

## Notkun sprengiefnis við jarðsveiflumælingar

**Karl Gunnarsson**

**Greinargerð KG-91-01**

## NOTKUN SPRENGIEFNIS VIÐ JARÐSVEIFLUMÆLINGAR

Þessir minnisþingar eru samantekt Karls Gunnarssonar fyrir fyrirlestur á spenginám-skeiði Vinnueftirlits ríkisins 25. mars 1991. Þeir eru ætlaðir fyrir starfsmenn Orkustofnunar á námskeiðinu, og eru stuttaralegir og sundurlausir. Ekki má líta á þetta sem frágengið kennsluefni.

### Sprengingar í borholum

Anstey 1970.

1. mynd. Í hefðbundnum endurkastsmælingum er spengt í borholum, oft 10-40 m djúpum, 10 cm í þvermál; sprengihleðsla 10 kg, 2,5 m löng og hvellhetta við efri enda. Sprengingin berst út með 7000 m/s og allt springur á broti úr millisekúndu. Í sprengifrontinum er afar mikill þrýstingur, hundruð þúsunda loftþyngda, minni þýstingur, en samt mikill, er í gasinu svo að hola myndast og skel um hana brotnar. Skilgreint er jafngildis-holrúm, en í því er ólínulegt tap orku vegna aflögununar efnisins. Það er oftast nokkrum sinnum stærra að þvermáli en hið eiginlega holrúm, sem er gjarnan um 1 metri.

2. mynd. Þrýstingsmerki í mismunandi fjarlægð frá sprengingu.

3. mynd. Bylgjuformið sem földun áhrifa frá skoti til móttöku.

4. mynd sýnir merki frá sprengingum í leir og sandisteini. og hvernig hærri tíðnir skila sér frá stífara efninu. Einnig áhrif dýpis og stærðar sprengingu.

5. og 6. mynd sýna hvernig földun tíðnirófs merkis og respons jarðar mótar endurkastsmarki frá misdjúpum endurkastflötum.

### Sprengingar í vatni

Kristen Haugland:

Endurkastsmælingar á sjó voru fyrst gerðar með 25 kg sprengjum í yfirborði, sem

sprungu með miklum strók. Krafturinn var lítill en merkið skarpt. Seinna voru minni sprengjur notaðar, 50-250 g (t.d. Maxipulse-kerfið), en nú orðið er notkun sprengiefnis orðin sjaldgæf vegna umhverfis- og öryggisatriða.

7. mynd. Við sprengingu myndast lofttegundir sem hafa mikinn þrýsting. Loftbólun þenst hratt út þar til þrýstingur verður minni en vatnsþrýstingur. Bólan slæst saman aftur og á meðan lyftist hún ofar í vatninu. Seismískur púls myndast við sprenginguna, og aftur þegar bólan fellur saman. Það er kallað bólupúls. Nokkrir bólupúlsar geta greinst á eftir sprengingu. Tími milli sprengingu og fyrsta bólupúls er bóluperíóða. Formúla Lord Rayleigh gefur tímann:

$$T = 1.83 A_{\max} \sqrt{\rho/P}$$

Þar sem  $A_{\max}$  er hámarksrádius bólu,  $P$  er vatnsþrýstingurinn og  $\rho$  eðlisþungi. Nú er stöðuorkan í bólunni

$$Q = 4/3 \pi A_m^3 P_0, \text{ svo}$$

$$T = 1,14 \rho^{1/2} P_0 (KQ)^{1/3}, \text{ sem er}$$

(Rayleigh-Willis formúla). Períóðan er sem sagt í hlutfalli við vatnsþrýsting í veldi 5/6 og þriðju rótina af orkunni. Sjá einnig aðra útgáfu að neðan.

8. mynd sýnir hvernig orka frá 50 punda sprengingu í vatni eyðist í sjökkbylgju og hitatap.

9. mynd. Hljóðmerki sem fer niður er samansett af sjálfu merkinu og endurkasti þess frá yfirborði vatnsins ("draugur" eða "svipur"). Yfirborðið er mjög góður endurkastari, stuðull -0.95, svo merkið er sterkt en verður fyrir 180 gr. fæsviki. Samanlagt merki (líður C) má styrkja með því að velja heppilegt dýpi, svo interferens verði uppbyggilegur. Tvöfalt dýpi sinnum 1,5 m/ms (hljóðhraði í

vatni) gefur tímatöfina. Þegar tekið er tillit til viðsnúnings formerkis tákna þetta að dýpi sprengingar á að vera  $1/4$  úr þeirri bylgjulengd sem á að magna.

10. mynd sýnir til samanburðar merki frá loftbyssu. Líðir B og C sýna hvern stærð byssu (stærð loftból) og dýpi loftbólur hefur áhrif á bóluperíóðu.

11. mynd. Bóluperíóða sem fall af orku eða þyngd sprengiefnis. Samanburður á sprengiefni og ýmsum hljóðbylgjugjöfum. T.d. gefur tæpt hálf pund af dýnamíti 100 ms períóðu á 10 m dýpi.

Bent er á bók Robert H. Cole sem ýtarlega úttekt á eðlisfræði neðansjársprengringa.

Erhard Wielandt (prófrítgerð) fjallar einnig ýtarlega um neðansjársprengringar í tengslum við seismískar mælingar. Hann gefur jöfnu fyrir bóluperíóðu í sekúndum:

$$T = 2,13 W^{1/3} / (h+10)^{5/6},$$

þar sem  $h$  er hleðslan í kg, og  $h$  er dýpi í metrum. 12. mynd sýnir þetta samband.

Hann ræðir um að sprenging á botni veikir sveiflur bólunnar og deyfir bólupúlsinn.

13. mynd sýnir besta dýpi sem fall af þyngd hleðslu til að styrkja merkið. Hér er að líkindum gert ráð fyrir að sprengt sé á botni, en hann viðist telja að nokkuð annað gildi ef sprengingin sé frí (þetta þyrfti að athuga, sjá blaðsíður 102 til 106).

Magnús Tumi Guðmundsson þóttist taka eftir því að skot á botni Hvalfjarðar virtust daufari en þau sem sprengd voru frítt ofar í sjónum. Hleðsla var einn eða tveir stautar.

Við djúpkönnun jarðskorpunnar er ekki eins mikilvægt að mynda einn skarpan púls, og því er fyrst og fremst reynt að fá styrk.

### Reynsla Rússa við stórar sprengingar

Zverev, 1967 og Kosminskaya, 1971.

Við könnun jarðskorpu og efri möttuls í Sovétríkjunum hafa verið gerðar umfangsmiklar tilraunir með sprengingar, allt að nokkrum tonnum að þyngd. Stærðir eins og styrkur og tíðni-innihld merkis eru athugað-

ar við mismunandi hleðslustærð og aðstæður á skotstað. Útslag merkis,  $A$ , má tákna sem fall af hleðslu,  $Q$ :

$$A = k Q^n,$$

þar sem  $k$  er hlutfallsstuðull háður aðstæðum á sprengistað og sprengiefni, og veldisvísirinn  $n$  er háður mörgum stærðum, meðal annars tíðni merkis og stærð hleðslu. Hann hefur mælst mjög breytilegur, á bilinu 0,3 - 1,9 fyrir skot í vatni, en 0,5 - 1,4 í borholum. Gildi á stærðargráðu 0,5 - 0,7 eru e.t.v. líklegust og falla sæmilega að fræðilegri lausn, sem oft er gefin sem  $n = 0,75$ .

