelser gjennom grunnen og trykkbølge i vannet.

Steinsprut ville bare få innvirkning på varegrindkonstruksjonen, da utslagsretningen var slik at hovedspruten ville komme ut over vannet og følgelig ikke medføre noen fare for dammen og valsene. Varegrindene skulle beskyttes med et lag plank, påfyllt singel. (Dette medførte at rommet mellom utslagsproppen og de skrå grindene måtte fylles helt med singel).

Rystelser gjennom grunnen ville innvirke på alle berørte konstruksjoner. Men ut fra de resultater som forelå fra prøvesprengningene hittil, ville disse bare få betydning for selve damkroppen. Målingene viste at dammen hadde en sannsynlig egenfrekvens på ca. 13 Hz.

Antar man at betongens bruddforlengelse er 0.1 mm pr. m og seismisk hastighet ca. 4000 m/s svarer dette til en svingehastighet ved brudd på 400 mm/s. En tillatt svingehastighet på 50 mm/s svarer til et utsving på 600 µm ved 13 Hz. Dette ble så angitt som grense for rystelsene og var større eller lik de forventede amplituder. Beregningsmåten gjelder for plan bølgeutbredelse, men vil tilnærmet være riktig også i dette tilfelle.

Preliminære beregninger viste at trykkstigning i vannet p.g.a. sprengningen ikke ville overbelaste valser og luker. Trykkstigningen måtte derfor begrenses av tillatte ekstrapakjenninger på dammen. Vassdragstilsynet ble bedt om å vurdere disse. Konklusjonen derfra var at det kunne tillates en statisk tilleggslast på 10 t/m2 ved vannstand kote 102.5 (HRV) økende til 15 t/m2 ved vannstand kote 100.5. Forventet vannstand på det tidspunkt utslaget skulle foretas var kote ca. 102.0.

Ut fra anleggsteknisk synspunkt satte man følgende krav til utslaget:

1. Om mulig skulle den sprenges i en salve.
2. Best mulig fragmentering av hensyn til vekkskraping av massene.
3. Få fjernet massene lengst mulig vekk fra grindene.

Disse kravene kunne best oppfylles ved en "liggersalve".
En rekke praktiske problemer som ville knytte seg til gjennomføringen førte imidlertid til at denne planen ble forlatt til fordel for "stendersalve" med 2½" hull. Ulempene med liggersalven lå først og fremst i vanskelighetene i fall salven måtte deles, dertil kom at salven måtte lades før varegrindene kunne dekkes - og i den tiden dekkingen foregikk kunne vannlekkasjer føre til fullstendig nedising av stuffen og dermed fare for ødelegging av tennerledninger og koplinger. Kravene om god fragmentering og ensrettet utslag ble derfor gitt liten vekt, og istedet satset man forundersøkelsene på mulighetene for å ta utslaget i en salve.

Forhåndsvurderinger.

En rekke faktorer ble gjenstand for nærmere drøftinger og forsøk. Det var særlig 4 punkter som hadde betydning for resultatet og disse skal omtales nærmere:

1. Spesialtennere med flere nummer enn det som vanligvis føres i handelen.

   Man valgte her svenske tennere - type SOD - og fikk da 41 nummer til

disposisjon. Av disse var 30 stk. millisek. og 11 stk. halvsek.-tennere.

Foruten å bygge på resultatene fra tidligere prøvesprengninger, ble det foretatt to større prøver med SOD-tennere.
Det var viktig å få målt virkningen av disse tennere.
Spesielt fordi tidsintervallet mellom de forskjellige nummerne var kortere enn for tennere som forøvrig hadde vært brukt.

2. Det er antatt at et byggverk kan tåle adskillig større påkjenninger ved en enkelt sprengning enn ved gjentatte sprengninger.

   Det er foran pekt på hvordan grensen for tillatte rystelser er øket fra 200 til 600 µm.

3. Redusering av fjellmassen til et minimum ved "avskalling".

   Man var allerede ved igangsettingen av sprengningsarbeidene for inntakssjakta klar over at massene i utslaget måtte reduseres så mye som mulig. Men avdekking av ugunstige slepper medførte at man måtte unnlate å strosse så langt ut mot elva som opprinnelig planlagt. Av stabilitetshensyn ble det endog nødvendig å sikre søndre vederlag med en betongutstøping. Fjellveggen var på elvesiden meget ujevn og prøvesprengningene ble delvis brukt til å avjevne denne. Bunnbredden var imidlertid over store deler av veggen hele 8 m - og denne var det ønskelig å redusere. En nøyaktig kartlegging av fjellstabben ble foretatt ved sonderboring.
   Disse førte til oppdagelsen av vannfylte slepper på opp til 0.5 m bredde inne i stabben. Under slike forhold var det selvsagt ikke tilrådelig å strosse videre for å redusere trykkelsen.
   Man undersøkte også mulighetene som lå i avskalling på toppen av stabben ved senking av vannstanden i Øyeren, men dette ville medføre store erstatninger p.g.a. tapt kraftproduksjon. Det var følgelig ikke mulig å fa redusert de 1400 m3 fjellstabben inneholdt.

4. Bruk av trykkreduserende midler.
   Det har vært en anerkjent metode å sikre vitale anleggsdeler mot trykksjokk fra sprengninger under vann v.hj.a. luftgardiner.
   Imidlertid later det til at en luftgardin under visse omstendigheter kan forverre forholdene. Dette kan skyldes at impulsens varighet forlenges og derved oppstår fare for overlagring fra flere tennerintervaller. Problemet måtte derfor vurderes i samband med den endelige sprengningsplanen.

Borplanen.

Planlegging av utslaget var som det fremgår av foranstående knyttet til påkjenningen på dammen. Tillatte grenser her var for den mest utsatte delen et utsving fra rystelsene på 600μm og en trykkøkning i vannet på vel 11 t/m2.

For borplanen ble det utarbeidet følgende retningslinjer:

Den delen som lå nærmest dammen og utgjorde ca. 1/4 av utslaget skulle bores slik at maksimal hullavstnad ble 1.3 m og forsetning 1.0 m i bunnen - dvs. på kote 91.0. Dette innebar at hullene må bores i vifteform ut mot elvekanten. For resten av utslaget var maksimal hullavstand 1.7 m og forsetning 1.5 m. Avstanden mot varegrindene måtte være noe større enn forsetningen. Den ble valgt 2 - 2.5 m. Man var klar over at dette kunne medføre dårlig fragmentering av massene her og derved vansker for vekkskraping av massene. Men sikkerhet mot utslag i retning av grindene veide tyngre. Videre skulle det bores en horisontal søm med hullavstand 15 cm på kote 90.5 og en vertikal søm med horisontale hull i avstand 15 cm som avslutning mot dammen. Disse sømmene skulle bores med borserie 11 til 6 m dyp og være uladet.

Selve hullene måtte kartlegges nøyaktig med hensyn til skjæring av slepper da sonderboringene som tidligere nevnt hadde vist at sleppene var åpne (og derved vannfylte). Registreringen skjedde ut fra observasjon av borsynkningen.

Dimensjoneringsgrunnlaget for salveberegningen.

Det skal her først gis en oppsummering av grunnlaget for beregningene.

Det er av flere forskere, både teoretisk og eksperimentelt, satt opp beregninger for trykkøking av en ladning som detonerer under vann og hvilke påkjenninger dette gir på bygningskonstruksjoner.

For å beregne en statisk ekvivalentlast, må man kjenne:

1. Ladningens størrelse og plassering.
2. Avstand til den konstruksjon man betrakter.
3. Egenfrekvens av den konstruksjon man betrakter.

Den trykkpulsen man får ved sprengning av en ladning fritt i vann er bestemt ved sitt maksimale trykk (pm) og varighet (τ). Egentlig synker trykket etter en eksponentialkurve, men man kan med god tilnærmelse regne det som

en trekantpuls. Det som er vanskelig å bestemme er hvor stort trykket blir når ladningen er innesluttet eller fordemmet i fjell. Ifølge erfaringer skulle trykket ligge på 10 - 20% av makstrykket ved ladning fritt i vann. Pa samme måte vil impulsen bli redusert ved inneslutning, slik at en ladning som brukes i fjell, gir samme impuls som tiendeparten av denne ladning ved detonasjon fritt i vann. En betingelse for å oppnå dette er at fjellet ikke overlades nevneverdig.

I det foreliggende tilfelle er det ikke vanskelig å bedømme avstanden. Man regner med den korteste avstand mellom dam og sprengningssteder og vil på denne maten regne med noe for stor sikkerhet.

Egenfrekvens eller egensvingetid for en slik dam kan være noe varierende. Ifølge amerikanske oppgaver kan man tilnærmet sette at egenfrekvens(n) vil bli

$$n = \frac{h}{10}$$

hvor høyden på dammen er i fot.

Det er imidlertid vanskelig å vite hvilken høyde man skal regne med. Nyttes for Solbergfoss-dammen maksimal høyde over elvebunnen, skulle man på dette viset få en egenfrekvens på ca. 11.5 hertz, som stemmer bra med målte verdier. Diagram fig. 3 viser sammenhengen mellom maks. trykk (p_m) og en tilsvarende statisk last (p_e) når forholdet mellom belastningstid (τ/T) og egensvingetid er kjent. Etter de forutsetninger som er omtalt foran kan man så beregne påkjenningen på dammen fra hver enkelt ladning. Utfra diagrammene med maks. trykk og impuls får man maks. trykk og pulsvarighet. Forholdet mellom pulstid (belastningstid) og egensvingetid kan således bestemmes og forholdet mellom statisk ekvivalenttrykk og maks. pulstrykk kan avleses av diagram fig. 4a og 4b.

Prøvesprengninger.

For å få sikrere holdepunkt for de forhold som er omtalt foran, ble det foretatt prøvesprengninger, den 24. januar og den 4. februar 1969. Det ble her malt med trykkgivere i vann og med seismometre og aksellerometre på dammen. Noen av maleresultatene er plottet inn på diagram, fig. 9.

Resultatene av disse målingene var:

1. Svært mange av målingene med seismometre og aksellerometre viste en sannsynlig egenfrekvens for hoveddammen på ca. 13 Hz. Egensvingetiden blir med dette ca. 75 ms.

2. Trykket i vannet var som ventet, nemlig et maks. trykk som er 17% av hva samme ladning fritt i vann ville gi. Man fant derfor at de kurvene som var benyttet for prøvesprengningene kunne benyttes ogsa for utslaget. Men man fikk dessverre ikke fullgodt svar på hvordan tenntidene virket inn på hverandre.

3. Impulsen ble ved prøvene noe høyere enn beregnet - antagelig p.g.a. refleksjon fra bunnen og dammen. Dette tok man da ogsa hensyn til ved den videre beregning.

Ladningsmengden som kunne tillates pr. tennernr. i forskjellige avstander fra dammen ble sa bestemt utfra trykkdiagrammet fig. 9.

Man må da anta en pulsvarighet slik at en verdi for maks. trykk kan fastlegges. Utfra de ladningsmengder man på denne maten kommer fram til, kan man sa beregne impuls og pulsvarighet og videre en statisk ekvivalentlast pa dammen. Som tidligere oppgitt var den største statiske tilleggslasten man kunne tillate på dammen ca. 1.1 kp/cm2.

Kommentarer til beregningsgrunnlaget.

