

FORTSATTA FÖRSÖK ATT MÄTA DÄMPNINGEN AV
LUFTSTÖTVÅGEN FRÅN EN LADDNING SOM OMGES
AV OLIKA MATERIAL MED VARIERANDE TJOCKLEK.

Algot Persson och Lars-Åke Almgren

DS 1972:3

13.2.1972

STIFTELSEN
SVENSK DETONIKFORSKNING
SWEDISH DETONIC RESEARCH FOUNDATION

VINTERVIKEN — 117 48 STOCKHOLM
SWEDEN

FORTSATTA FÖRSÖK ATT MÄTA DÄMPNINGEN AV
LUFTSTÖTVÅGEN FRÅN EN LADDNING SOM OMGES
AV OLIKA MATERIAL MED VARIERANDE TJOCKLEK.

Algot Persson och Lars-Åke Almgren

DS 1972:3

13.2.1972

Sammanfattning:

Efter avslutande av rapport DS 1971:24 har några kompletterande försök med ljudtrycksmätningar på såväl friliggande som täckta laddningar utförts. Mätningar av luftstöt vågens maximaltryck på 5 m:s avstånd från laddningar om 20 - 40 g visar en avvikelse på upp till 11 % från medelvärdet. Ljudtryckvågen från laddningar nedsänkta i vatten har studerats. Genom att beräkna en dämpningsfaktor utgörande kvoten mellan ljudtrycket från detonationen av en täckt laddning och ljudtrycket från en lika stor friliggande laddning har egna modellförsök kunnat jämföras med resultat från kratersprängningar utförda i Frankrike. Resultaten från amerikanska ljudtrycksmätningar vid sprängning av laddningar i berg har jämförts med några mätningar utförda i samband med pallsprängning i stenbrott.

Inledning.

De försök att dämpa luftstöt vågen genom täckning av laddningen med olika material som redovisats i rapport DS 1971:24 har kompletterats med några mätningar på laddningar i cylindrar av gips och lättbetong samt på laddningar nedsänkta i vatten. Volymvikterna för de täckningsmaterial som undersökts omfattar då 0.2; 0.3; 0.6; 1.0; och 1.6 kg/dm³ och sambandet mellan dämpning och volymvikt vid konstant materialtjocklek kan anges.

Som framgick av rapport DS 1971:24 uppvisade ljudtrycksmätningarna på friliggande laddningar om 10 - 15 g ganska stor spridning i maximaltrycket för identiska laddningar på 125 m:s avstånd. För att klarlägga om den dåliga reproducerbarheten berodde på mätmetoden och den använda mikrofonutrustningen har luftstöt vågens maximaltryck från samma laddningsstorlekar uppmätts på 4.8 m:s avstånd med en annan mätutrustning.

1. Luftstöt vågens maximaltryck från laddningar i fri luft.

Stöt vågens trycktidförlopp för fria laddningar registrerades med en 1/2" turmalinkristallgivare (fabr. Crystal Research), laddningsförstärkare (fabr. Kiestler 568) och oscilloskop (Tektronix 535). Laddningen avfyrades 1,6 m över marken och avståndet laddning - givare var 4,8 m. Försöksuppställningen framgår av fig. 1 och trycktidförloppet för två PETN-laddningar visas i fig. 3 a) och b). Försök gjordes med laddningar av sprängdeg, TNT, PETN och Dynamex. Resultaten framgår av tabell 1 och diagrammet fig. 2. Jämför vi nu spridningen i maximaltryck vid mätning på 4,8 m:s avstånd och vid mätning av ljudtrycket på 125 m:s avstånd, tabell 2 finner vi att för TNT, sprängdeg och Dynamex är spridningen mindre och för PETN är spridningen större vid mätning på 4,8 m:s avstånd, icke desto mindre är avvikelserna från medelvärdet över mätserien i några fall så stor som 8 % för sprängdeg och 11 % för TNT. Minsta spridningen i maximaltryck uppvisar Dynamex-laddningarna. Det kan anses uteslutet att vädersituationen på något sätt påverkat mätningarna på så kort avstånd. Man kan alltså konstatera att de tidigare observerade differenserna i maximaltryck för lika laddningar inte beror på fel i mätutrustningen (mikrofon + bärfrekvensförstärkare) utan hänger samman med detonationsförloppet. Om vi beräknar stöt vågens maximala side on-tryck för 43 g TNT på 4,8 m:s avstånd med hjälp av ett samband enligt Granström /4/ erhåller vi ett tryck på c:a 80 mbar.

Mätningarna gav ett medelvärde på 90 mbar. Överensstämmelsen är god om man tar i betraktande att mätsonden var riktad mot laddningen och således bör visa inverkan av reflexion.

2. Laddningar i gips- och ytongblock.

Ljudtrycket på 125 m:s avstånd från laddningar i cylindrar av gips och ytong uppmättes med den tidigare beskrivna mikrofonutrustningen /1/. Cylindrarnas höjd och diameter var 25 cm. En urborring gjordes för laddningen se fig. 4.

Volymvikten för gipscylindern bestämdes till $1,0 \text{ g/cm}^3$ och för ytongcylindern till $0,6 \text{ g/cm}^3$. Resultaten framgår av tabell 3. För att kunna jämföra dessa resultat med de tidigare är det lämpligt att i likhet med Béranger /2/ och Reed /3/ beräkna dämpningsfaktorn T vilken är förhållandet mellan ljudvågens maximaltryck från en täckt laddning och maximaltrycket från samma laddning i fri luft d.v.s.

$$T = \frac{P_{\max} \text{ täckt laddning}}{P_{\max} \text{ fri laddning}}$$

Genom att avsätta T som funktion av volymvikten erhåller vi diagrammet fig. 5 som visar hur dämpningen beror av volymvikten vid konstant materialtjocklek. Materialen har emellertid olika porositet och man lägger märke till att svampmaterialen trots sin ringa volymvikt ger god dämpning.