Flestar athuganir benda til tíðni-innihald í mældu seismísku merki sé afar lítið háð stærð hleðslu. Tíðnin lækkar þó heldur með aukinni stærð.

Greinilegt er að á hverjum stað má finna ákveðna stærð hleðslu sem gefur hámarks-virkni. Þessi stærð er einnig breytileg eftir því hvaða tíðnibil er skoðað. Betra er að dreifa skotum í marga staði ef stærra dúndur er nauðsynlegt. Við þannig aðstæður hefur einnig sést að til er optimum fjarlægð á milli skothola. Sem dæmi má nefna að á ákveðnum stað var styrkur merkis frá 50 kg hleðslum mestur ef bil milli hola var 17 m, en var einungis  $1/5$  við 10 m eða 25 m bil. Stutt bil leiða til meiri brota í berginu, en við löng bil koma að líkindum til stefnuefandi áhrif og eyðandi interferens.

14. mynd sýnir dæmi af tilraunandiúrstöðum.

15. mynd sýnir besta bil sem fall af hleðsluþyngd, þar sem m.a. er dregin fræðileg kúrfa samkvæmt jöfnu:

$$x = 3 Q^{1/3}$$

Skot á landi sýna ekki góða endurtekningu merkis, en betra er að ná slíku á sjó. Þegar hleðslustærð og dýpi hleðslu í sjó er valið þannig að skotið, endurkast frá yfirborði og bólupúls leggjast saman, má skrá 100-150 kg sprengingar í allt að 250 km fjarlægð. Á 70-90 m dýpi gefur 130 kg skot hámarksorku við 3-5 Hz.



### Úr jarðskorpukönnun Orkustofnunar með bylgjubrotsmælingum

Guðmundur Pálmason gerir athugun á styrk merkja við breytilega stærð á hleðslum og breytilega fjarlægð.

16. mynd sýnir breytingu í útslagi við breytilega hleðslustærð á sama stað (endurtekin skot). All mikil dreifing kemur fram, en hann áætla útslag í hlutfalli við þyngd hleðslu í veldinu 2/3.

17. mynd sýnir hversu stórar hleðslur voru notaðar við mismunandi fjarlægðir. Hann áætla samkvæmt þessu að reynslan hafi sýnt að til að fá sama útslag á nemum verður að auka hleðslu í hlutfalli við fjarlægð í þriðja veldi. Þetta gildir fyrir fjarlægðir ca. á bilinu 10 til 100 km. Einnig má sjá að mun minni hleðslur þarf í sjó þar sem skotið var venjulega á 20 m dýpi, en á landi voru skotin oft á botni vatna á 1-4 m dýpi.

### Reynsla Jósefs Hólmjárnis á Íslandi.

Við litlar sprengingar við jarðtæknilega könnun með bylgjubrotsmælingum (100-200 m vegalengdir) eru oftast notaðar handgrafnar holur, allt að 1,5 m djúpar. Grafið er niður í sæmilega fast og svo fet til viðbótar. Hleðsla er á bili 0.15 - 5.0 kg, allt eftir aðstæðum, þ.e. hleðsla er aukin þar til merki sést í hlustunarnemum. Aldrei hafa borholur verið gerðar sérstaklega til þessara nota. Erfiðar aðstæður við mælingar eru í gjósku og hraunrusli, á lagskiptum eyrum og í mýrum. Þessu veldur sjálfsagt annars vegar aðstæður við skotstað, sem segja til um hversu mikið af orkunni berst út sem hljóðbylgja, og hins vegar skilyrði á leið bylgna til nema. Mýrar og öll lífræn drulla er slæm, líklega vegna mýrargass. Í vatni er aðstæður góðar til að sprengja, og 130-260 g hleðsla nægir fyrir fjarlægðir upp í nokkur hundruð metra. Drullubotn ( t.d. í Úlfjótuvatni) deyfir bylgjuna sem fer niður. Betra að sprengja í lausu lofti en fast við yfirborð.

Við stórar sprengingar í vötnum er betra að dreyfa dýnamíti af þremur ástæðum: meðfærilegri þyngdir, betri nýting í grunnu vatni þegar hætta er á að upp úr springi, og hægt

er að fá stefnuvirkni með því að tengja saman með prímakord með ákveðnum sprengihraða. Gæta sín á útleiðslu skotstraums í vatni og að útleiðsla í nemum valdi ekki því að sterk truflun komi þar inn.

Sprengiefni: Jobbi hefur yfirleitt notað dýnamít. Hefur prófað Glynit sem þolir ekki vatn; er ódýdara og orkuminna. Verslar við Ólaf Gíslason. Telur æsklegt er að gera tilraunir með anfo (kjarna og olú) í vatnsheldum umbúðum, sem er 30% af dýnamítkostnaði. Hvellhettur eru "mómenttenner" með kveikitíma 0,5-5 ms samkvæmt tilraunum hans. Vegna þessa telur hann betra að nota sprengibox sem gefur tímenn þegar hvellhettan springur, og þá rofnar sveiflumerki sem gengur í sprengiþræðinum. Til eru seistennere sem eru e.t.v. kvikari og jafnari.

**Öryggisatriði** Dæmi um óhapp: hnallur heimasmíðaður og rauf ekki sjálfkrafa tengsl þéttis við sprengivír. Það gleymdist að aftengja frá hnalli. Þegar sprengjan var komin í holuna, og sprengivírinn var borinn að hvellhettuvírum, sem stóðu uppúr holufyllingu, sprakk. Manneskjan slapp ómeidd af tilviljun. Af þessu má læra að nota á hnall með öryggisrofa, og einnig á ævinlega að aftengja vírinn.

Annað óhapp: hvellhetta ein sér lá tengd skammt frá bíl, og vírarnir voru greiddir í sundur en ekki samansnúðir. Við sendingu frá bíltalstöðinni sprakk hvellhettan. Af þessu má læra að ekki eigi að nota talstöðvar þar sem farið er með sprengiefni. Vara sig líka á bílasímum. Ef nota þarf talstöð til að hafa samband milli sprengi- og móttökustöðva, verður að komu á vinnureglum sem koma í veg fyrir þann möguleika að sent sé með talstöð meðan sprengiefni er meðhöndlað.

**RITASKRÁ UM NOTKUN SPRENGIEFNIS VIÐ HLJÓÐBYLGJUMÆLINGAR**

Cole, Robert H., 1948. Underwater Explosions. Dover publications, New York (endurprentun 1965).

Astey, N.A., 1970. Signal Characteristics and Instrument Specifications. 1. bindi af: Evenden, B.S., Stone, D.R., Anstey, N.A., 1970. Seismic Prospecting Instruments. Volume 1. Geoexploration Monographs, series 1, no. 3. Berlin/Stuttgart.

Guðmundur Pálmason, 1971. Crustal structure of Iceland from explosion seismology. Vísindafélag Íslendinga XL. Reykjavík.

Haugland, Kristen, 1981. Innsamling av seismiske data. Universitetet i Bergen.