Den fremgangsmaten som er beskrevet er selvsagt noe mangelfull.
I det følgende skal kommenteres endel av de usikre momenter man har:

1. Samvirke av flere tennernr.
   De valgte tennere har en intervalltid pa 14 ms (millisek.-serien). Med en svingetid pa dammen pa 75 ms, vil denne na sitt største utsving, som følge av første trykkpuls, ca. 20 msek. senere. Men innen denne tiden kommer det allerede en ny trykkpuls som vil gi dammen enda en puff utover. Virkningen av ladninger med forskjellige tennernr. vil således akkumuleres. Beregning av påkjenningen skulle da ikke vere gjort slik som antydet foran, men det burde regnes ut en gjennomsnitts effektivverdi av trykket som varer i den tiden millisek.-serien varer. (Summen av impulsene fra alle millisek.-tennere dividert med tiden for millisek.-serien). Det trykket man sa kommer fram til ma betraktes som statisk belastning. Noe som ytterligere kompliserer disse forholdene er at ladningen pa samme tennernr. er plassert pa forskjellige steder.

2. Ladning fritt i vann - overladning.
   P.g.a. de vannfyllte sleppene var man redd for at sprengstoff kunne komme til a detonere i vann. Det var ogsa vanskeligheter med a fa helt korrekte profiler, slik at det var en viss fare for a overlade

hullene ut mot vannet. Disse forholdene betinget at det ble vist forsiktighet ved beregningene. Hullene på de første tennerne ut mot vannet ble av den grunn ladet med en ladning som kunne tillates å detonere fritt i vann.

3. Gasstrykk.
Ved detonasjon av et sprengstoff, vil det først bli sendt ut en trykkpuls, primærpuls.
Men p.g.a. mekanismen med den etterfølgende gassutvikling, vil det oppstå flere trykkpulser, sekundærpulser. Disse kan komme opp i betydelige verdier. Det er ikke ved den foretatte beregning tatt hensyn til dette. I det foreliggende tilfelle er det meget vanskelig å kvantisere dette trykket.

4. Da fjellet er meget oppsprukket og under vann – borhullene står også noen steder svært tett - vil det være fare for overslag mellom ladninger med forskjellige tennernr. Den ladning som i virkeligheten detonerer kan derfor være større enn beregnet.

5. Stabiliteten av dammen er beregnet utfra den forutsetning at den maksimale belastningen virker i hele dammens lengde og ikke bare på den lamell som ligger nærmest salven og som får størst trykkpåkjenning. Det er heller ikke tatt hensyn til innspenning, buevirkning o.l.

6. Sprenggasser og utsprengte masser fra de første hullene legger seg som en dekning over resten av salven.

7. Ladningsmengder i forskjellige avstander fra dammen er beregnet utfra et maks. pulstrykk som gir et statisk ekvivalenttrykk på 1 kp/cm2. Dette er riktig for den ladningen man starter med nærmest dammen. Men etterhvert som avstanden øker og ladningen kan gjøres større, vil maks. pulstrykk være konstant, mens impuls på denne måten vil bli mindre. Dvs. at maks. trykk er konstant, men forholdet mellom statisk ekvivalentlast og maks. pulstrykk blir mindre.

8. Refleksjonsforhold mot overflate og bunn.
Det er i beregningene ikke tatt hensyn til refleksjoner fra bunn og overflate. Dette bevirker at trykket blir mindre mot overflaten og større mot bunnen. Forutsetningene for beregningene er også at trykkbølgen faller vinkelrett mot dammen da denne gir størst refleksjonstrykk, mens det i virkeligheten er slik at trykkbølgen forplanter seg langs dammen.

9. Spredning av tenntidene.
Det er under pkt. 1 omtalt hvordan virkningen vil være med millisek.-tennere med korte intervaller.
Annerledes er det med halvsek-tennere. Disse har sådpass stor spredning i tennertiden, at ladningen pr. intervall her kan økes med en faktor på ca. 3.

Forholdene omtalt under pkt. 1 - 4 vil kunne virke i ugunstig retning med tanke på sikkerheten.
Forholdene under pkt. 5 - 7 vil øke sikkerheten i forhold til beregningene.
Pkt. 8 omhandler forhold som kan virke i både positiv og negativ retning.

Utslagssalvene.

Beregningene viste at det ikke var mulig å sprenge proppen i en salve. Man valgte da å ta partiet lengst vekk fra dammen først. Åpningen ble lagt til midtpartiet og det ble tatt med så mange strosshull som sprengstoffbruket tillot. Resultatet ble en salvestørrelse på 330 kg sprengstoff og som omfattet ca. 2/3 av fjellveggen.

For å lette ladearbeidet ble det i bornullene satt ned 1½" svarte stålrør. Disse hadde vanntette skjøter og var plugget i bunnen. Derved unngikk man å plassere ladningene direkte i vann. Fordelen ved dette var mindre fare for overslag mellom ladninger med forskjellige tennerintervall i samme streng, samt detonasjon i "luft" i fall sprengstoffet skulle bli feil plassert og komme i en vannfyllt sleppe.

Fig. 5 viser borplanen og fig. 6 viser et snitt gjennom en typisk hullrad. Det ble brukt gummidynamitt (32%) med varierende diameter på patronene, avstandspropper av "Isopor" og tørr sand til forladning. I hver ladning ble det brukt 2 tennere.

Som tiltak for å beskytte dammen ble det lagt en luftgardin mellom denne og utslaget. Gardinen besto av 2 stk. 4" plastslanger hvor det i hver av disse var boret 1 mm hull i 10 cm avstand og i 2 rader, forskjøvet i forhold til hverandre. Dessuten var isen i området foran dammen fjernet for å unnga refleksjon.

Varegrindene var som tidligere omtalt beskyttet med plank og singel.
For å få en hurtig trykkutjevning på inntakskonstruksjonen ble planken lagt med ca. 1" klaring.

Oppstrøms lukene i omløpstunnelene er det boret en rekke 4" hull som luftavledere under drift. Disse ble nå brukt til å føre luft ned i tunnelene ut fra den tanke at de luftputene som derved dannet seg i tunneltaket, ville virke dempende på trykksjokket mot lukene.

12. mars 1969 gikk den første salven og 850 m3 fjell ble sprengt løs. Se foto fig. 7. Resultatet ble stort sett som ventet. Blokkfallet var riktig nok noe større enn man hadde ønsket. Dette tydet på at borhullene burde vært tettere plassert, men man må her huske på at borplanen var fastlagt for sprengning av veggen i en salve og at det derfor var nødvendig å utnytte hullavstand og forsetning maksimalt. Erfaringen ble dog nyttet ved den siste salven hvor man la inn en rekke ekstra hull.

26. mars ble de resterende 550 m3 fjell sprengt løs. Den fastsatte ladningsmengden var 191 kg. Opplegget var det samme som for den første salven. Sprengningsteknisk var resultatet vellykket.

Det synes riktig å nevne at blant de mange som var involvert i sprengningsopplegget spilte Norsk Sprængstofindustri A/S som konsulent for entreprenøren en betydelig rolle.

Måleresultatene fra utslagssalvene.

De målingene som ble utført ved de to utslagssalgene og resultatene av disse, skal omtales nærmere - kfr. fig. 5.

Følgende målinger ble utført:

1. Trykk i vann ble målt pa 2 steder.
2. Utsving pa dammen ble målt i 5 punkter.
3. Akselerasjon ble målt i 2 punkter på dammen.

Instrumentoppkoblingen er vist i fig. 8 a - c.

Man har på oscillogrammene avlest de best avlesbare trykkpulser. Det er avlest maks. trykk og varighet, og impuls er beregnet. Ved avlesningene er det brukt endel skjønn. Det kan noen ganger være tvil om hvilke tennere de forskjellige trykkpulser skriver seg fra. Det er derfor i de tilfeller hvor det er flere ladninger på samme tennernummer og dette tilsynelatende har gitt flere pulser, beregnet impuls som summen fra disse pulser.
På samme måten er det gjort der hvor flere tennernummer tilsynelatende har summert seg. Det er da regnet med summen av ladningene. Avlesningene blir selvsagt noe usikre både p.g.a. forholdene omtalt foran og p.g.a. reflekssjonsforhold, som vil gjøre at det kan være vanskelig å skille ut de rette trykkpulser.

Det som er sagt foran gjelder ogsa seismometer-målingene. Her er avlest utsving og frekvens. Svingehastighet er sa beregnet.

Verdiene av trykk- og seismometermålingene er såvidt mulig behandlet statistisk.

Akselerasjonsmålingene er så få at disse har man ikke gjort noe med.

Trykkmålingene.

I tabell I er satt opp verdiene for trykkmålingene fra de to salvene. Her er avlest maks. trykk (p_m) og pulsvarighet (τ). Impuls er så beregnet som trekantpuls:

$$i = p_m \frac{\tau}{2}$$

Det er også tatt med redusert impuls (j):

$$j = i/Q^{1/3}$$

Videre er tatt med ladningsmengde på vedkommende tennernummer (L) og avstand (R). Det er så regnet ut redusert avstand med hensyn på trykk (r_p) og med hensyn på impuls (r_i).

Med hensyn til trykk får man:

$$r_p = R/L^{1/3}$$

Med hensyn til impuls må man sette: $r_i = R/Q^{1/3}$ hvor $Q = 0.1\,L$

Q er ladning fritt i vann.

Resultatene er plottet inn på diagram hvor fig. 9 viser maks. trykk mot redusert avstand, og fig. 10 viser redusert impuls mot redusert avstand.

Antar man at maks. trykk i forhold til avstand følger en formel:

$$p_m = k\left(\frac{Q^{1/3}}{R}\right)^{\alpha} = k \cdot \frac{1}{r^{\alpha}}$$

får man på logaritmisk form:

$$\log p_m = \log k + \alpha \log r$$

dette kan skrives som lign. for en rett linje:

$$y = +\alpha x + b$$

På logaritmisk papir vil forholdet mellom trykk og avstand - ladning bli tilnærmet en rett linje.

De samme forholdene vil det bli også for impuls (egentlig redusert impuls).

Utifra disse forutsetninger er det så regnet ut den linje som passer best til punktene som er plottet inn. Det er her benyttet minste kvadratsum's metode.

Utfra den middellinjen man her er kommet fram til, er avviket i y-retningen (Δy) utmålt. Standard-avvik kan så beregnes:

$$s = \pm \sqrt{\frac{\Sigma (\Delta y)^2}{n+1}}$$

s - standardavvik.

n - antall målinger.

Det er her gjort den antagelse at verdiene fordeler seg etter normalfordeling. Man kan da også beregne en variasjon av middelverdien, ved f. eks. å benytte "Student's" t-fordelingskurver. Variasjon av middel er da:

$$t \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Denne variasjon for t er beregnet ved 95% konfidensintervall og med frihetsgrad $N = n + 1$

Variasjon av middel vil i dette tilfelle forårsake en parallellforskyvning av middellinjen og vil således bety det samme som variasjon av b i ligningen for den rette linje:

$$\Delta b = \pm t \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Man kan således få fram maksimalverdien for trykk (ev. impuls) ved å sette:

$$b_{maks} = b + \Delta b + 2S$$

Dette gjelder da for 95% konfidensintervall og teoretisk skulle 97.5% av alle enkeltmålinger ligge under denne grense.

Vibrasjonsmålinger.

I tabell II og tabell III er satt opp resultatene av vibrasjonsmålingene for de to salvene. Det er avlest utsvingsamplitude (A) med tilhørende frekvens (f). Svingehastighet (v) er beregnet som for sinussvingninger:

$$v = 2\pi A n$$

Videre er tatt med avstand (R) og ladningsmengde (L) pr. intervall.

Da det er vanlig å sette forhold mellom vibrasjoner og ladningsavstand til

$$A = k \cdot \frac{\sqrt{L}}{R}$$

eller

$$A = k \cdot \frac{1}{R/\sqrt{L}} = k \cdot \frac{1}{r}$$

og tilsvarende for svingehastighet, har vi regnet ut som redusert avstand:

$$r = R/\sqrt{L}$$

Det er så beregnet k-verdier for hver avlesning.