3. Dämpning av luftstötstången vid nedsänkning av laddningar i vatten.

Ljudet från en laddning reduceras kraftigt då den detoneras nedsänkt i vatten. I två försöksserier med Dynamex-laddningar om 50 respektive 200 g och en serie med laddningar av pressad PETN har ljudtrycket uppmätts på 110 m:s avstånd från laddningarna, vilka avfyrades på djup mellan 5 och 30 cm under ytan. De cylindriska laddningarna upphängdes med sin axel parallellt med vattenytan och med laddningsdjupet avses avståndet mellan vattenytan och laddningens längdaxel. De minsta Dynamex-laddningarna dämpades kraftigt redan vid 15 cm djup och trycktidförloppet antog karaktären av en akustisk signal utan någon egentlig trycktopp (se fig. 6). Ökningen av laddningsstorleken till 200 g gav ett helt annat resultat som framgår av resultaten i tabell 4 och diagrammet fig. 7. Vid nedsänkning till 5 cm djup gav en 200 g:s Dynamexladdning samma eller till och med något högre maximaltryck än vid detonation av samma laddning i vattenytan.

Detta måste vara en följd av att vattenomslutningen får Dynamexen att detonera med hög hastighet. Initiering av en 29 mm:s Dynamexpatron i luft med TNT-primer ger visserligen hög hastighet i början av reaktionen men efter något mera än halva laddningslängden har detonationen återgått till låghastighetsnivå. Av denna anledning gav inte heller den patron som initierats med TNT primer nämnvärt högre tryck än samma laddning utan primer. För att undvika effekter av ovannämnda slag utbyttes Dynamexen mot pressad PETN. Mätresultaten för PETN-laddningar är samlade i tabell 5 och positiva maximaltrycket som funktion av laddningsdjupet visas i fig. 7. Av fig. 7 ser man hur förändringen från låghastighetsdetonation till höghastighetsdetonation för 200 g:s Dynamexladdningarna givit kurvan en flack början. För 50 g laddningarna har punkterna för 0,15 och 0,20 m djup inte kunnat inritas i diagrammet och det är tvivelaktigt om dessa mätningar har något värde med hänsyn till vad man skall anse vara maximaltryck.

4. Jämförelse med tidigare resultat och resultat från kraterförsök och pallsprängning.

Beräknar vi dämpningsfaktorn T för de försök som redovisas i DS 1971:24 och avsätter T som funktion av den reducerade tjockleken för täckningsmaterialet $h/Q^{1/3}$ där h är det täckande materialets tjocklek och Q laddningsvikten kan vi jämföra dessa försök med några mätningar på kratersprängningar enligt Béranger /2/. Av diagrammet fig. 8a framgår hur dämpningsfaktorn T beror av reducerade laddningsdjupet vid försök i sand enligt /2/ (heldragen kurva). Dämpningen för TNT cylindrar i sand enligt /1/ (egna försök) har avsatts som punkter. Överensstämmelsen är god trots att våra egna försök inte är kratersprängningar.

Om vi på samma sätt ritar upp dämpningen för laddningar i vatten och dämpningen av laddningar inneslutna i cylindrar av blöt tvättsvamp, så observerar man att för små skikt tjocklekar tycks den blöta svampen vara mer dämpande än bara vatten. Fig. 9 visar dämpningen av laddningar i lera enligt Béranger m.fl. /2/ och dämpningen av laddningar i vatten. Dämpningen i lera är ungefärligen dubbelt så stor som i vatten vilket sannolikt beror på den högre tätheten 1,8-2,1 g/cm³.

Reed /3/ har angivit en kurva för dämpningsfaktorns beroende av reducerade laddningsdjupet vid sprängning i berg. Det kan vara av intresse att jämföra resultaten av några ljudtrycksmätningar som utförts av Nitro Consult i samband med pallsprängningar i stenbrott.

Några laddningsdata för salvorna och de uppmätta och beräknade maximaltrycken återfinns i tabell 6. I fig. 10 har den av Reed angivna kurvan för dämpning av laddningar i berg uppritats. Denna kurva har sitt ursprung från mätningar gjorda i samband med sprängningar av såväl konventionella sprängämnen som kärnladdningar. Om vi nu avsätter dämpfaktorn för maximaltrycket från pallsprängningarna som funktion av reducerade försättningen $\frac{V}{Q^{1/3}}$ där Q avser samverkande laddning så kommer dessa punkter trots eventuella felkällor att ligga anmärkningsvärt nära den av Reed angivna kurvan se fig. 10. Mot detta förfarande kan man givetvis rikta den anmärkningen att i salvan kan ingå flera borrhål som detoneras i samma intervall och i så fall har man då automatiskt antagit att $P_{\max}$ för flera hål skulle motsvara $P_{\max}$ för ett hål med totala laddningsvikten. Av tabellen framgår dock att i fem utav de mätningar Nitro Consult utfört avfyrares endast ett borrhål i varje intervall. Dessa värden har utmärkts speciellt i diagrammet. Effekten av multipel-laddningar på maximaltrycket har omnämnts av Reed [3] som i ett diagram (fig. 11) ger sambandet mellan den faktor som amplituden för $P_{\max}$ skall multipliceras med då man i stället för en laddning samtidigt avfyra ett antal laddningar placerade i linje. Diagrammet avser data som erhållits vid detonation av laddningsrader i samband med dikessprängning. Av diagrammet framgår att trycket blir störst vinkelrätt mot raden av laddningar och trycket från n samtidigt avfyra och lika stora laddningar är ungefär lika med $n^{0.7}$ gånger trycket från en av laddningarna. Något större material tycks dock ej ligga till grund för diagrammet. Tryckförhållandet vid detonation av multipel-laddningar borde därför undersökas mera ingående med hänsyn till samverkande laddningar i en pallsalva. I fig. 10 har dock ingen hänsyn tagits till att eventuellt flera hål ingår i ett intervall, därför att inverkan av väderfaktorer kan ge ett betydligt större fel vid beräkning av dämpningsfaktorn. Det vore synnerligen värdefullt om man med ytterligare och mer systematiska mätningar kunde verifiera det av Reed angivna sambandet för stötvågsdämpningen vid sprängning i berg. Med kännedom om detta samband och amplitudökningen vid detonation av samverkande laddningar är det då möjligt att på förhand beräkna maximala ljudtrycket från en planerad salva.

Slutsatser.