Kosminskaya, Irina P., 1971. Deep seismic sounding of the earth's crust and upper mantle. (Þýðing Consultants Bureau, New York, á frumtexta frá 1968).

O'Brien, P.N.S., 1960. Seismic energy from explosions. Geophys. J., 3, 29-44, 1960.

O'Brien, P.N.S., 1967. Quantitative discussion of on seismic amplitudes produced by explosions in Lake Superior. J.G.R., 72, 2569-2575.

Steinhart, John S., Meyer, Robert P., 1961. Explosion studies of continental structure.

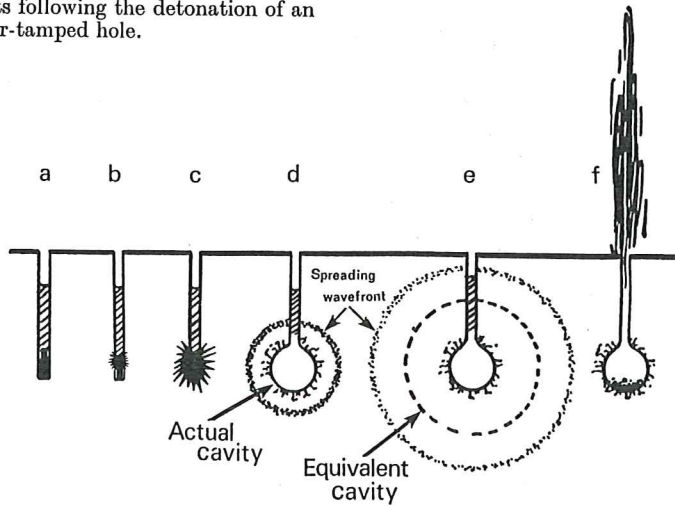
Weston, D.E., 1960. Underwater explosions as acoustic sources. Proc. Phys. Soc. LXXVI, 2, 233-249.

Wielandt, Erhard, 1972. Anregung seismischer wellen durch unterwasserexplosionen. Dissertation Univesität Karlsruhe.

Zverev, S.M. (ed.), 1967. Problems in deep seismic sounding. (Þýðing Consultants Bureau, New York, á frumtexta frá 1965).

1. mynd

Fig. 49. The train of events following the detonation of an explosive charge in a water-tamped hole.



2. mynd

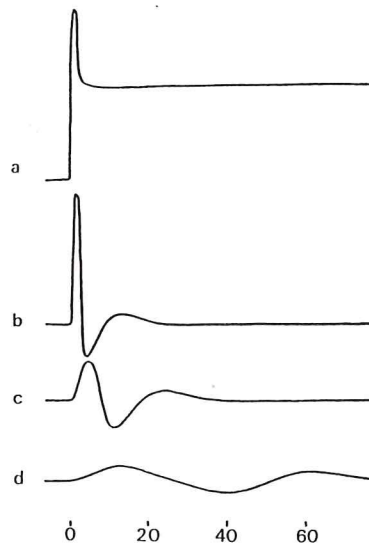
Fig. 50. Pressure waveforms at various stages in the history of the pulse.

Víf hleðslu

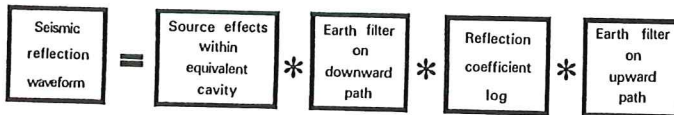
Után brotasvæðis

'I ~100m fjarlægð

'I mikilli fjarlægð



3. mynd



or, assuming linearity beyond the equivalent cavity,

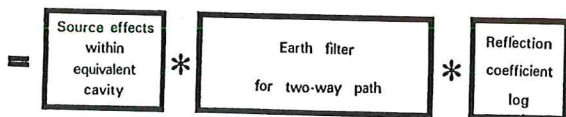


Fig. 52. The basic composition of the seismic reflection waveform.

\* This symbol signifies "convolved with"

4. mynd

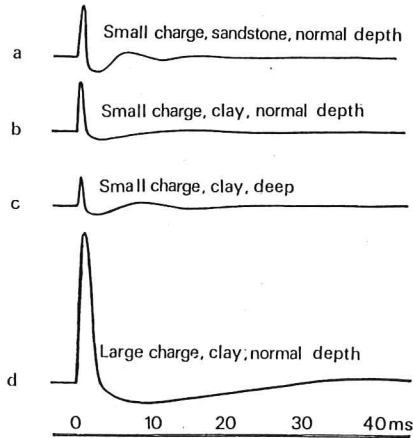


Fig. 53. The outgoing pulse as it is affected by the material surrounding the charge, by the charge depth, and by the charge weight.

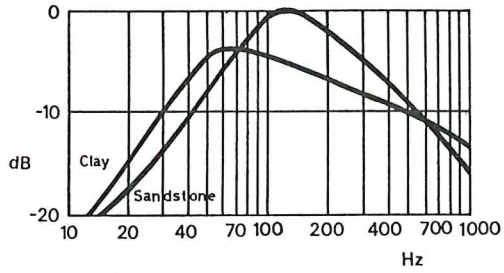
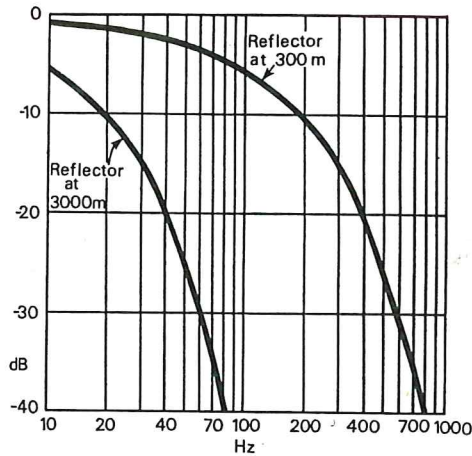


Fig. 54. Estimated amplitude spectra for the first two pulses of Figure 53.

5. mynd

e-frequency response is associated with "s."



6. mynd.