Avlesning med tilhørende feil blir forøvrig omtrent som omtalt foran vedrørende trykk.

Det er i den statistiske behandlingen av vibrasjonsdataene tatt med verdier bare for halvsek.-tennere. Dette er gjort p.g.a. at millisek.-tennerne følger så tett på hverandre at det er umulig på oscillogrammene å skille ut hvilke tennere som gir de forskjellige utsving.

I tabellene er som regel tatt med høyeste utsving i hvert målepunkt og anslått hvilke millisek.-tennere dette er. Men det er sannsynlig at utsvingingene som her er angitt, kommer fra ladningene på to eller tre tennernr.

Verdiene av utsvingsamplituder er plottet på diagrammet, fig. 11.
Man vil her kunne se at spredningen i y-retningen er så stor i forhold til utstrekning i x-retningen at det går ikke an å beregne en linje for minste avvik, med et fornuftig resultat. Derfor er k-verdi beregnet for hver avlesning, og disse er så behandlet statistisk. Dette vil si at man godtar at avstanden skal skaleres med roten av ladningen ($r = R/\sqrt{L}$) eller om formel for A skrives på logaritmisk form som ligning for en rett linje

$$y = \alpha x + b$$

og man setter $\alpha = -1$

Det er gjort beregninger for k med hensyn på utsving (k_A) og med hensyn på svingehastighet (k_v). Det er først beregnet aritmetisk middeltall ($\bar{k}$) for hvert målepunkt og måling. Det er også tatt med utregning og standard avvik:

$$S = \pm \sqrt{\frac{\Sigma (k - \bar{k})^2}{n - 1}} = \pm \sqrt{\frac{\Sigma (\Delta k)^2}{n - 1}}$$

og variasjon av middel ($\Delta\bar{k}$):

$$\Delta\bar{k} = t/\sqrt{n}\cdot S$$

Det er på samme måte som for trykkberegninger benyttet "Student's" t-fordeling med 95% konfidens.

Det er så gjort beregninger på om det statistisk er signifikant forskjell mellom middeltallene.

Hvis man bruker Student's t-fordeling har man:

$$U = t\cdot S_p\cdot\sqrt{\frac{n_1+n_2}{n_1\cdot n_2}}$$

dersom $|U| > |\bar{k}_1 - \bar{k}_2|$ er det ingen signifikant forskjell mellom k_1 og k_2 ved det valgte signifikantsnivå.

Dersom $|U| < |\bar{k}_1 - \bar{k}_2|$ vil der være signifikant forskjell, og de to middeltall må betraktes forskjellig.

I ovenstående formel er t som tidligere Student's t, men da denne prøven er ensidig, kan man for 95% konfidensintervall, bruke t ved 0.10 signifikantsnivå, og antall frihetsgrader (N) settes:

$$N = n_1 + n_2 - 2$$

Videre er:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)\cdot S_1^2 + (n_2-1)\cdot S_2^2}{n_1+n_2-2}}$$

n_1 og n_2 er antall målinger i de gruppene som skal sammenlignes og S_1 og S_2 er standardavvik i de to gruppene.

Sammenligninger mellom målingene den 12.3. og den 26.3. viser at det ikke er signifikant forskjell mellom målingene de to gangene når samme målepunkt betraktes. Unntatt herfra er målepunkt 1V den 26.3., kurveformen for registreringen er her også litt rar. Verdiene fra denne målingen er derfor tatt bort fra de videre beregninger.

Det er sammenlignet høyeste og laveste verdier for alle vertikale målinger (unntatt den 26.3.). Det viser seg her ikke å være forskjell. Det samme er gjort for noen horisontale målinger og her er det forskjell mellom de forskjellige målepunkter. P.g.a. disse forhold er alle vertikalmålinger slått sammen og beregnet m.h.p. middelverdi ($\bar{k}$), standardavvik S og variasjon av middelverdi ($\Delta\bar{k}$). For horisontalmålingene er verdiene for hvert målepunkt slått sammen og beregnet på samme måte.

I tabell IV er satt opp en oversikt over k-verdier (k_A) for utsving. Det er her satt opp middelverdier, standardavvik, variasjon av middel og utfra disse maks. k-verdi, ($K_{maks} = \bar{K} + \Delta\bar{K} + 2S$).

På samme måte som vedrørende trykk blir 97.5% av alle målinger liggende under denne verdien.

Verdien $K_{maks}/\bar{K}$ skulle være et uttrykk for den sikkerhetsfaktor man må regne med ved slike målinger.

De samme beregninger er utført både med hensyn til utsving og svingehastighet. Det viser seg imidlertid at for de vertikale målingene blir spredningen i svingehastighet så stor at man kan ikke slå sammen verdiene her på samme måte som for utsvingsmålingene. Dette kommer sannsynligvis av at kurvene ikke følger sinussvingninger med tilstrekkelig nøyaktighet.

Kommentar til trykkmålingene.

Det var før sprengningene satt som grense at ekstra trykkbelastning p.g.a. disse ikke skulle overstige statisk-ekvivalenttrykk $p_e = 1.1$ kp/cm2 . (Se side 7).

Av kurven i fig. 3 ser man at når forholdet $\frac{\tau}{T}$ er lite

$$\frac{\tau}{T} < 0.26$$

så er

$$\frac{p_e}{p_m} = \pi \cdot \frac{\tau}{T}$$

og ut fra lign.

$$i = \frac{p_m \cdot \tau}{2}$$

er:

$$p_m = \frac{2 \cdot i}{\tau}$$

som innsatt i ligning foran gir:

$$p_e = 2\pi \cdot \frac{i}{T}$$

Setter man $T = 75$ ms.

gjelder dette for $\tau \leq 19.5$ ms

og vi får $p_e = 0.084 \cdot i$

Høyeste målte i = 9.6 kpms/cm2, (med τ = 21.4 ms)
(målepunkt 11 ved sprengning den 12.3) og vi kan sette:

$$p_e \approx 0.084 \cdot 9.6 = 0.8 \text{ kp/cm2}.$$

Ved målingene den 26.3. var høyeste målte i = 4.5 kpms/cm2 (med τ = 6.0 ms)
og vi får: p_e = 0.084 . 4.5 = 0.38 kp/cm2.

Ser man på diagram fig. 9 og fig. 10 vil man se at trykk (p_m)
er lavere enn ventet. Middel av p_m er ca. 2.5% av "ladning fritt i vann",
mens forventet ca. 10%. Ser man på impuls er det ikke her nevneverdig
forskjell. Middel av målingene ligger litt lavere enn ventet, men
spredningene er her så stor at forskjellen mellom kurve iflg. Lindh og
middel av målingene ikke er stort større enn variasjon av middel.

Kommentar til vibrasjonsmålingene.

Man hadde på forhånd satt en grense på

utsving A = 600 µm

og

svinghastighet v = 50 mm/s

for vibrasjoner på dammen (se side 7).

Det skulle gi en god sikkerhet mot at store skader skulle oppstå.
Det ble på forhånd sagt at disse vibrasjoner "kan føre til nedfall av løs puss
på luftside o.l."

Høyest målte utsving ble målt i mp 6 H_T med A = 750 µm
og v = 66.0 mm/s den 12.3. og A = 630 µm og v = 67.1 mm/s den 26.3.

Dette førte også til en del nedfall av løs puss. Det ble likeledes registrert
en liten forbigaende økning i lekkasjen gjennom dammen.

Slutning.

Som tidligere nevnt ble den første salven noe mer storblokket enn ønsket, mens siste salve må betegnes som meget vellykket. Dette forhold avspeilet seg også under arbeidet med å skrape vekk massene. Et mindre parti i bunnen var også blitt stående igjen etter første salve. Dette skyldtes nok at ladningen i to av hullene ikke nådde dypt nok p.g.a. tilstopping. (Stålrørene ble nemlig satt på plass først etter at hele boringen var avsluttet).

Dykkerundersøkelser kunne ikke påvise synlige skader på varegrindene eller bærekonstruksjonen.

Skrapearbeidet måtte innstilles i flomtiden og først i slutten av september -69 var gjenåpning av omløpstunnelen ved Solbergfoss avsluttet.
P.g.a. liten vassføring denne høsten ble prøvekjøringen først gjennomført 27. mai 1970. Fig. 12 viser forholdene ved inn- og utløpet av tunnelene ved full åpning av begge luker.

De særegne forhold ved arbeidsstedet og de restriksjoner som arbeidet var underlagt medførte naturligvis at det var vanskelig å gi et korrekt overslag for prosjektet. Kalkylen lød på 6 mill. kr., men den endelige kostnaden ble ca. 7.4 mill. kr.

LITTERATUR-LISTE.

Prof. G. Lindh: Om støtvågor i vatten.
Tekniska meddelanden nr. B 42.
Kungl. Fortifikasjonsförvaltningen,
Stockholm 1967.

Siv.ing. T.Sande: Sjokkbølger i vann og sjokkbolgers
belastning på konstruksjoner.
Foredrag nr. XXI.
Konferanse i fjellsprengningsteknikk,
Oslo 1965.

C.C. Perry: Statistical Treatment of Experimental
Data,
Manual on Experimental Stress Analysis,
second ed.
Society for experimental Stress
Analysis, Connecticut 1965.

Det henvises forøvrig til upubliserte rapporter fra Kontor for fjellsprengningsteknikk nr. 109-5-3 og nr. 109-5-9 vedrørende prøvesprengninger for omløpstunnelene.