Undersökningen har visat att lika laddningar av 10-50 g:s vikt vid detonation fritt upphängda inte ger helt reproducerbara maximitryck ens på kort mätavstånd vilket således måste beaktas vid ljudtrycksmätningar med laddningar i modellskala.

Orsaken till avvikelsen kan bero på antingen ofullständig detonation eventuellt i samband med bristfällig initiering eller varierande grad av efterförbränning av bränsleöverskott (C, CO o.s.v.). Större laddningsstorlekar skulle sannolikt ge bättre resultat men kan ej tillåtas på den hittills använda försöksplatsen.

Genom att avsätta dämpningsfaktorn som funktion av reducerade materialtjockleken kan de tidigare utförda modellförsöken jämföras med andra experiment. Ett sådant samband för sprängning i berg angivet av amerikanska källor borde vara användbart vid en grov beräkning av ljudtrycket från t.ex. pallsalvor, givetvis med hänsynstagande till väderfaktorerna.

Litteraturreferenser.

1. Persson, A.
Almgren, L-Å.

Försök att mäta dämpningen av luftstöt vågen från en laddning som omges med material med varierande tjocklek.- DS 1971:24.
Stiftelsen Svensk Detonikforskning.
2. Béranger, R., m.fl.

Dämpningen av luftstöt vågen från en laddning i jord.-
Föredrag vid Institut für Chemie der Treib- und Explosivstoffe, Jahrestagung 1970, Karlsruhe, Bundesrepublik Deutschland.
Översättning av Algot Persson.
DS 1971:38.
Stiftelsen Svensk Detonikforskning.
3. Reed, J.W.

Air blast from Plowshare projects.-
Proceedings of the Symposium on Education for the peaceful uses of Nuclear explosives.
Tucson University of Arizona, Press, Tucson, 1970.
4. Granström, S.A.

Loading Characteristics of Air Blasts from Detonating Charges, Acta Polytechnica 3 nr 5 (1956)

Tabell 1. Stötvågens maximaltryck på 4,8 m:s avstånd från fria laddningar i luft.

Sprängämne	Diam. mm	Längd mm	Vikt g	P _{max} mbar
TNT	29	42	43	85
	"	"	"	80
	"	"	"	80
	"	"	"	100
	"	"	"	95
	"	"	"	100
	"	"	"	90
PETN	25	25	18.5	70
	"	"	"	65
	"	"	"	70
	"	"	"	75
	"	"	"	65
	"	"	"	85
Dynamex	22	50	28	40
	"	"	"	40
	"	"	"	40
	"	"	"	40
	"	"	"	43
	"	"	"	40
Sprängdeg	25	50	39	103
	"	"	"	95
	"	"	"	93
	"	"	"	90
	"	"	"	103
	"	"	"	105

Tabell 2. Maximaltrycket på 125 m:s avstånd från laddningar av PETN, Dynamex och sprängdeg avfyrate 1 m ovan marken.

Sprängämne	Diam. mm	längd mm	vikt g	P _{max} mbar
Dynamex	25	50	32	0.57
"	"	"	"	0.42
"	"	"	"	0.46
"	"	"	"	0.46
"	"	"	"	0.40
"	"	"	"	0.38
Sprängdeg	25	50	39	1.8
"	"	"	"	1.6
"	"	"	"	1.7
"	"	"	"	1.3
"	"	"	"	1.3
"	"	"	"	1.5
PETN	25	25	18.5	1.8
"	"	"	"	2.0
"	"	"	"	2.0
"	"	"	"	1.9
"	"	"	"	1.9

Tabell 3. TNT-laddningar i cylindrar av Ytong och gips.

Material	Volym- vikt ₃ g/cm ³	Cylinder		Mat. tjockl. cm	P _{max} mbar	Dämpn. % av fri laddn.	
		Diam. cm	Höjd cm				
Luft	-	-	-	-	1.37		Fri laddn.
"	-	-	-	-	1.90		- " -
Ytong	0.6	25	25	11	0.57	65	
"	0.6	25	25	11	-		
Gips	1.0	25	25	11	0.49	70	
"	1.0	25	25	11	0.48	70	

Tabell 4. Ljudtryck från Dynamexladdningar nedsänkta i vatten vid ett avstånd av 110 m från laddningen.

Q g	Djup m	P _{max} mbar	Dämpn. % av fri laddning.	
50	0	2.06	-	Laddningar över ytan
"	0	2.06	-	" " "
"	0	2.06	-	" " "
"	0.05	0.39	81	
"	0.1	-	-	ingen svepstart
"	0.1	0.23	89	
"	0.1	0.21	90	
"	0.15	(0.008)	99.7	
"	0.2	-	-	ej uppmätbart
"	0.2	(0.005)	99.8	
"	0.2	(0.013)	99.5	
"	0.3	-	-	ej uppmätbart
"	0.3	-	-	" "
200	-0.3	3.30	-	0.3 m över ytan
	0	2.75	-	
	0	3.40	-	initiering med Spk 8, 5 g TNT
	0.05	3.30	2	
	0.05	3.52	-	
	0.1	2.29	32	
	0.1	2.64	21	
	0.15	0.66	80	
	0.15	0.64	81	
	0.2	> 0.18	-	
	0.2	0.49	85	

Tabell 5. Ljudtrycket från PETN cylindrar (43 x 60 mm, 133 g)
nedsänkta i vatten. Mätavstånd 110 m.

Djup m	P _{max} mbar	Dämpn. % av fri laddn.	Anm.
0	4.49		Laddningen i ytan
0	4.49		
0.05	3.40	24	
0.05	3.18	29	
0.1	1.87	58	
0.1	1.93	57	
0.15	1.0	78	
0.15	1.0	78	
0.2	0.79	82	
0.2	0.76	83	

Tabell 6. Data och mätvärden från ljudtrycksmätningar vid pallsprängningar.
Mätningarna utförda av Nitro Consult, Göteborg.