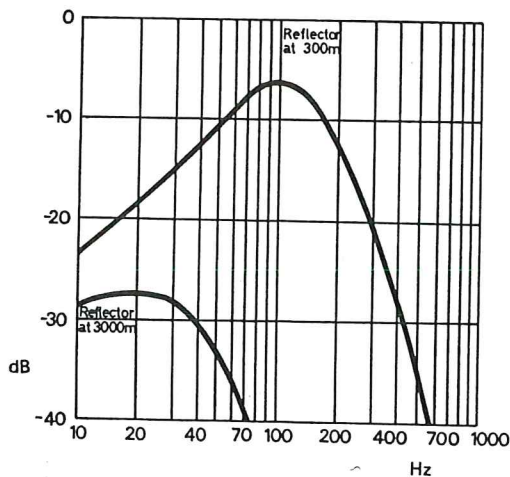
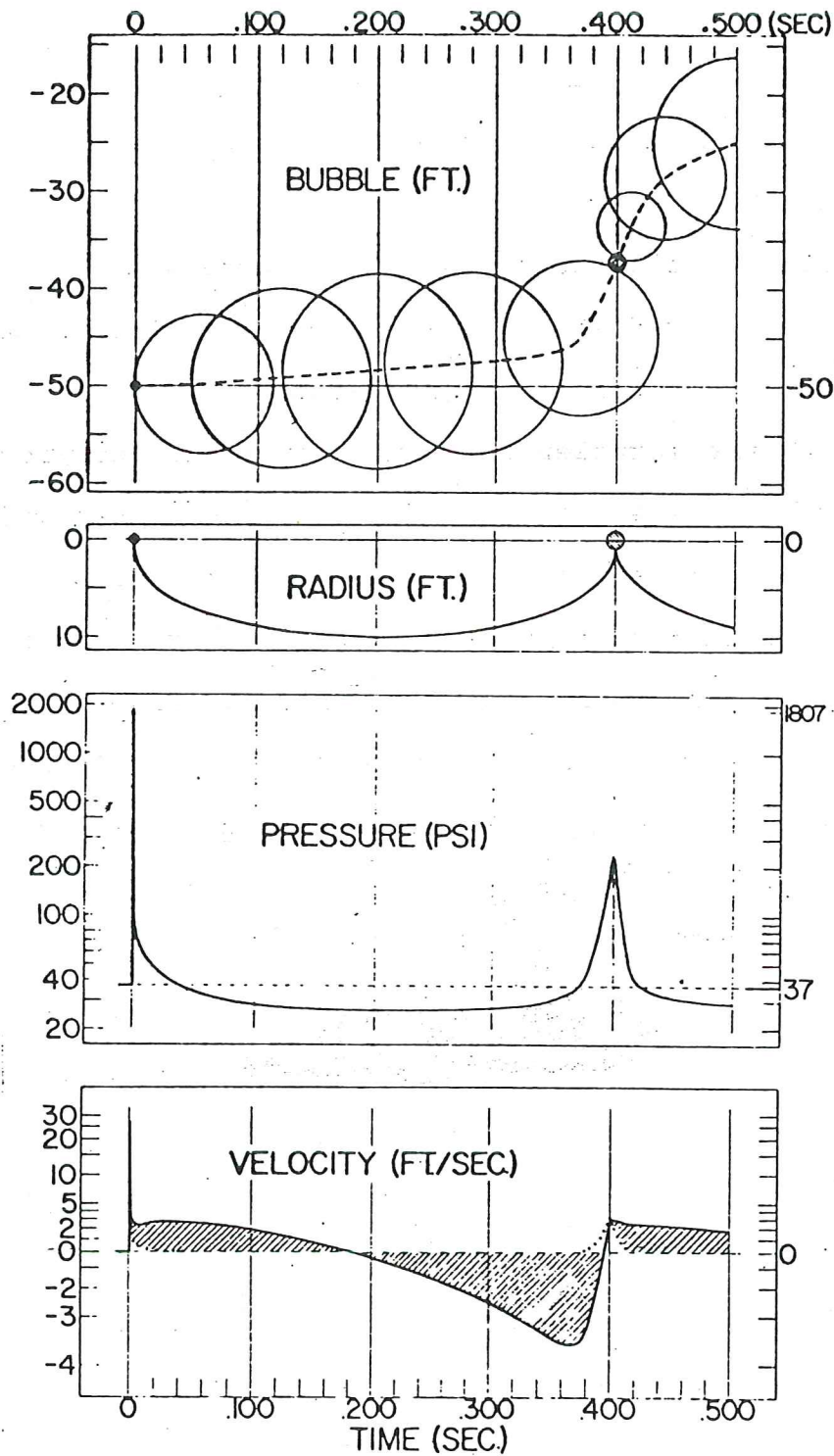


Fig. 56. Final amplitude spectra to be expected at two distances from the source, under the representative conditions of Figures 54 and 55.



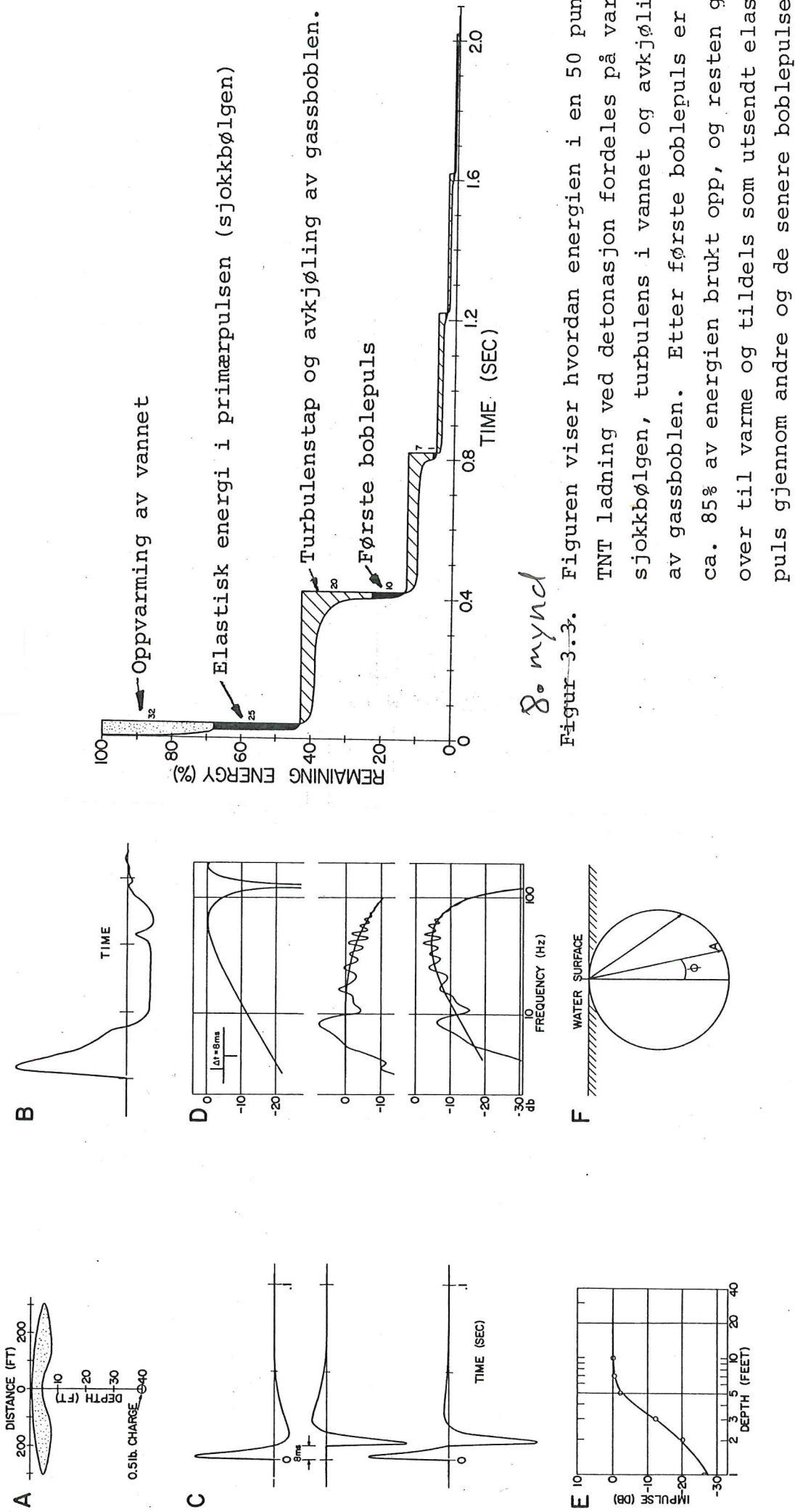


7. mynd

Figur 3.2. Figuren viser øverst hvordan gassboblen fra en 50 pounds TNT ladning utvider seg og trekker seg sammen og migrerer mot havoverflaten. Som funksjon av tiden etter detonasjonen. Vertikalskala er fot under overflaten. Dernest viser figuren hvordan gassboblens radius varierer med tiden, vertikalskala i fot. Dernest viser figuren trykkforløpet til gassboblen. Trykket er oppgitt i pund per kvadrattomme. Nederst vises hvordan partikkelhastigheten i fot pr. sekund varierer som funksjon av tid. Trykk og hastighetssignaturene er de som ville bli målt i 10 meters avstand fra detonasjonen i 50 fots dyp. (Fra Kramer et al. 1968).