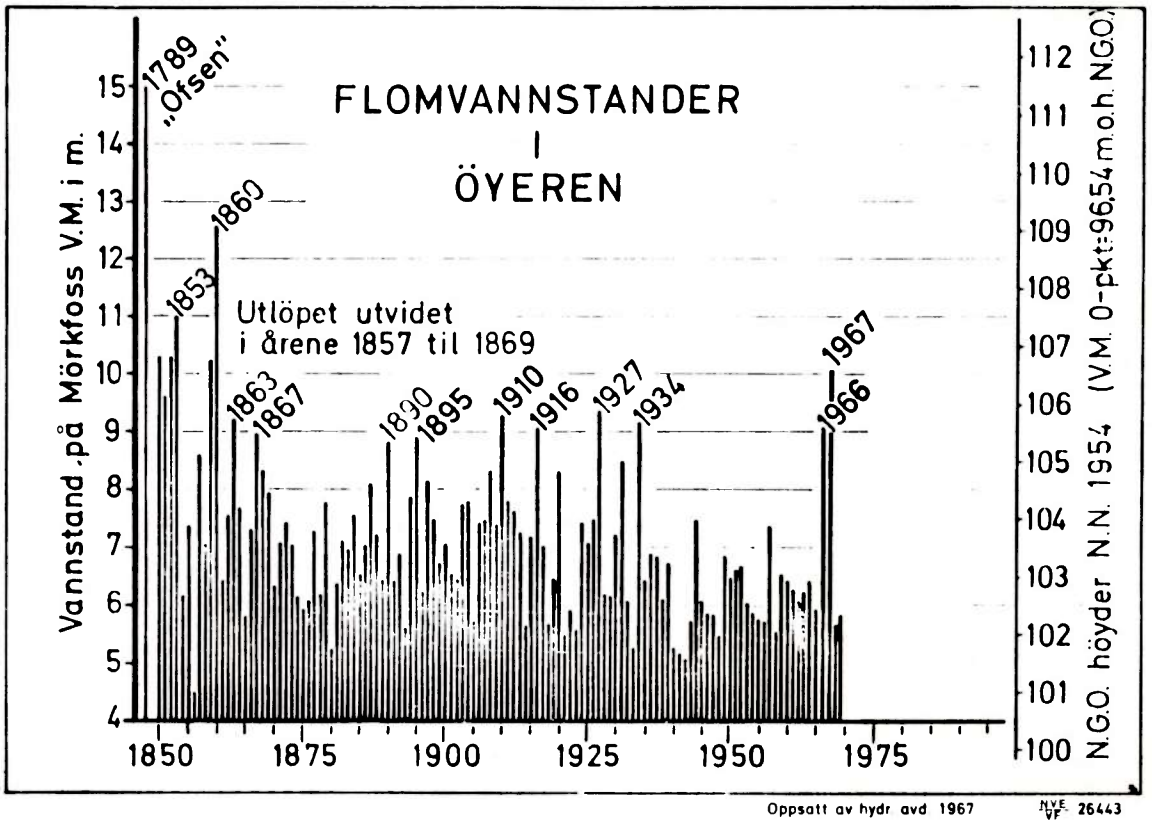
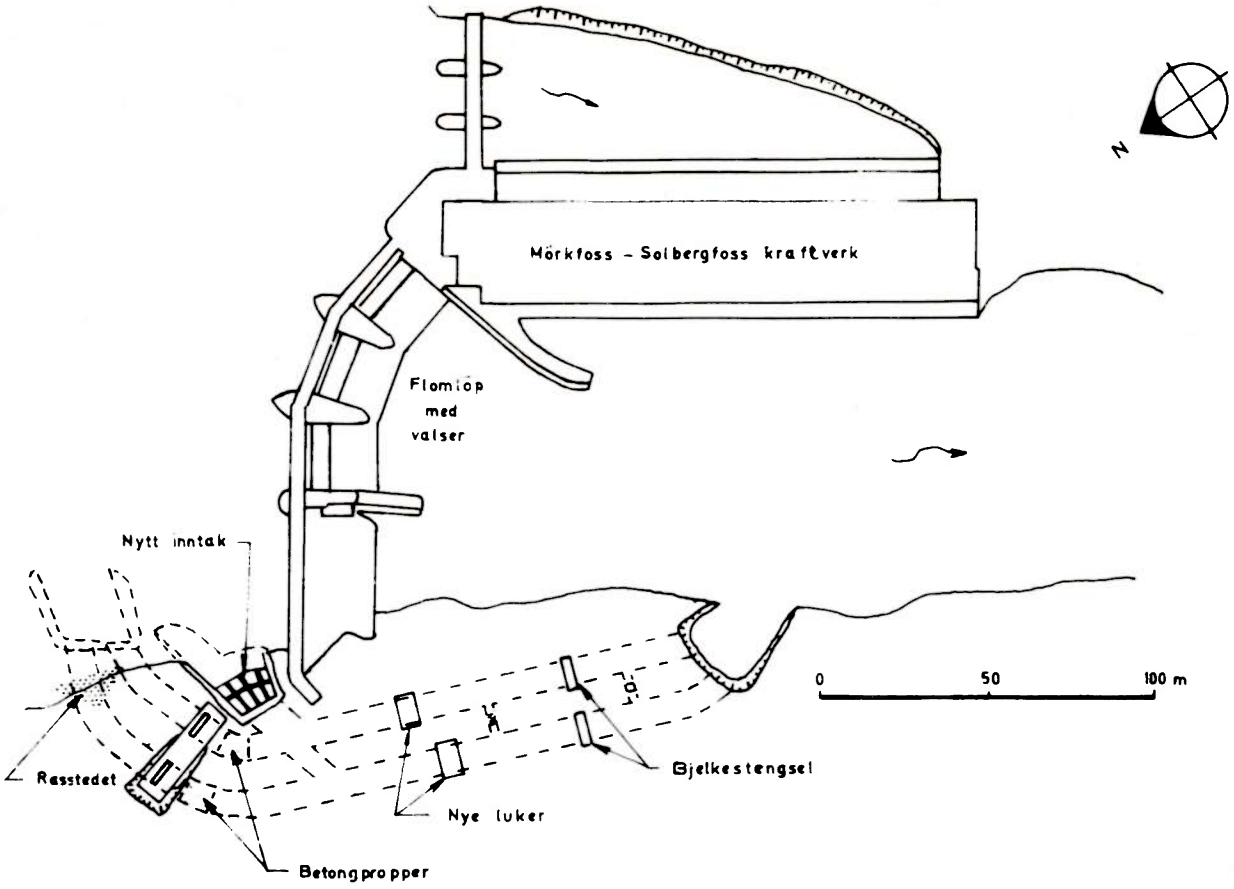


Fig. 1 . *Flomhøyder i Øyeren.*



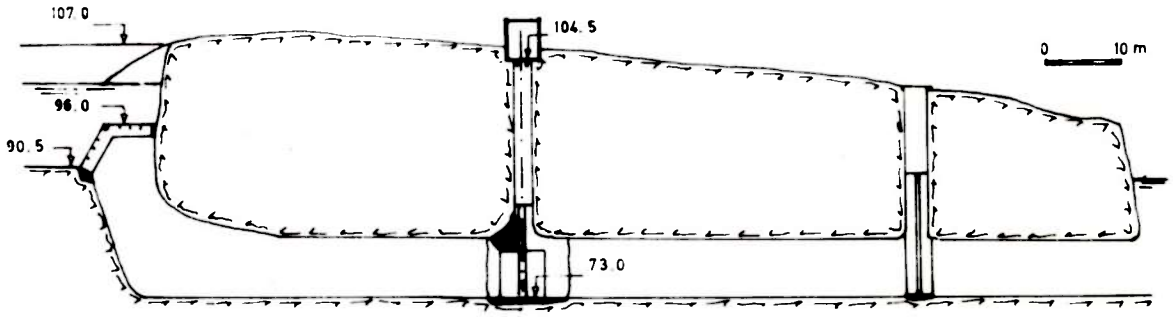


Fig. 2. Plan og snitt av omlöpstunneler.

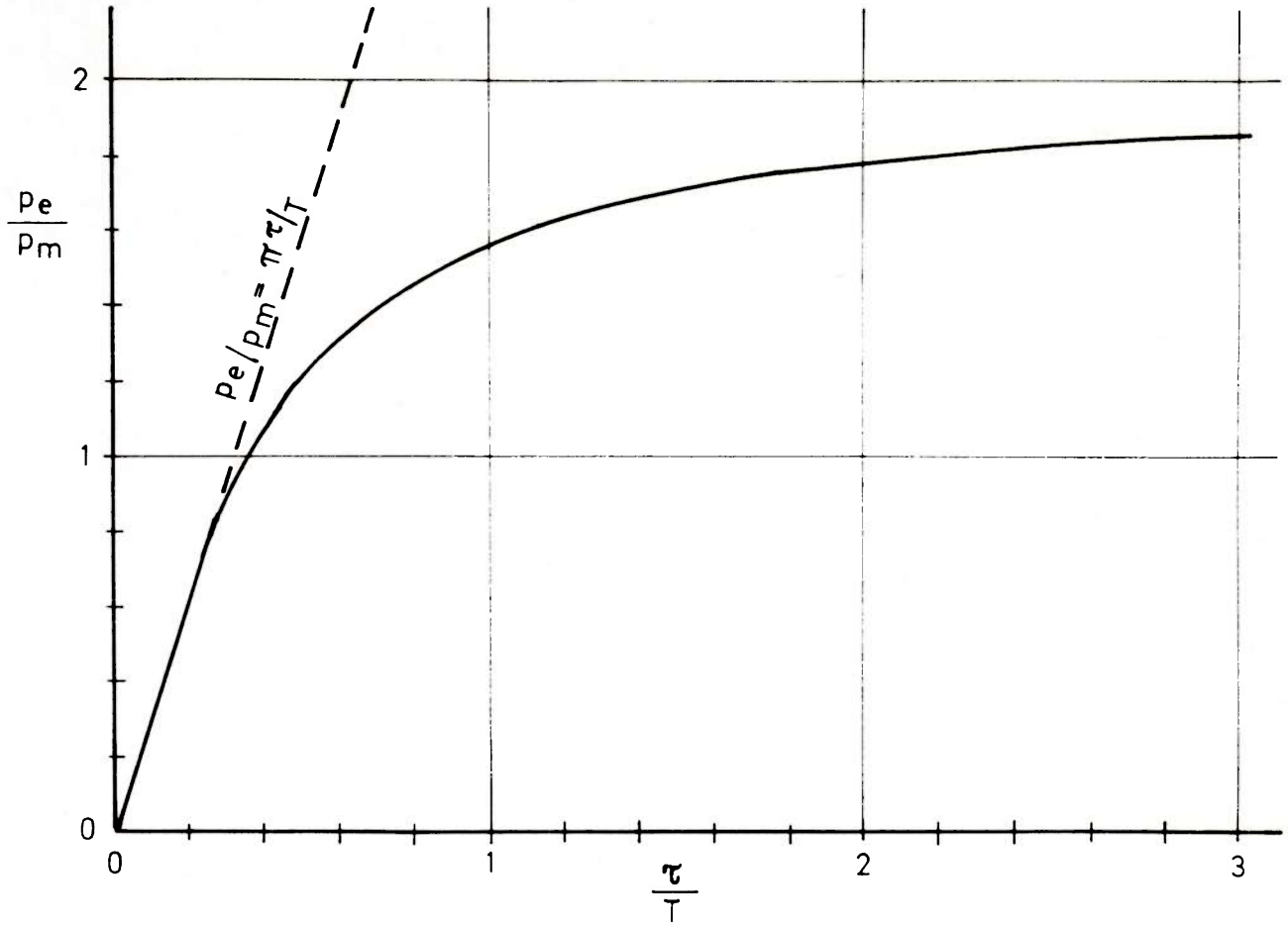
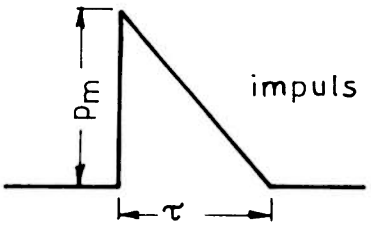


Diagram for beregning av ekvivalent statisk last ved transient pulsbelastning.



impuls $i = \frac{p_m \cdot \tau}{2}$

p_e — ekvivalent statisk trykk

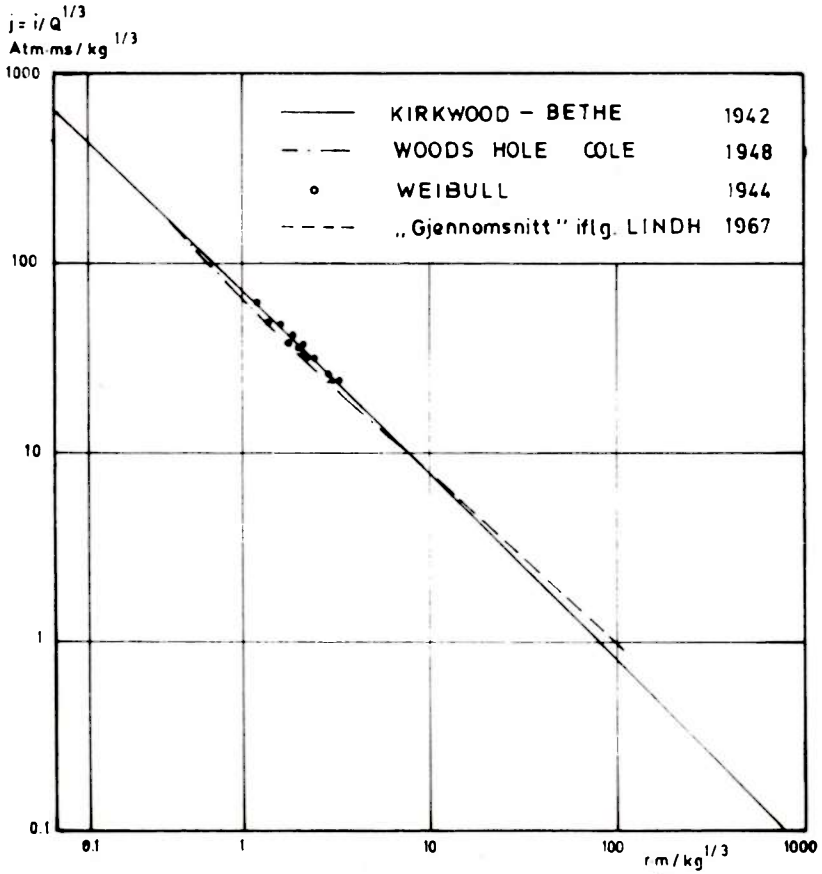
p_m — maks. pulstrykk.