Datum	Ort	Salva V m	Salva E m	Laddning Q			Ljudvåg P _{max} enl.mät. mbar	P _{max} för friligg. Q mbar	Dämpn.- faktor T	Mätavst. m	
24.2.71	Göteborgs Makadam Kållered	4.3	-	27	120	3023	0.12	6.4	0.019	540	Ett hål i varje intervall
"	"	"	-	29	120	3192	0.31	7.3	0.042	470	"
8.3.71	"	"	-	29	110	3100	1.12	4.2	0.27	800	
19.3.71	SCG, Skövde	2.15	3.0	63	104	3276	0.19	2.0	0.095	1700	
7.4.71	Sk. Makadam, Åstorp	5.0	3.7	8	79	588	0.39	15.0	0.026	200	Ett hål i varje intervall
"	"	5.5	5.0	5	98	440	0.63	18.2	0.034	160	"
"	"	4.0	4.0	9	67	582	0.97	23.7	0.040	120	"
23.4.71	SCG, Önnestad	2.75	-	-	105	3500	0.55	5.1	0.107	650	
6.5.71	SCG, Torsfors	2.0	-	-	236	5000	0.32	7.2	0.24	600	

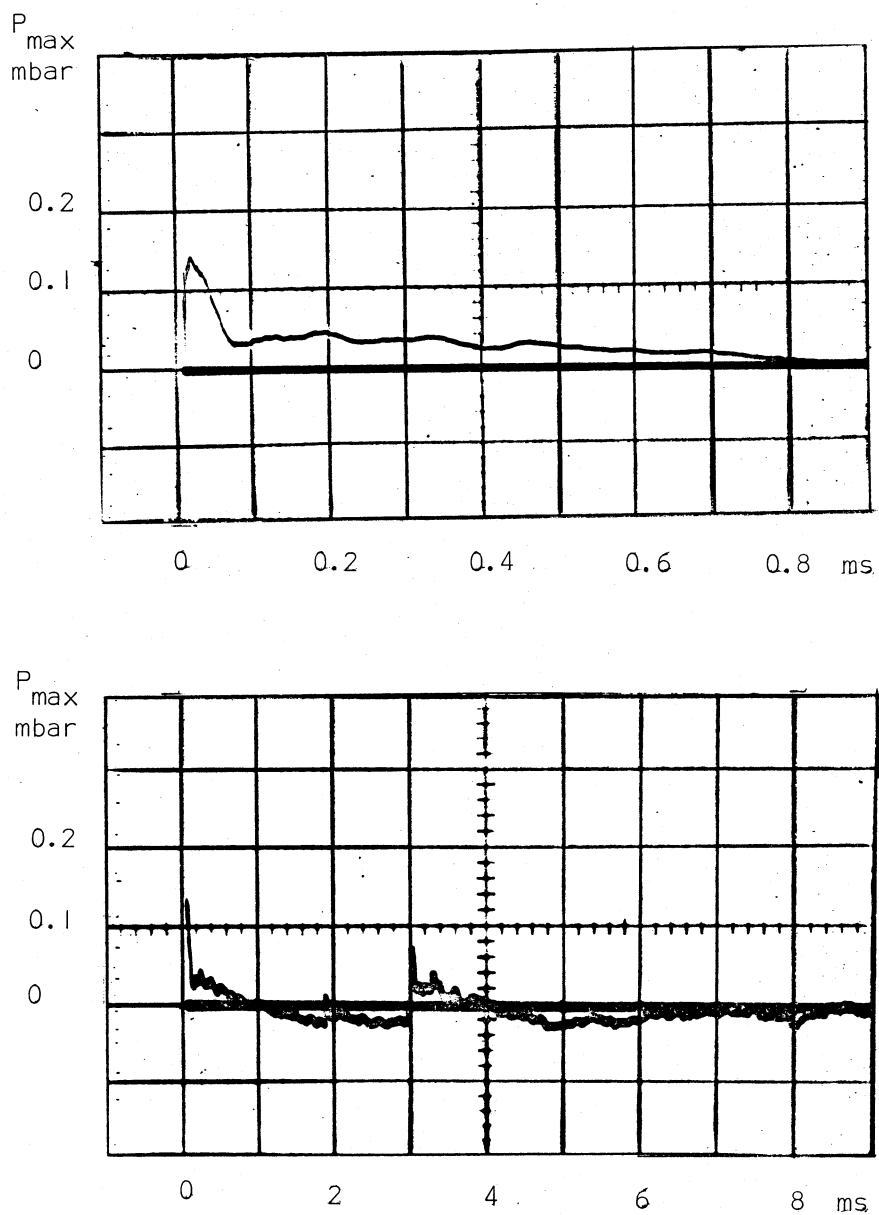


Fig. 3. Stötvågens trycktidförlopp på 4.8 m:s laddningsavstånd vid detonation av en 18.5 g:s PETN cylinder.

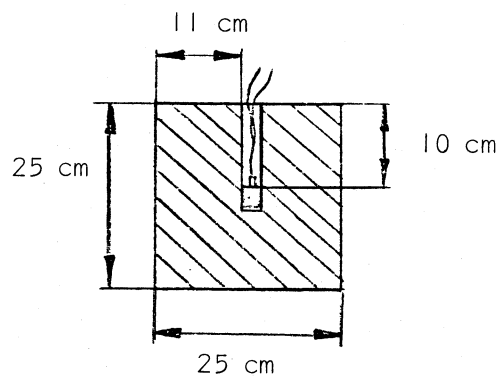


Fig. 4. Måttskiss för cylindriska block av Ytong och gips.