*Haugland.*



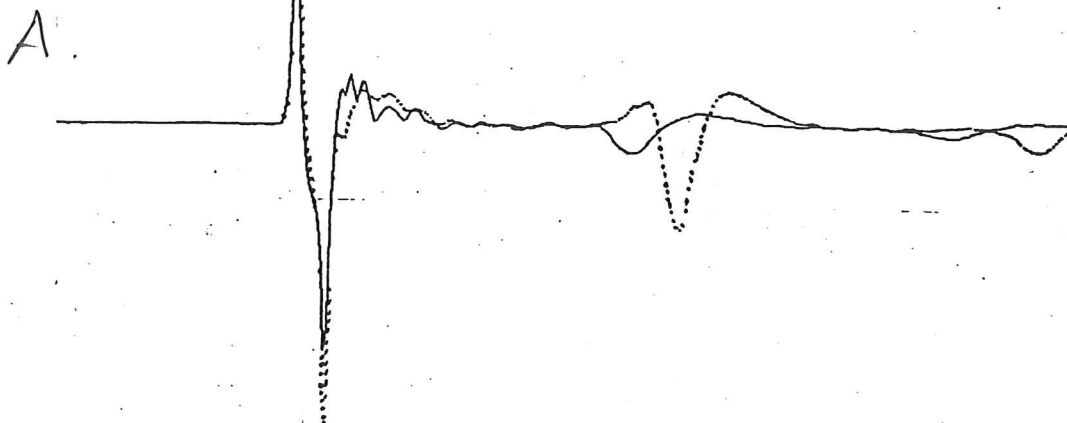
8. mynd

Figur 3.3. Figuren viser hvordan energien i en 50 pounds TNT ladning ved detonasjon fordeles på varme, sjokkbølgen, turbulens i vannet og avkjøling av gassboblen. Etter første boblepuls er ca. 85% av energien brukt opp, og resten går over til varme og tildels som utsendt elastisk puls gjennom andre og de senere boblepulser.

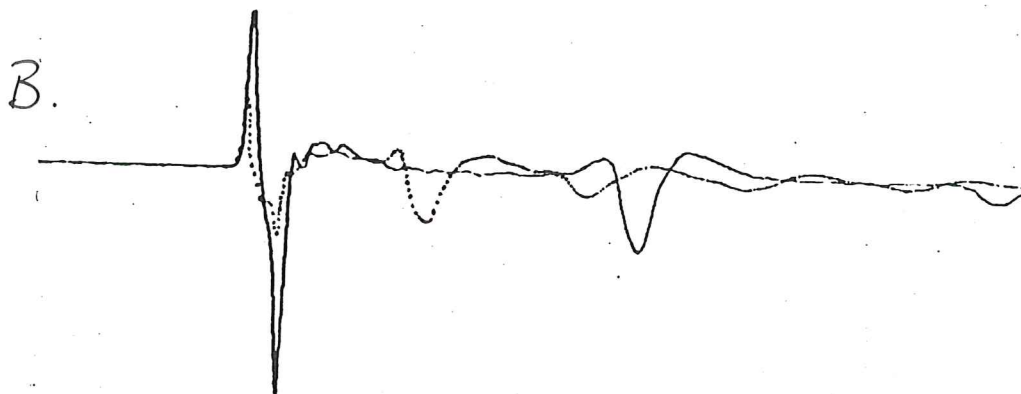
(Fra Kramer et al. 1968).

9. mynd

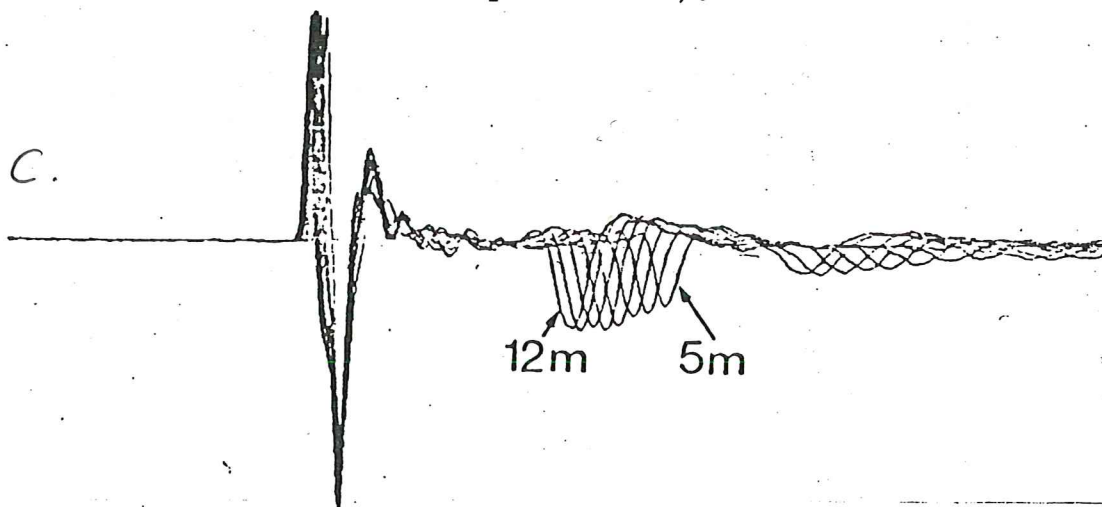
Figuren viser hvordan refleksjonen fra havoverflaten (ghosten) påvirker det utsendte seismiske signal. (Fra Kramer et al. 1968).