τ — pulsvarighet.

T — konstruksjonens egensvingetid.

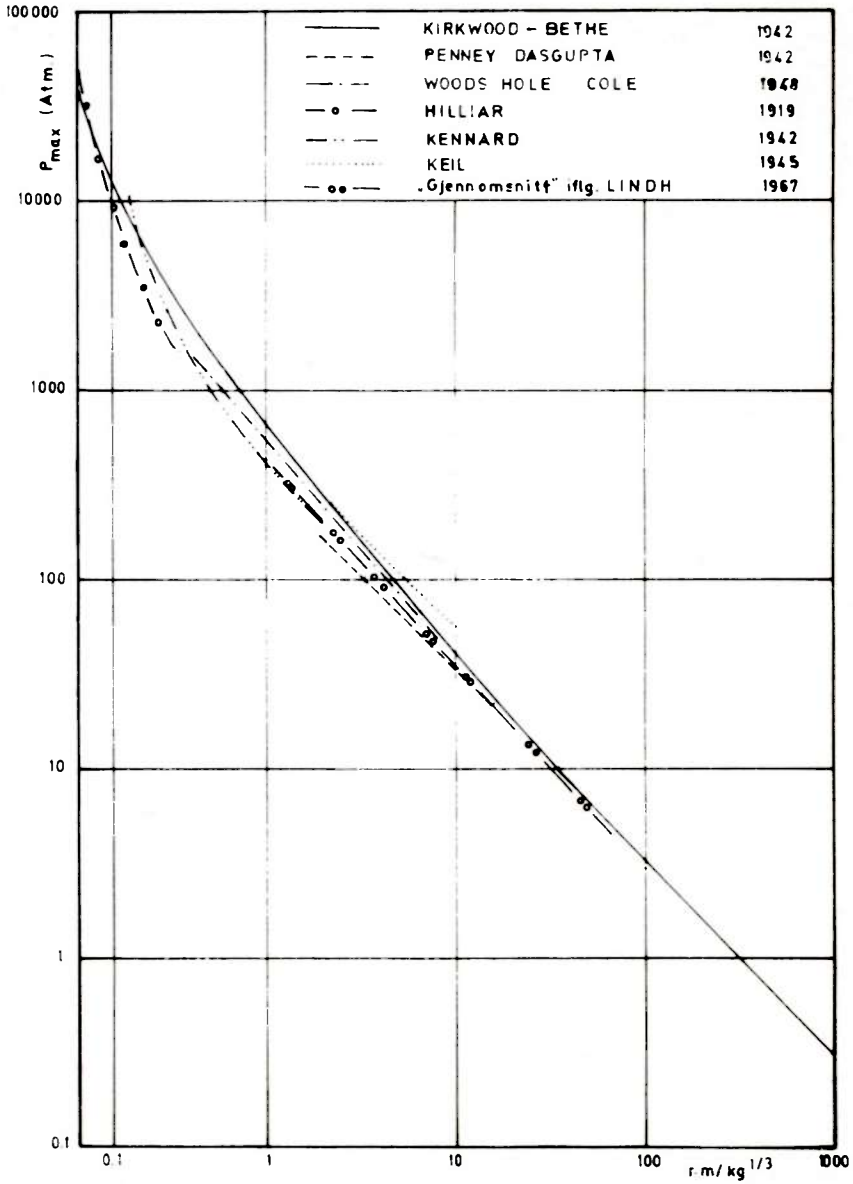
Fig. 3.

Fig. 4. (a - b)



Redusert impuls j for beregning av impulsen $i = j \cdot Q^{1/3}$ for en ladning Q som henger fritt i vann (i = atm. millisek)

(a.)



(b.) Maks trykk p i atm. fra en ladning Q som henger fritt i vann i en avstand $R = r \cdot Q^{1/3}$ (3)

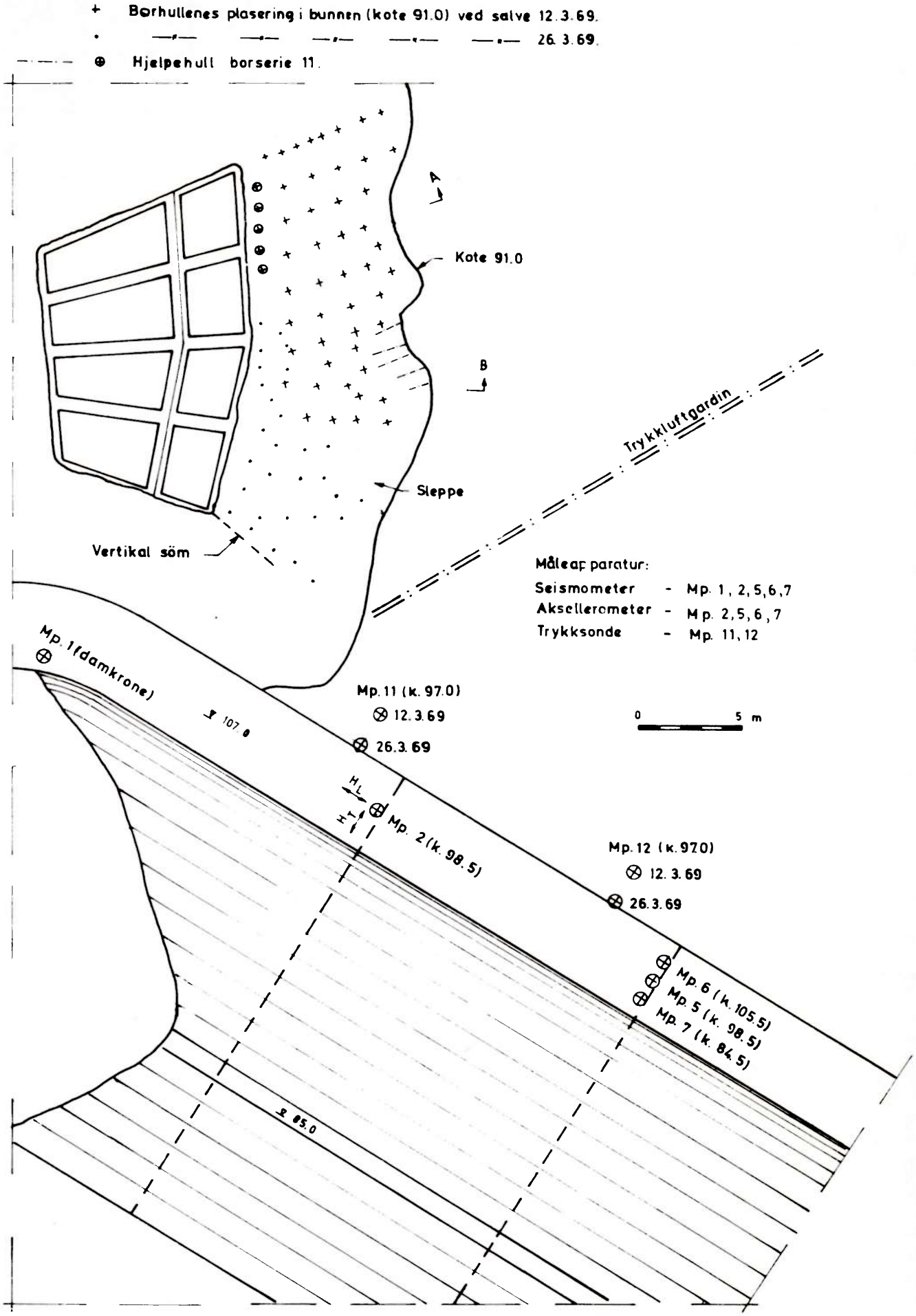
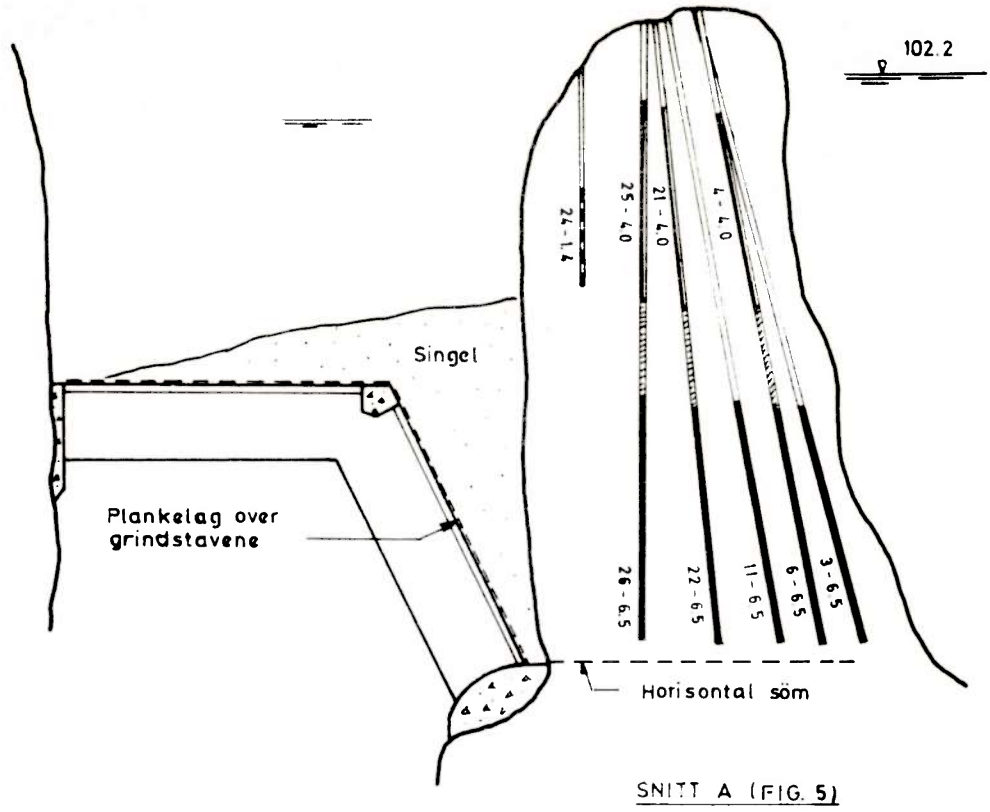
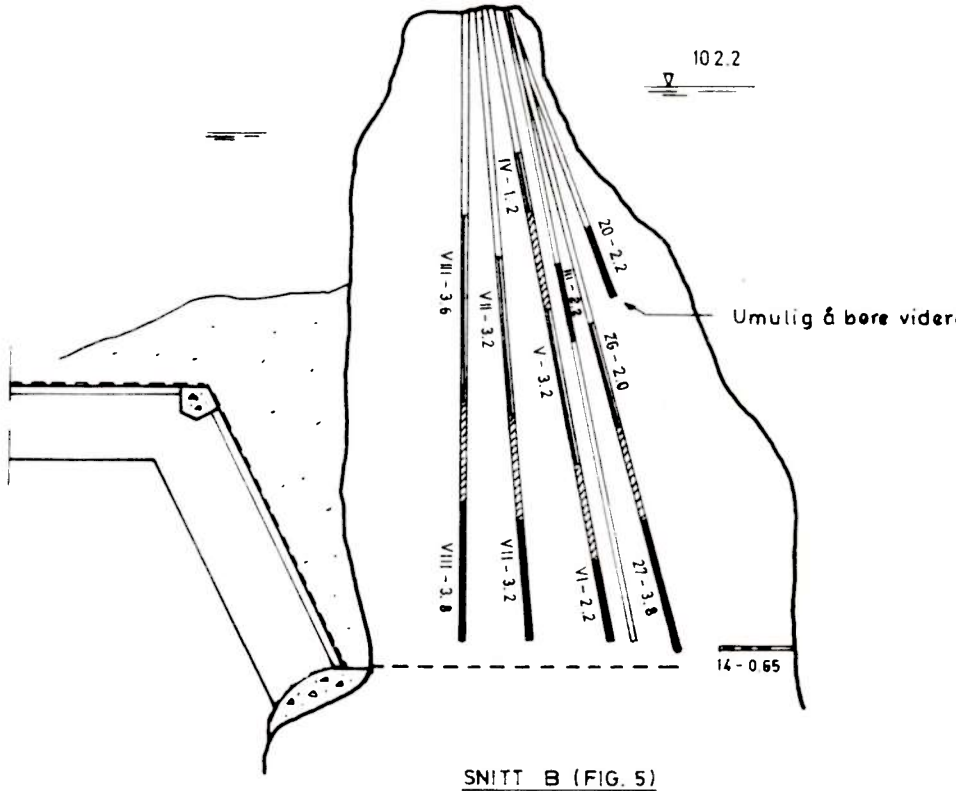


Fig. 5. Borplan og målepunkter.