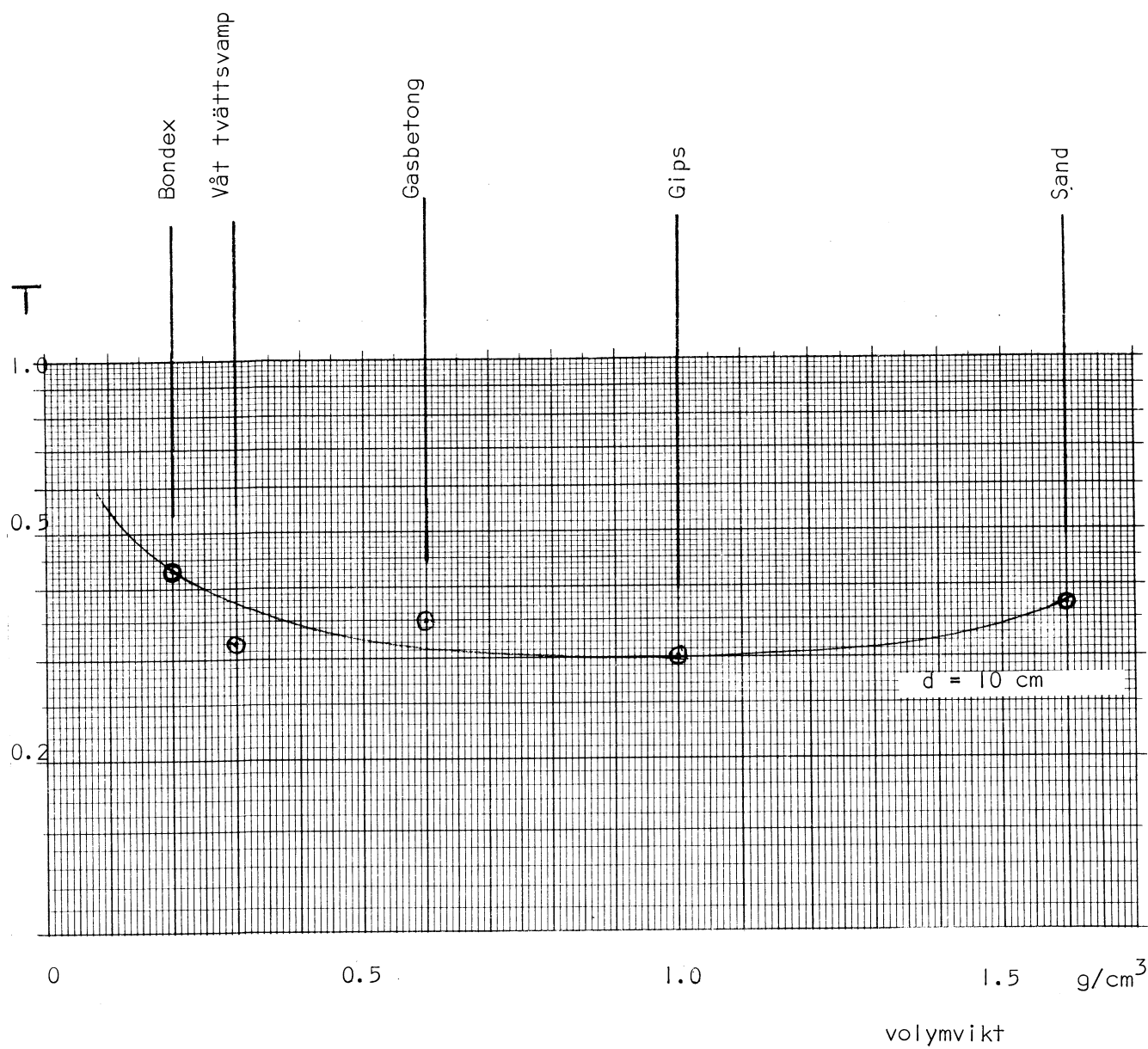
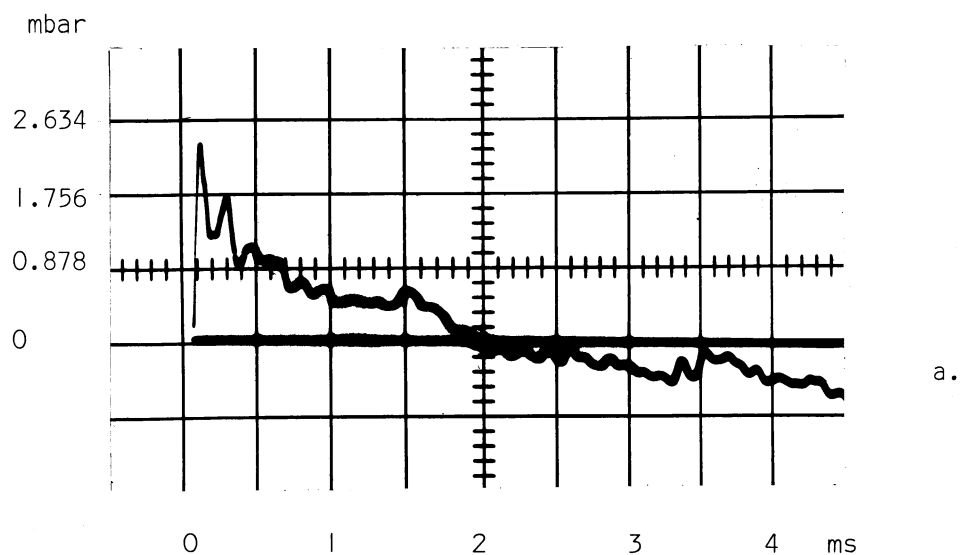
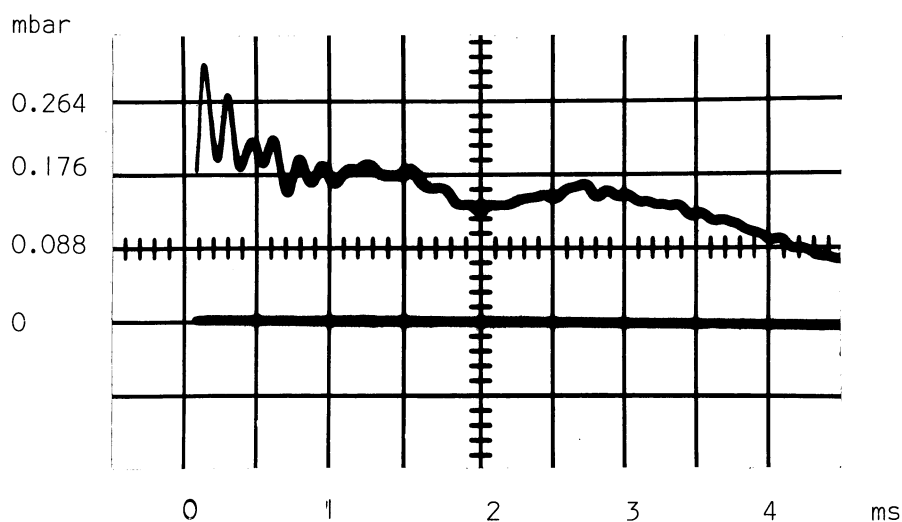