10. mynd

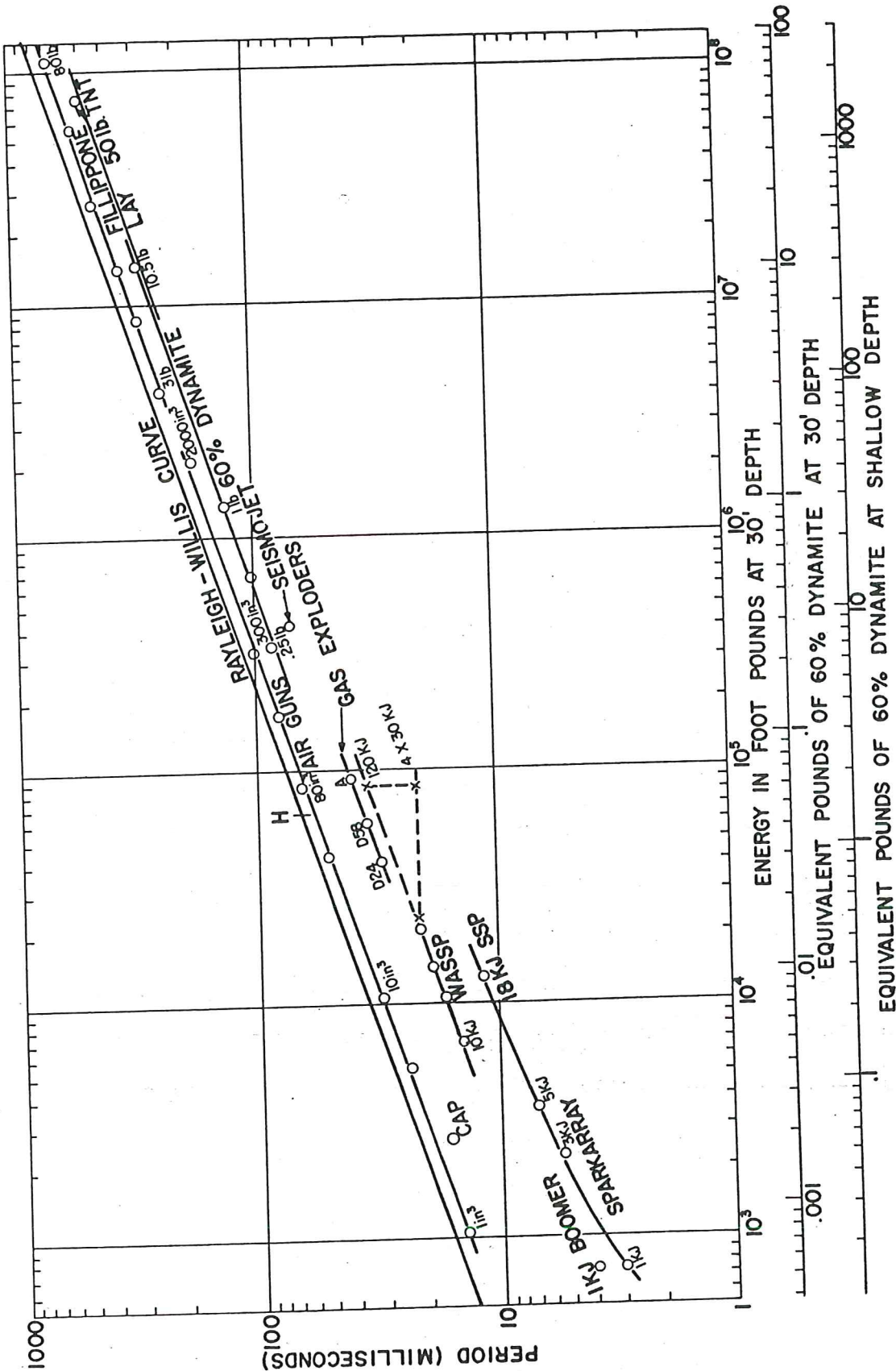
Figur 3.13. Figuren viser signaturen fra en luftkanon uten waveshapeplate (stiplet kurve) og signaturen fra en luftkanon med waveshapeplate plassert høyt i kammeret (heltrukken kurve).



Figur 3.14. Figuren viser signaturen fra en PAR 1500 kanon med ca. 500 kubikktommers volum (heltrukken kurve) og en 1500 C kanon med 40 kubikktommers volum (stiplet kurve).



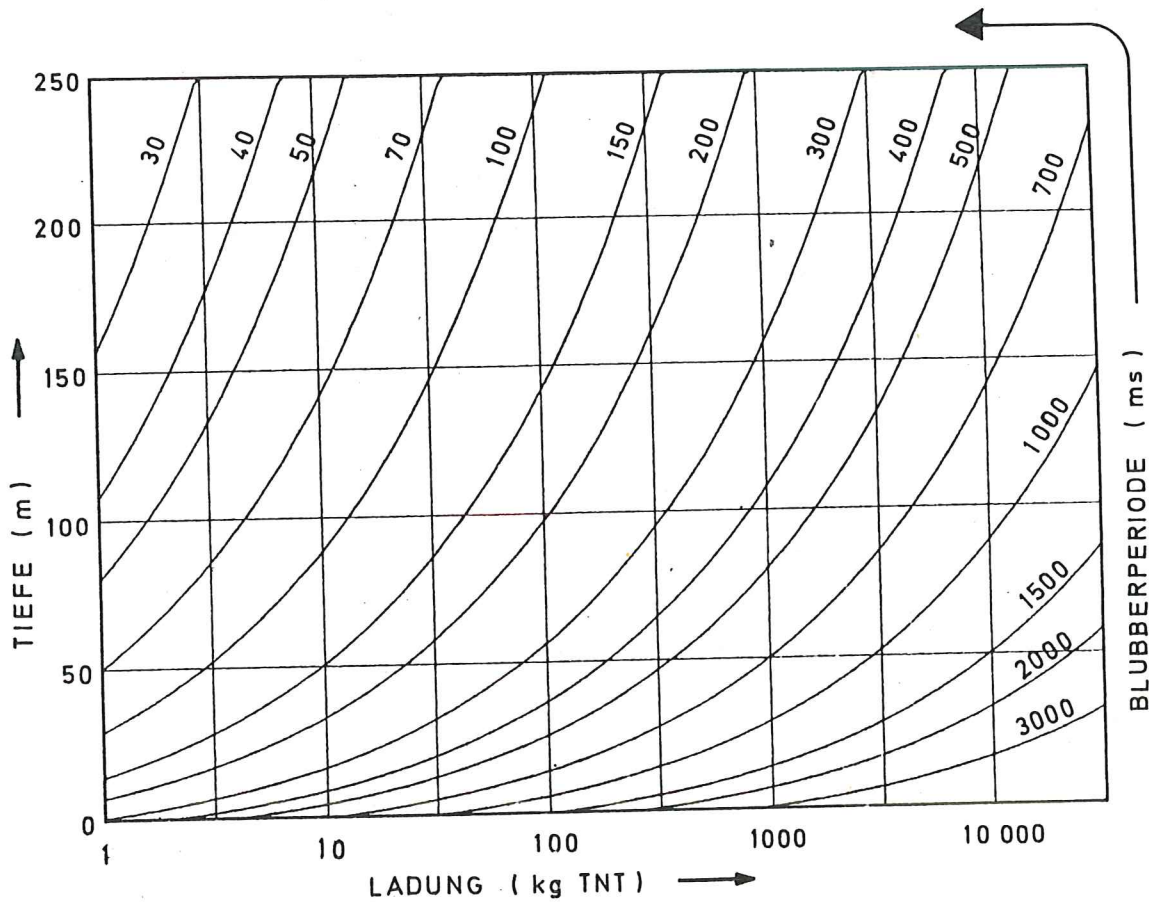
Figur 3.15. Figuren viser hvordan bobleperioden endres med avfyriingsdyp mellom 5-12 meters dyp, mens amplituden til signalet holdes konstant. PAR 1500 C kanon.



Figur 3-39. Figuren viser bobleperiode som funksjon av energi for endel ulike energikilder. Til sammenligning er Rayleigh Willis kurve tegnet opp. (Etter Kramer et al. 1968).