SNITT A (FIG. 5)

Ladning 35 mm gummidynamitt
— " — 30 — " —
— " — 25 — " —
"Isopor" avstandspropper
20-2.2 Tennernr. – ladningsvekt (kg)



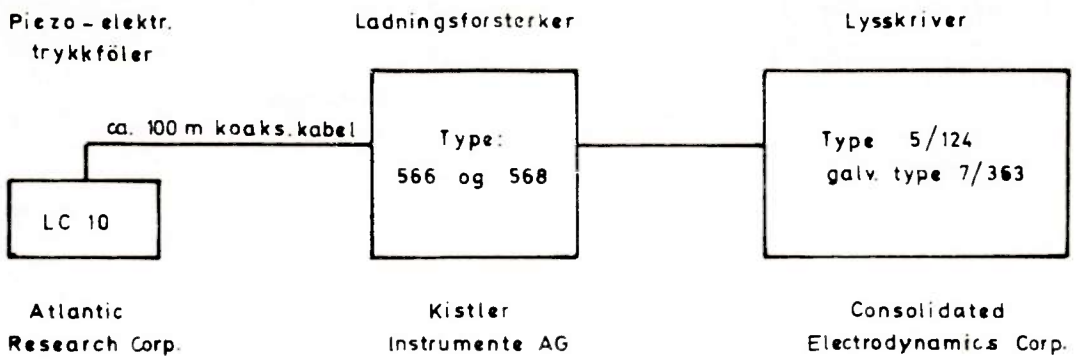
SNITT B (FIG. 5)

Fig. 6. Snitt med ladningsmönster.

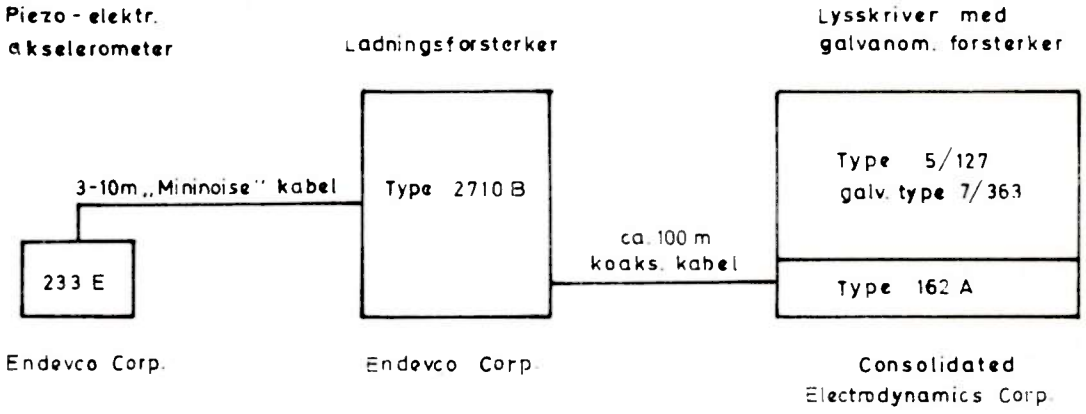
Foto: Th. Hoff

Foto: NTB

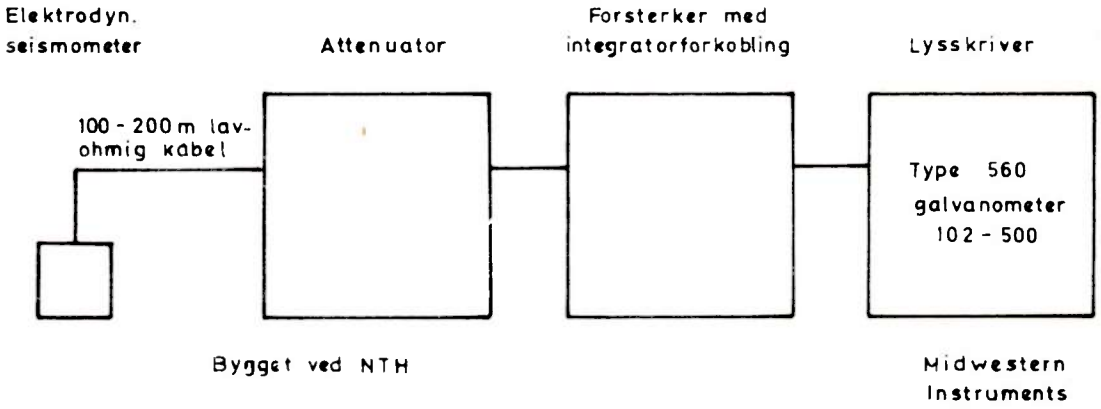
Fig. 7. Salven 12.mars 1969.



(a). Måling av trykkbölger i vann.



(b). Akselerasjonsmålinger.



(c). Seismometermålinger.

Fig. 8 (a-c). Instrumentoppstillinger.

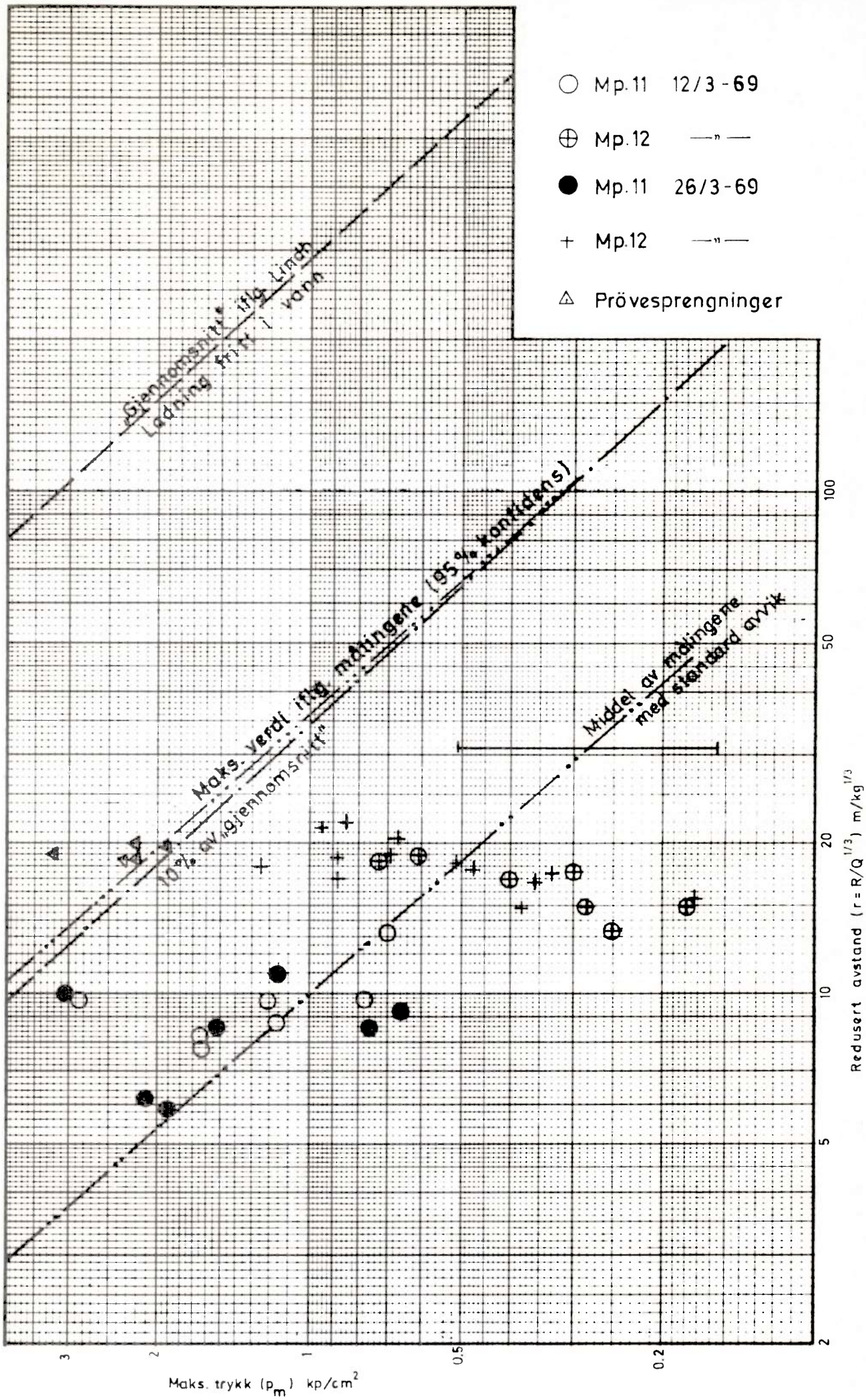

Mp.11 12/3-69
Mp.12 —"—
Mp.11 26/3-69
Mp.12 —"—
Prövesprengninger
Gjennomsnitt ifg. Linth
Ladning fritt i vann
Maks. verdi ifg. måtingene (95% konfidens)
10% av gjennomsnitt
Middel av måtingene med standard avvik
Redusert avstand (r = R/Q^1/3) m/kg^1/3
Maks. trykk (p_m) kp/cm²
100
50
20
10
5
2
3
2
1
0.5
0.2

Fig. 9.