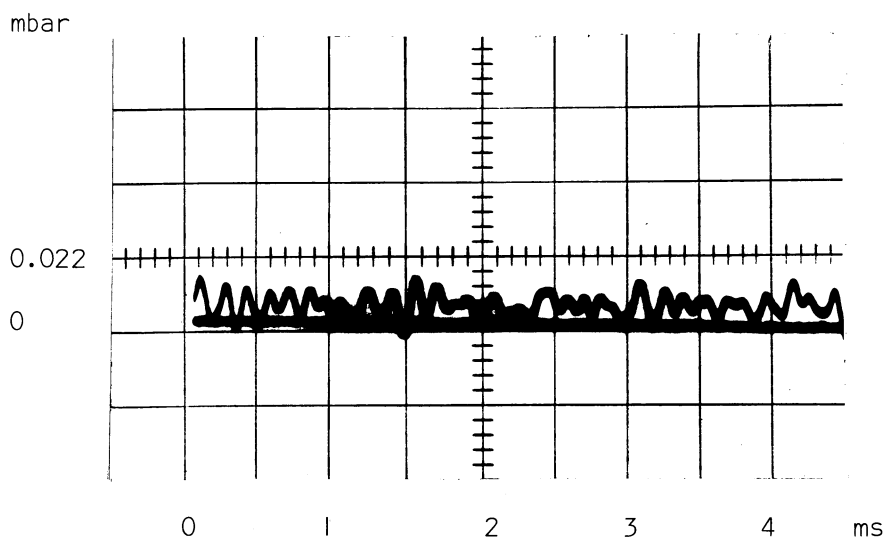
Fig. 5. Dämpningsfaktorns (T) beroende av volymvikten. Cylindriskt täckningsmaterial med tjockleken 10 cm.



a.



b.



c.

Fig. 6. Luftstöt vågens tryck-tidförlopp på 110 m:s avstånd från a/ laddning 30 cm över vattenytan b/ laddning 10 cm under vattenytan c/ laddning 20 cm under vattenytan.

Fig. 7. Positiva max.-trycket som funktion av vattendjupet för laddningar av PETN och Dynamex.

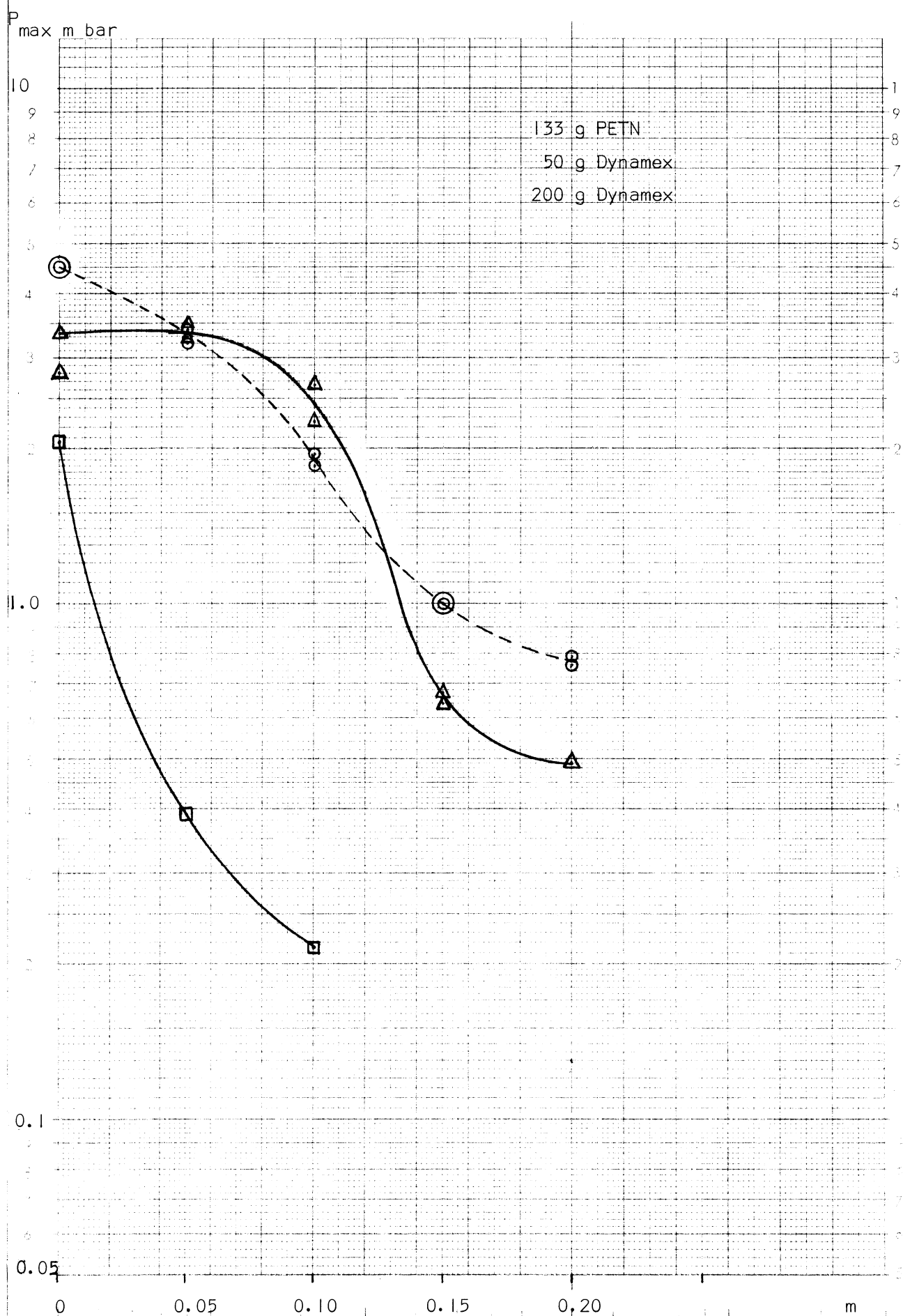


Fig. 8a. Dämpningsfaktorn som funktion av reducerade laddningsdjupet vid detonation i sand. Helt dragen kurva för sök i sand enl. Berangér /2/ (avst. 100 m), punkterna egna försök.