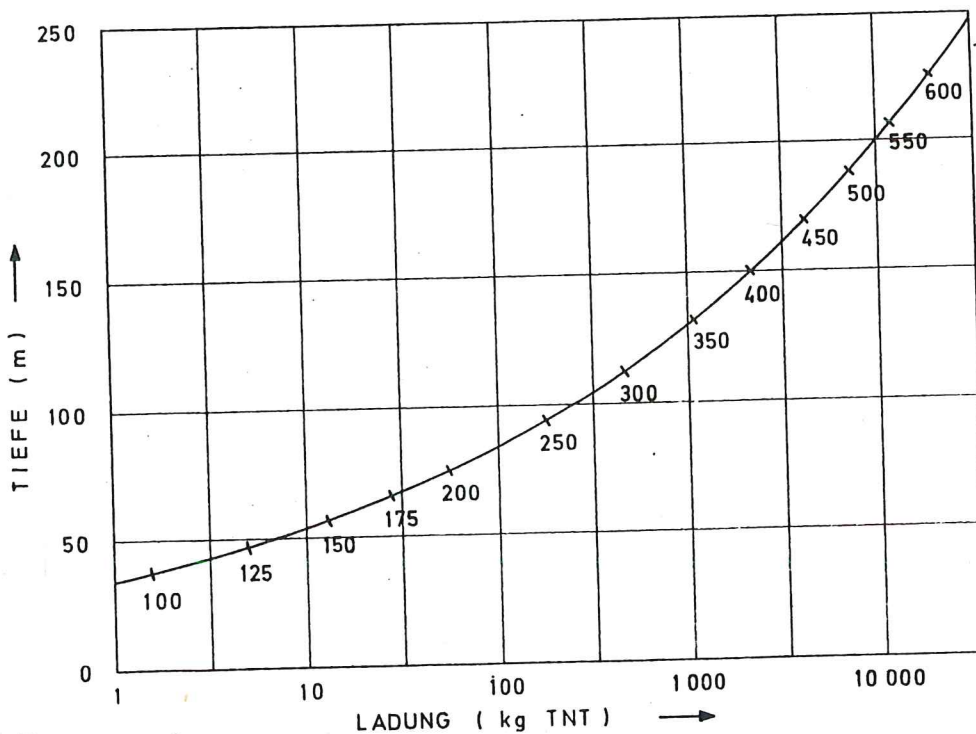
11. mynd.





12. mynd

Abb. 3.3: Blubberperiode als Funktion von Ladung und Tiefe nach der Formel von WILLIS. Für Ladungen in Gramm ist die Periode 1/10 des angegebenen Wertes.



13. mynd

Abb. 3.9: Optimale Wassertiefe für Sprengungen mit TNT. Der gemeinsame Wert der Blubber- und Wasserperiode ist in ms angeschrieben.

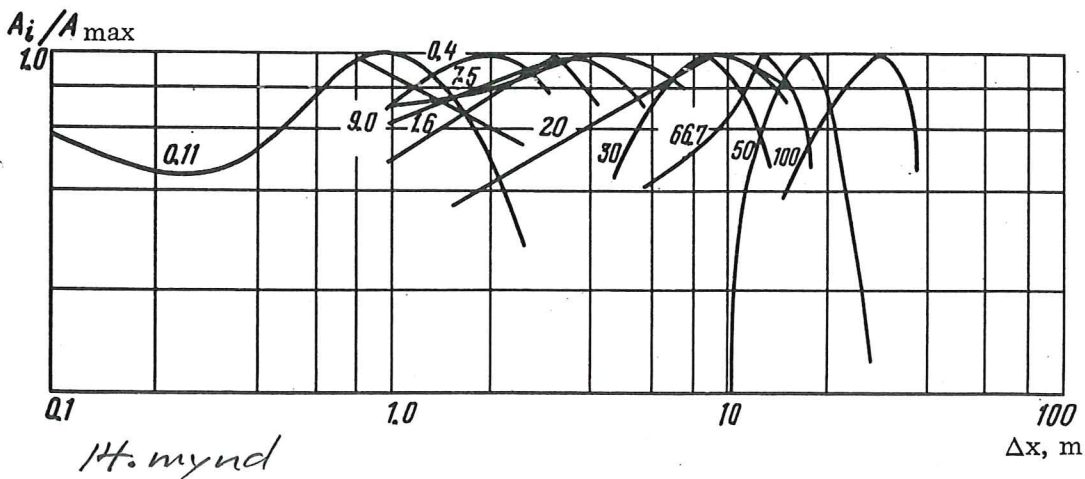
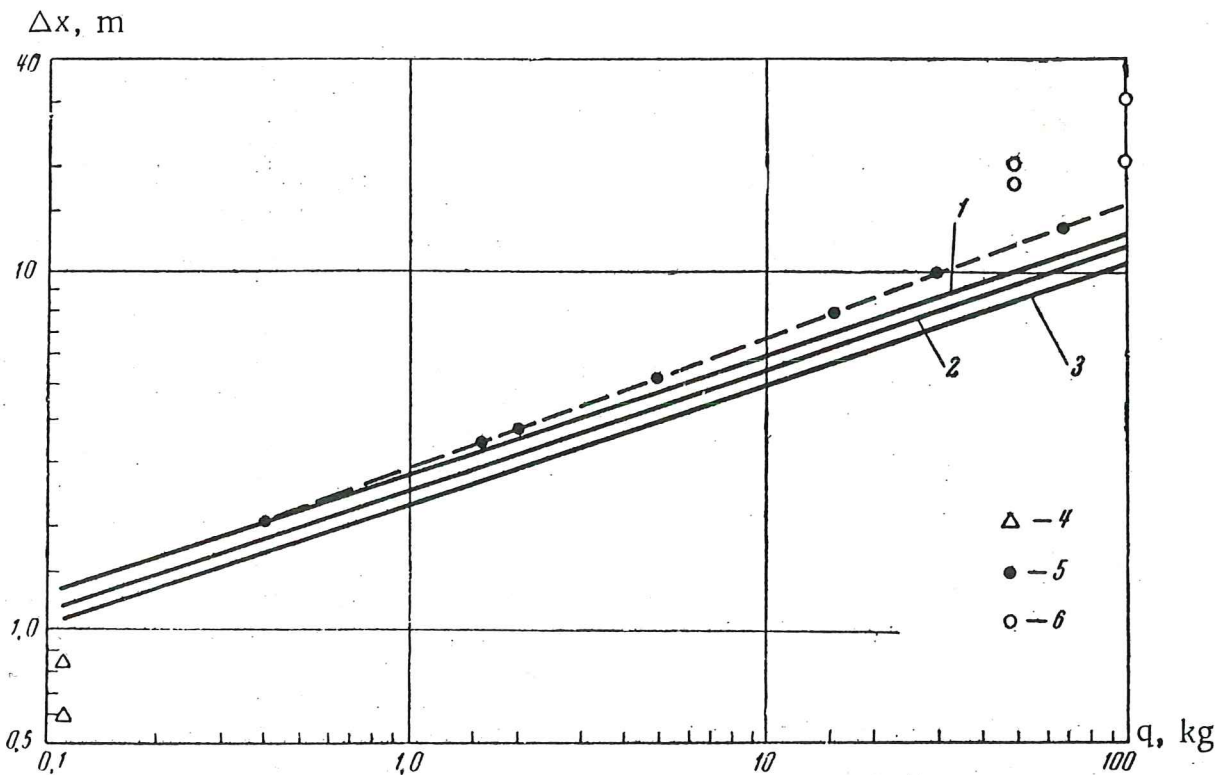


Fig. 2.1. Optimum separation between shot holes for different sizes of the individual charges (Mikhota and Tulina [123]). The figure with each curve is the charge size in kilograms.