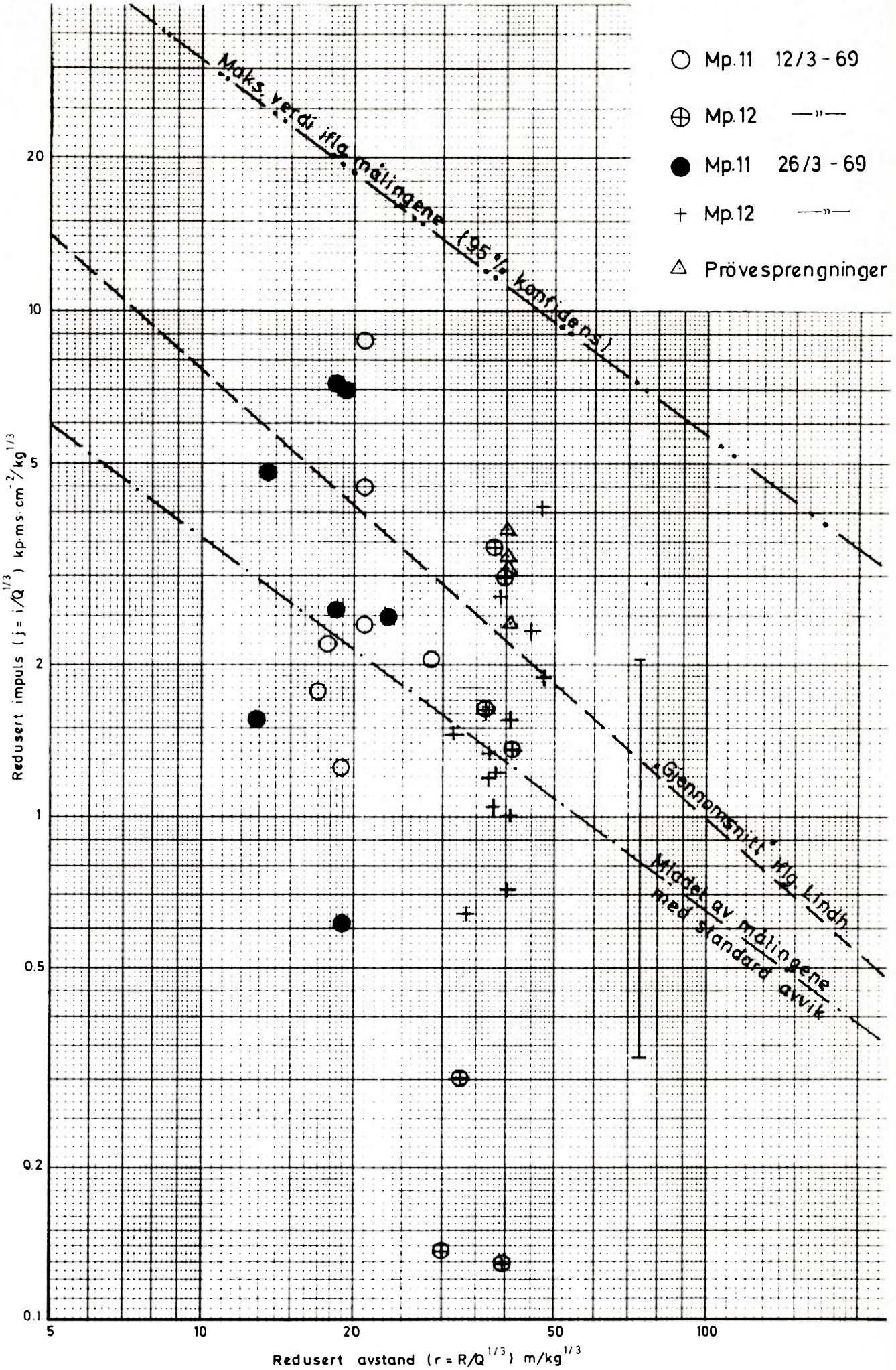

Mp.11 12/3 - 69
Mp.12 —»—
Mp.11 26/3 - 69
Mp.12 —»—
Prövesprengninger
Maks. verdi iflg. målingene (95 % konfidens)
Gjennomsnitt iflg. Lindh
Middel av målingene med standard avvik
Redusert impuls (j = i/Q^1/3) kp·ms·cm^-2/kg^1/3
Redusert avstand (r = R/Q^1/3) m/kg^1/3
0.1
0.2
0.5
1
2
5
10
20
5
10
20
50
100

Fig. 10.

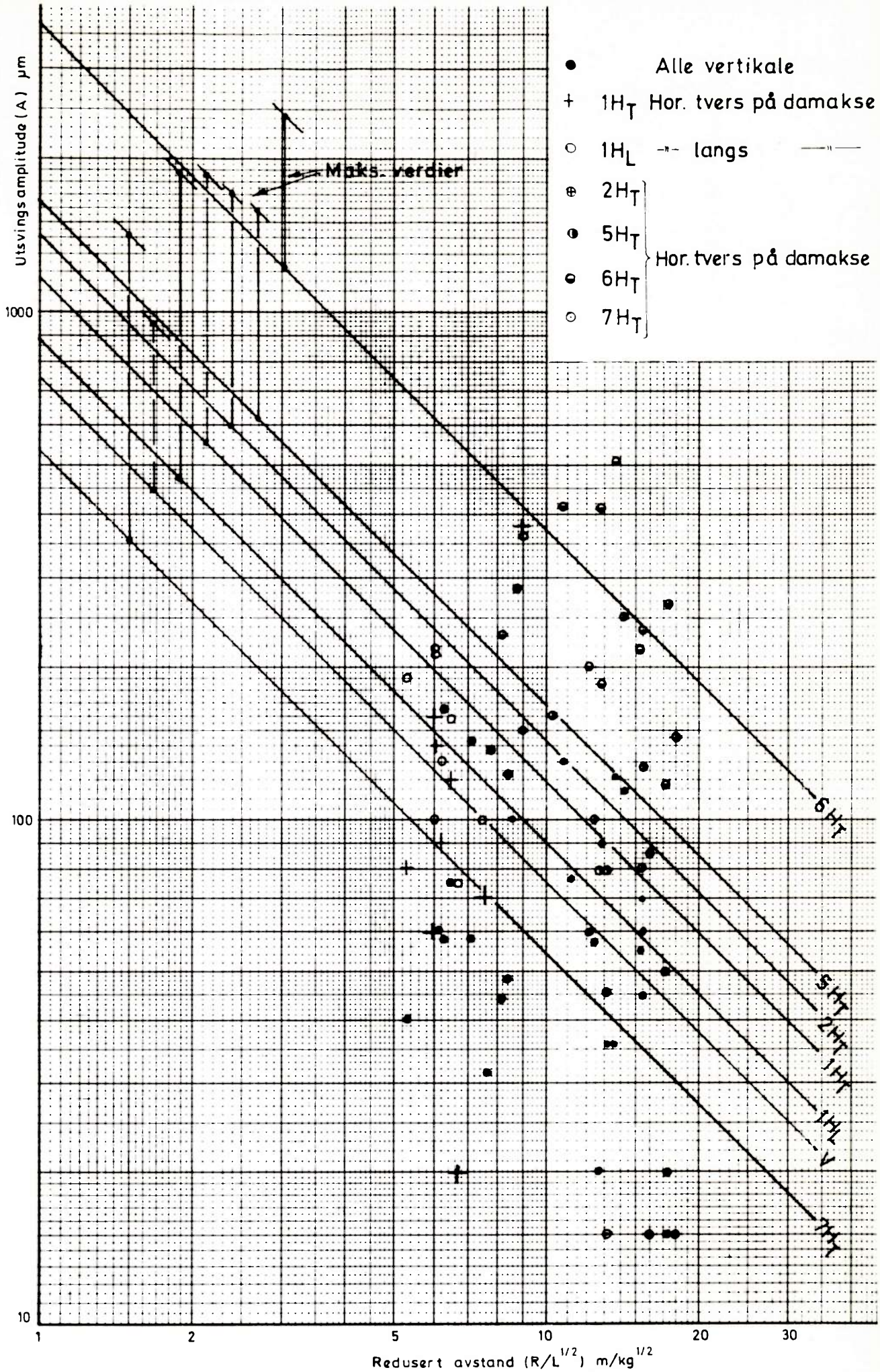

Utsvingsamplitude (A) µm
1000
100
10
1
2
5
10
20
30
Redusert avstand (R/L^1/2) m/kg^1/2
Maks. verdier
Alle vertikale
1H_T Hor. tvers på damakse
1H_L -"- langs -"-
2H_T
5H_T
6H_T
7H_T
Hor. tvers på damakse
6HT
5HT
2HT
1HT
1HL
V
7HT

Fig. 11.

Foto: P.O. Breifjell

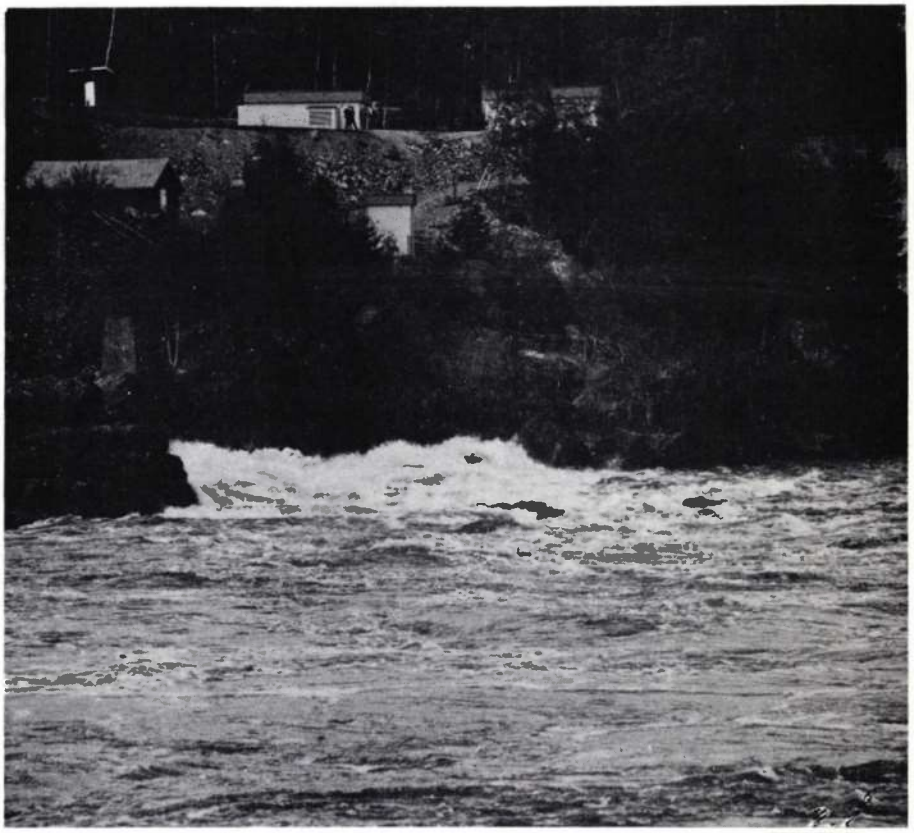


Foto: P.O. B

Fig. 12. Omlöpstunnelene prövekjöres.

Trykkmålinger.

Tabell I.