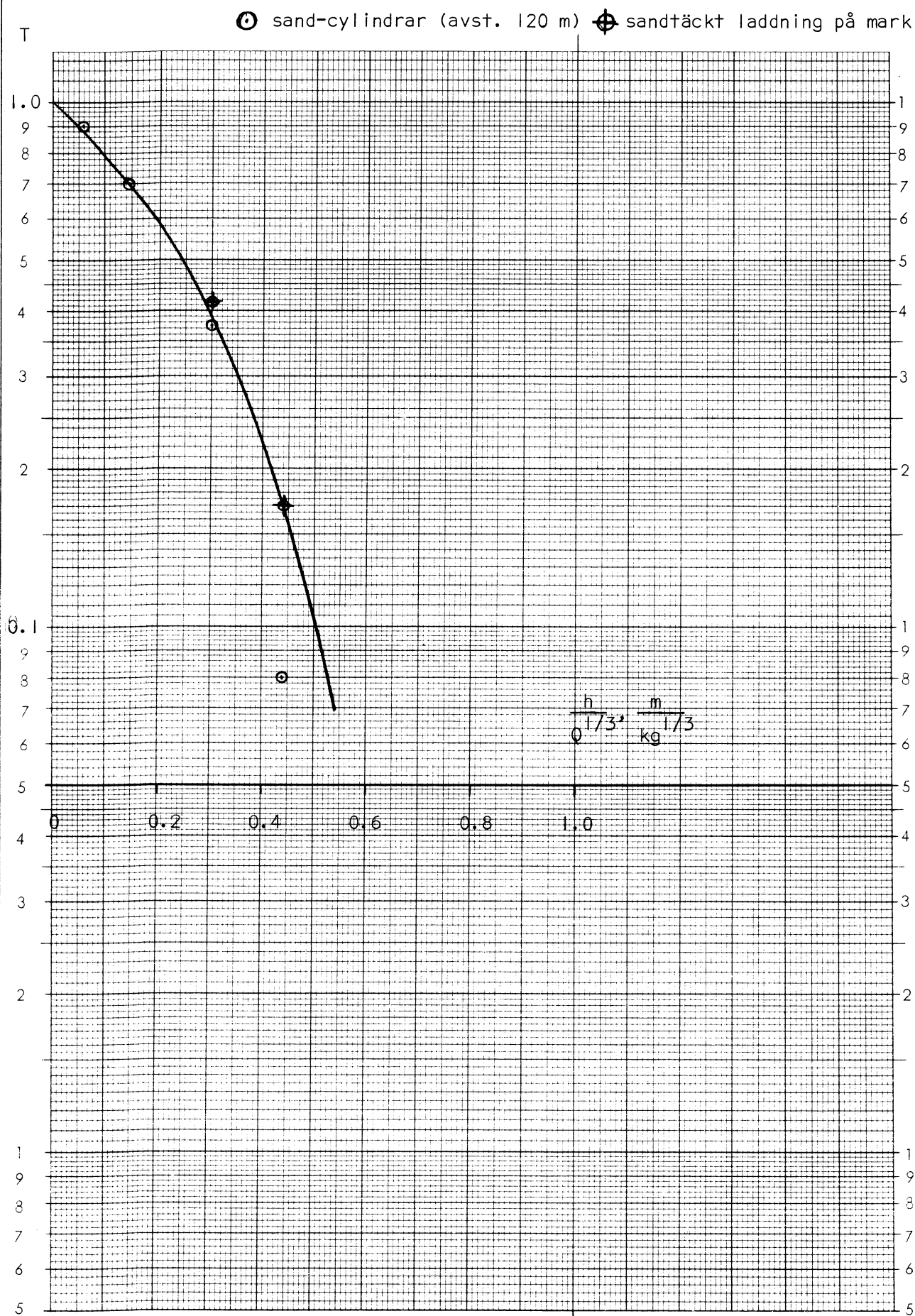


Fig. 8b. Dämpningsfaktorn som funktion av reducerade laddningsdjupet.