G. G. MIKHOTA AND YU. V. TULINA



*15. mynd* Fig. 7. Dependence of computed (solid lines) and experimental (dashed line) optimal distances between shot holes on weight  $q$  of a single shot for detonations in different rocks. 1) Sand; 2) clay; 3) limestone; 4) using data from [14]; 5) using data from [18, 19]; 6) using data obtained by the authors and Yu. G. Yurov's data for the Caucasus.

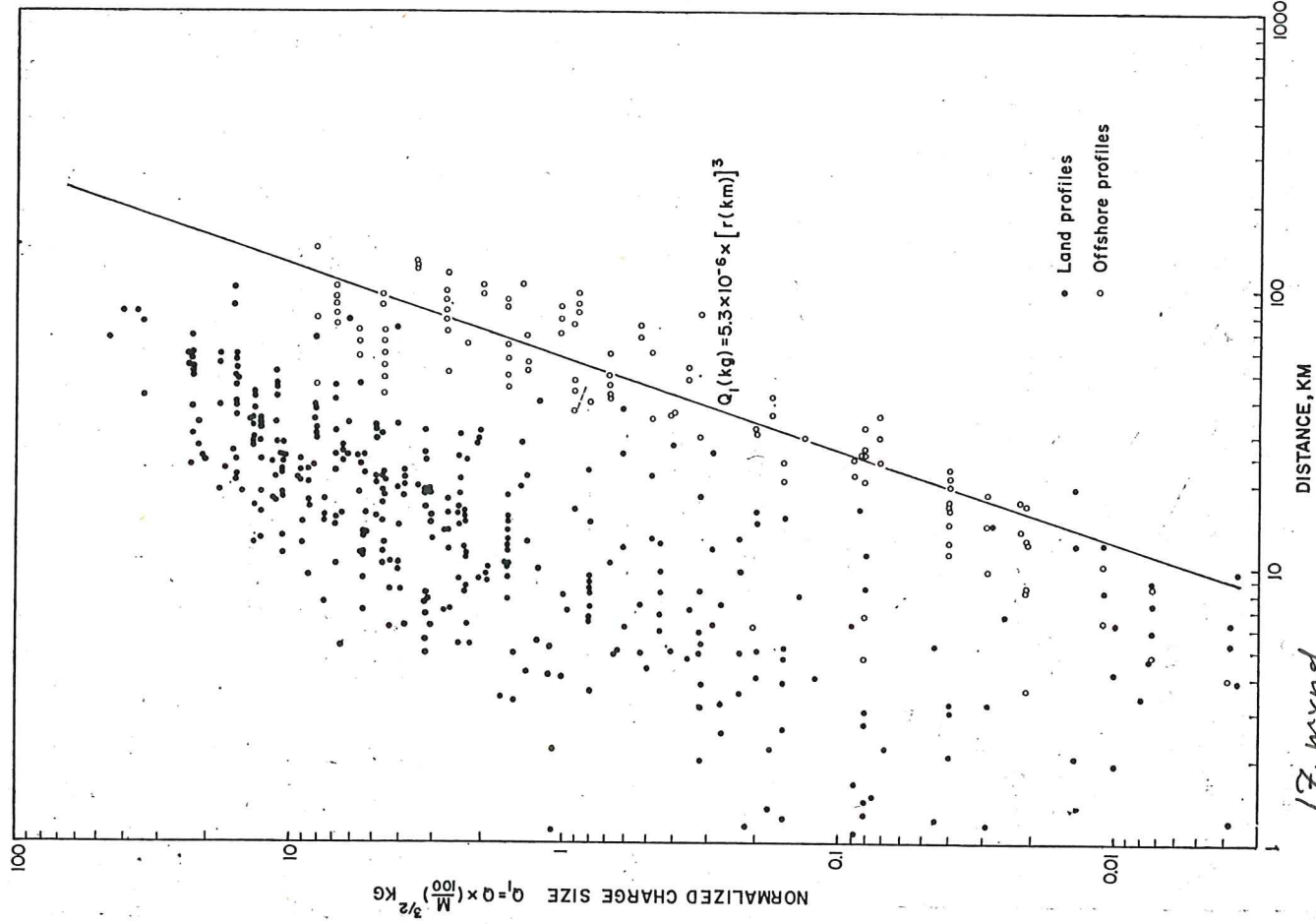


Fig. 4. Charge size used at various distances, normalized to an instrumental amplification ( $M$ ) of 100 per cent.

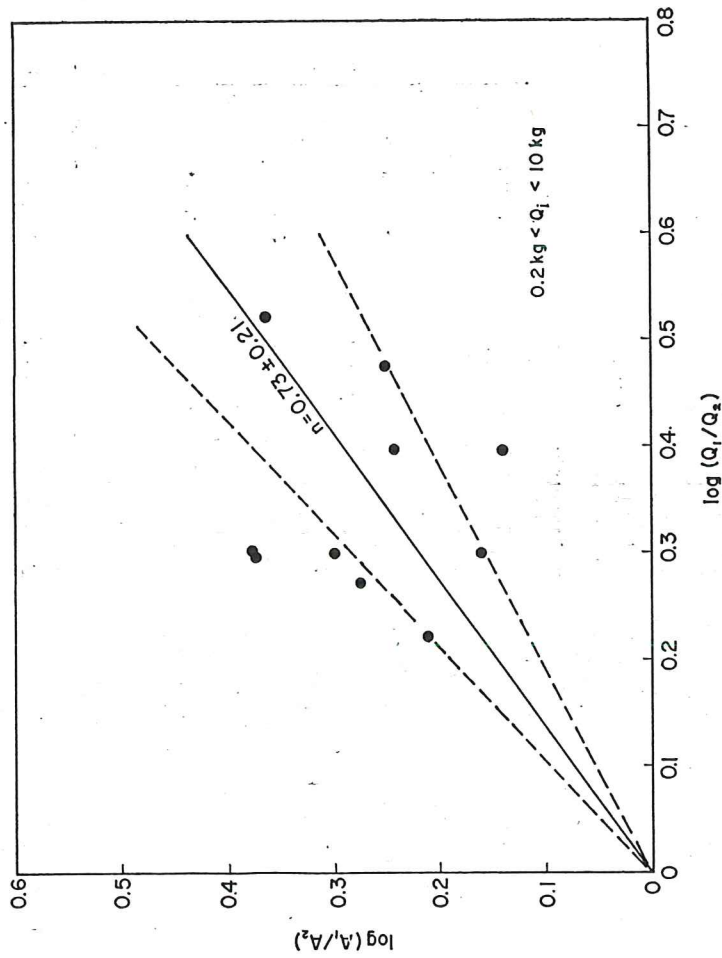


Fig. 3. Dependence of amplitude on charge size. The dashed lines show the 95% confidence limits on the exponent  $n$ .

16. mynd