Målepunkt	Sprengningsdata						Avstand			Avlest		Beregnet		Dato
	Tenner nr.	Antall ladn.	Ladn. L	$L^{1/3}$	Q = 0.1 L	$Q^{1/3}$	Avstand R	Red. avstand $r_p = R/L^{1/3}$	Red. avstand $r_i = R/Q^{1/3}$	Maks. trykk p_m	Puls-varighet τ	$i = p_m \frac{\tau}{2}$	$j = i\ Q^{1/3}$	
		stk	kg	$kg^{1/3}$	kg	$kg^{1/3}$	m	$m/kg^{1/3}$	$m/kg^{1/3}$	kg/cm^2 (at)	ms	at · ms	at · ms/$kg^{1/3}$	
Mp. 11	1	1	4.0	1.59	0.4	0.737	21	13.2	28.5	0.7	4.3	1.5	2.04	Salve 12.3-69
	2+3	1+1	13.0	2.35	1.3	1.09	23	9.8	21.0	0.77	21.4	9.6	8.8	
	26	5	16.7	2.55	1.67	1.19	25	9.75	21.0	1.2	11.6	2.86	2.4	
	V	2	9.7	2.13	0.97	0.99	17	7.9	17.0	1.63	2.15	1.75	1.77	
	VIII	2	7.4	1.95	0.74	0.91	17	8.7	18.8	1.15	1.93	1.11	1.23	
	IX	2	4.8	1.69	0.48	0.79	14	8.3	17.8	1.62	2.15	1.75	2.22	
	XII	1	3.2	1.47	0.32	0.685	14.5	9.85	21.2	2.88	2.15	3.1	4.5	
Mp. 12	2	1	6.5	1.87	0.65	0.865	31.5	16.8	36.4	0.405	6.9	1.4	1.62	
	3	1	6.5	1.87	0.65	0.865	33	17.6	38.0	0.31	19.4	3.0	3.46	
	14	4	2.95	1.43	0.3	0.67	27	18.9	41.0	0.615	3.0	0.92	1.37	
	V	2	9.7	2.14	0.97	0.99	29	13.5	29.4	0.25	1.07	0.135	0.137	
	VIII	2	7.4	1.95	0.74	0.91	29	14.9	39.0	0.18	1.29	0.116	0.129	
	IX	2	4.8	1.69	0.48	0.79	25.5	15.0	32.4	0.28	1.72	0.24	0.304	
	XII	1	3.2	1.47	0.32	0.685	27	18.4	39.4	0.73	5.6	2.06	3.0	
Mp. 12	1	1	2.7	1.4	0.27	0.65	23.5	16.8	36.4	0.36	4.3	0.78	1.2	Salve 26.3-69
	2	1	2.4	1.34	0.24	0.62	23	17.2	37.0	0.33	3.9	0.65	1.05	
	3	1	1.2	1.06	0.12	0.49	23	21.7	47.0	0.95	4.3	2.02	4.13	
	4	1	2.1	1.28	0.21	0.595	23	18.0	39.0	1.25	2.6	1.63	2.74	
	20	1	3.8	1.57	0.38	0.73	30	19.0	41.0	0.69	2.15	0.74	1.01	
	21	2	5.6	1.78	0.56	0.82	31.5	17.7	38.3	0.47	4.3	1.01	1.23	
	24	2	7.0	1.91	0.7	0.89	28	14.7	31.5	0.38	6.9	1.31	1.47	
	IV	2	1.6 2.5	1.17 1.36	0.16 0.25	0.543 0.63	22 28	18.8 20.6	40.5 44.5	0.88 0.675	1.72 5.15	0.86 1.75	1.59 2.78	
	V	2	1.2 3.6	1.06 1.53	0.12 0.36	0.49 0.71	23 26	21.7 17.0	47.0 36.6	0.85 0.86	2.15 2.15	0.915 0.95	1.87 1.34	
	IX	1	3.8	1.56	0.38	0.72	24	15.4	33.3	0.175	5.4	0.47	0.65	
	XII	1	3.2	1.47	0.32	0.68	27	18.3	40.0	0.51	1.93	0.493	0.725	
Mp. 11	1	1	2.7	1.39	0.27	0.645	12	8.6	18.6	0.75	4.7	1.66	2.57	
	2	1	2.4	1.34	0.24	0.62	11.5	8.6	18.5	1.5	6.0	4.5	7.25	
	3	1	1.2	1.06	0.12	0.493	11.5	10.8	23.4	1.15	2.15	1.23	2.5	
	6	1	2.7	1.39	0.27	0.645	12.5	9.0	19.4	3.0	3.0	4.5	7.0	
	IV	2	4.1	1.6	0.41	0.74	10	6.25	13.5	2.05	3.45	3.54	4.8	
	V	2	4.8	1.69	0.48	0.78	10	5.92	12.8	1.9	1.3	1.23	1.58	
	XII	1	3.2	1.42	0.32	0.68	13	9.15	19.1	0.65	1.3	0.42	0.62	

Vibrasjonsmålinger med seismometer. (Utsvingsmålinger) Tabell II

Målepunkt		Avstand			Sprengningsdata			Avlest		Beregnet			Dato
Nr.	Reg. retn.	R (m)	$L^{1/2}$	$R/L^{1/2}$ (m/kg$^{1/2}$)	Tenner nr.	Ant. ladn.	Ladn.(L) (kg)	Utsving (A) (μm)	Frekvens (f) (Hz)	K_A ($A \cdot R/L^{1/2}$)	Sv.hast. (v) (mm/s)	K_v ($v \cdot R/L^{1/2}$)	
1	V	28	5.25 x)	5.35	II	6	41.5	40	50	213	12.6	67.5	Salve 12/3 - 69
		19	3.11	6.1	V	2	9.7	100	60	610	37.7	230.0	
		17.5	2.72	6.45	VIII	2	7.4	85	25	546	13.4	86.5	
		19.5	2.2	8.9	IX	2	4.8	150	40	1335	37.7	336.0	
1	H_L	25	2.55	9.8	3		6.5	470	19	4600	56.0	548.0	
				5.35	II			80	40	428	20.2	108.	
				6.1	V			140	50	853	44.0	268.	
				6.45	VIII			120	50	775	37.8	244.	
				8.9	IX			380	47	3380	112.5	1000.	
1	H_T	27	3.01	9.0	7	1	9.1	580	15	5220	54.6	492	
				5.35	II			190	25	1020	29.8	159	
				6.1	V			208	38	1270	49.5	302	
				6.45	VIII			158	24	1020	23.8	153.5	
				8.9	IX			367	24	3260	55.4	493.	
2	V	33	5.25	6.3	II	6	41.5	58	23	365	8.4	53.	
		22	3.11	7.1	V	2	9.7	58	25	412	9.1	64.5	
		21	2.72	7.72	VIII	2	7.4	33	75	577	15.5	119.	
		19	2.2	8.65	IX	2	4.8	100	16	865	10.0	87.	
2	H_T	30	3.96	7.6	II	2	15.7	465	22	3540	64.3	48.9	
				6.3	II			165	16	1040	16.6	105.	
				7.1	V			143	25	1020	22.4	159.	
				7.7	VIII			136	19	1050	16.2	125.	
				8.65	IX			286	19	2480	34.0	294.	
5	V	32	1.72	18.6	14	4	2.95	180	20	3340	22.6	420	
		44	5.25	8.4	II	6	41.5	48	20	402	6.03	50.5	
		35	3.12	11.2	V	2	9.7	76	20	850	9.54	107	
		34	2.72	12.5	VIII	1	7.4	57	25	712	11.9	149	
		31	2.19	14.2	IX	2	4.8	114	25	1620	17.9	254	
5	H_T	34	1.64	20.7	17	1	2.7	360	15	7450	33.9	702	
				8.4	II			123	17	1030	13.1	110	
				11.2	V			162	20	1810	20.2	223	
				12.5	VIII			100	25	1250	15.7	196	
				14.2	IX			252	20	3570	31.6	448	
		32	1.79	17.9	XI		3.2	146	13	2610	11.9	213	
6	V	36	3.88	9.4	10	2	15.1	425	20	4000	56.5	530	
		43	5.25	8.2	II	6	41.5	44	27	360	7.46	61	
		34	3.12	10.9	V	2	9.7	130	20	1420	16.3	178	
		33	2.72	12.1	VIII	1	7.4	60	30	725	11.3	137	
		30	2.19	13.7	IX	2	4.8	122	25	1670	19.2	262	
6	H_T	34	1.79	19	12	1	3.2	750	14	14250	66.0	1250	
				8.2	II			232	16	1900	23.2	190	
				10.9	V			415	12	4520	31.4	342	
				12.1	VIII			256	20	3100	32.1	388	
				13.7	IX			510	20	7000	64.0	877	
		31	1.79	17.3	XI		3.2	264	14	4560	23.2	400	

x) $(2/3 \cdot L)^{1/2}$

Vibrasjonsmålinger med seismometer. (Utsvingsmålinger) Tabell III

Målepunkt		Avstand			Sprengningsdata			Avlest		Beregnet			Dato
Nr.	Reg. retn.	R (m)	$L^{1/2}$	$R/L^{1/2}$ (m/kg$^{1/2}$)	Tenner nr.	Ant. ladn.	Ladn.(L) (kg)	Utsving (A) (μm)	Frekvens (f) (Hz)	K_A ($A \cdot R/L^{1/2}$)	Sv.hast. (v) mm/s	K_v ($v \cdot R/L^{1/2}$)	
1	V	14	2.36	6.0	II	3	5,6	355	7	2130	15.6	93.5	Salve 26/3 - 69
		14	1.87	7.5	III	2	3.5	120	8	900	6.03	45.2	
		13	2.19	6.0	V	2	4.8	320	15	1920	30.1	180	
		12	1.95	6.15	XI	1	3.8	310	14	1910	27.2	167	
		12	1.79	6.7	XII	1	3.2	140	10	940	8.8	59	
1	H_T			6.0	II			100	50	600	31.4	188	
				7.5	III			100	35	750	22.0	165	
				6.0	V			210	30	1260	39.5	237	
				6.15	XI			130	40	800	32.6	200	
				6.7	XIII			75	40	500	18.9	126	
1	H_L			6.0	II			60	40	360	15.1	90.5	
				7.5	III			70	35	525	15.4	115.5	
				6.0	V			160	30	960	30.2	181	
				6.15	XI			90	50	550	28.3	174	
				6.7	XII			20	60	134	7.5	50.2	
5	V	31	2.36	13.1	II	3	5,6	36	20	470	4,5	59	
		29	1.87	15.5	III	2	3.5	45	50	697	14.1	220	
		29	2.19	13.2	V	2	4.8	36	50	475	11.3	149	
		30	1.95	15.4	XI	1	3.8	55	20	845	6.9	106	
		31	1.79	17.3	XII	1	3,2	20	25	346	3.2	55	
5	H_T			13.1	II			80	20	1050	10.0	131	
				15.5	III			128	65	1980	52.3	81	
				13.2	V			80	50	1060	25,2	332	
				15.4	XI			80	20	1230	10.0	154	
				17.3	XII			50	20	870	6.3	109	
6	V	30	2.36	12.7	II		5.6	20	40	254	5.0	63.5	
		29	1.87	15.5	III		3.5	70	50	1080	22,0	340	
		28	2.19	12.8	V		4.8	90	55	1150	33.0	420	
		30	1.95	15.4	XI		3.8	60	65	925	24.5	377	
		31	1.79	17.3	XII		3.2	15	65	260	6.1	106	
6	H_T	33	3.3	10.	28		10.8	630	17	6300	67.1	671	
				12.7	II			185	25	2350	29.0	370	
				15.5	III			235	35	3650	51.5	797	
				12.8	V			310	30	3960	54.4	745	
				15.4	XI			217	40	3340	54.5	840	
				17.3	XII			117	40	2020	29.4	510	
7	H_T	31	2.36	13.1	II			15	25	197	2.4	31.4	
		30	1.87	16.0	III			85	50	1360	26.8	430	
		29	2.19	13.2	V			45	35	595	9.9	131	
		31	1.95	15.9	XI			15	40	238	3.8	60.5	
		32	1.79	17.9	XII			15	50	268	4.7	84.0	

Oversikt K - verdier (K_A - utsving)

Målepunkt	$\overline{K}$	Stand. avvik S	Variasjon av middel $\Delta \overline{K}$	K_{maks} $(\overline{K} + \Delta\overline{K} + 2S)$	$\frac{K_{maks}}{\overline{K}}$	
Vertikalt	736	± 369	± 137	1611	2.2	Alle mp. unntatt 1V - 26/3
$1H_L$	885	± 950	± 730	3515	4.0	
$1H_T$	1160	± 955	± 735	3805	3.3	
$2H_T$	1400	± 720	± 1160	4000	2.8	Målt bare 12/3
$5H_T$	1646	± 955	± 685	4241	2.6	
$6H_T$	3640	± 1360	± 960	7320	2.0	
$7H_T$	532	± 488	± 600	2108	4.0	Målt bare 26/3

Tabell IV