- laddningar täckta med blöt svamp
 ▲ laddningar i vatten

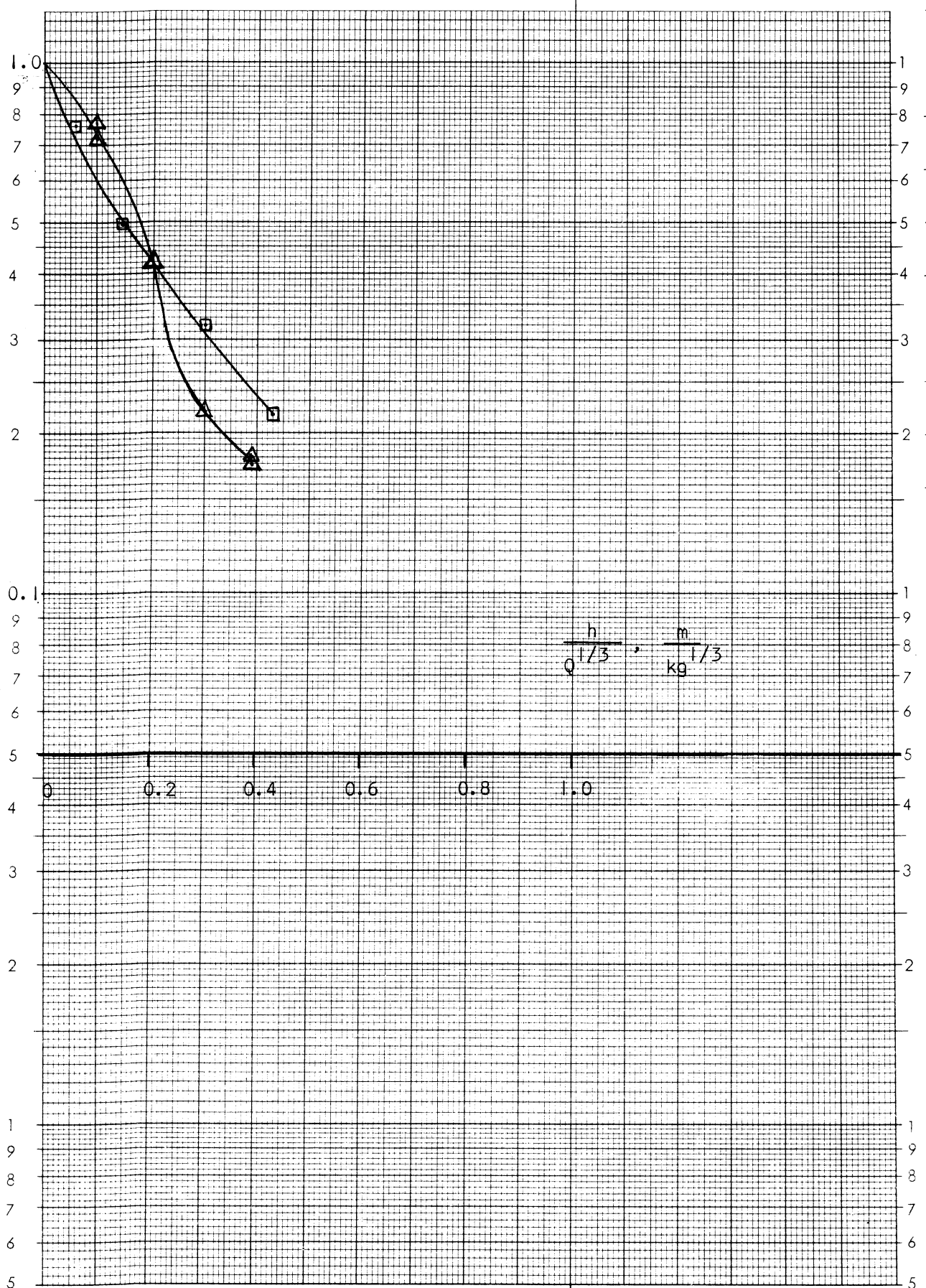


Fig. 9. Dämpningsfaktorn som funktion av reducerade laddningsdjupet för lera och vatten.

Streckad kurva = vatten

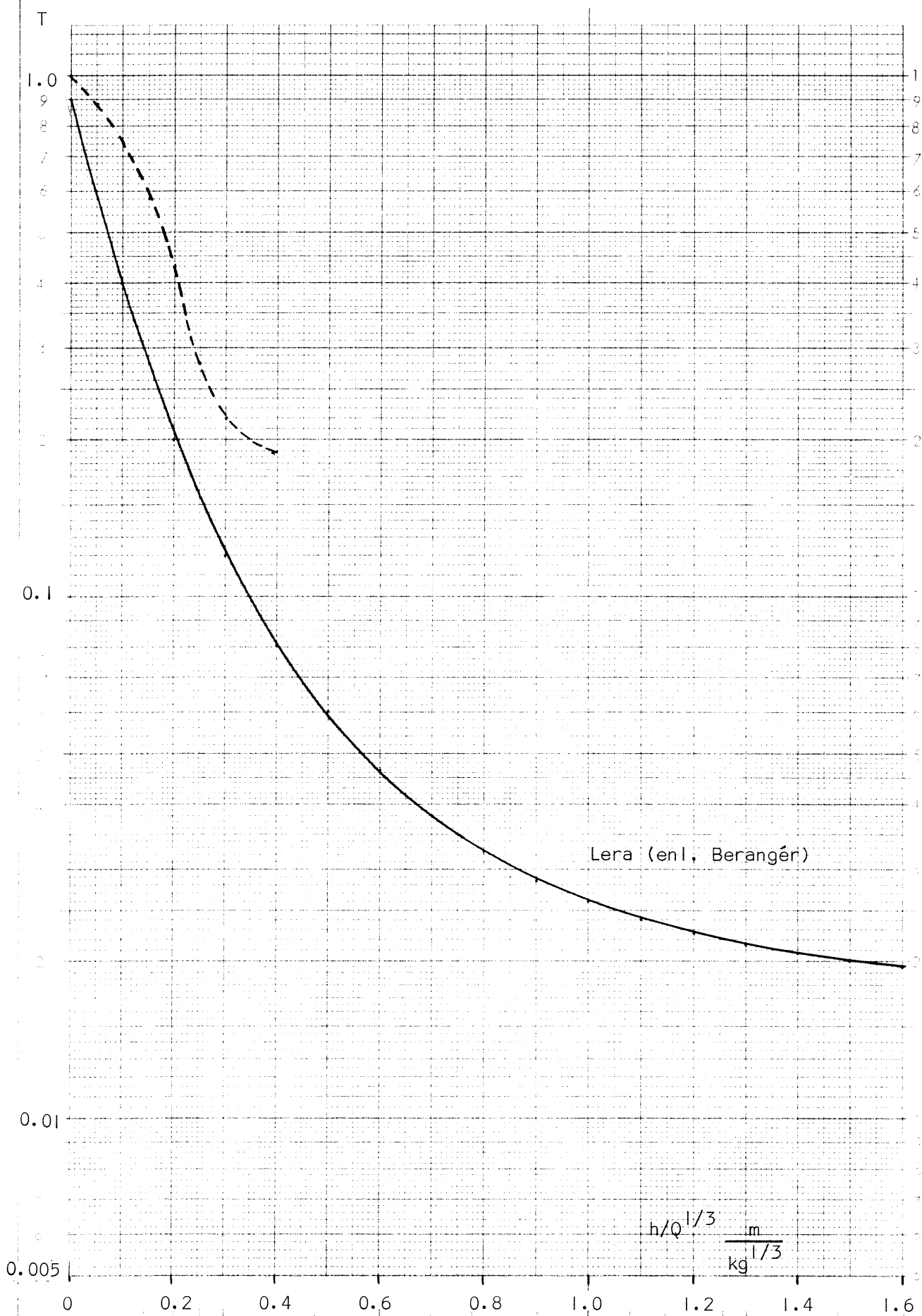
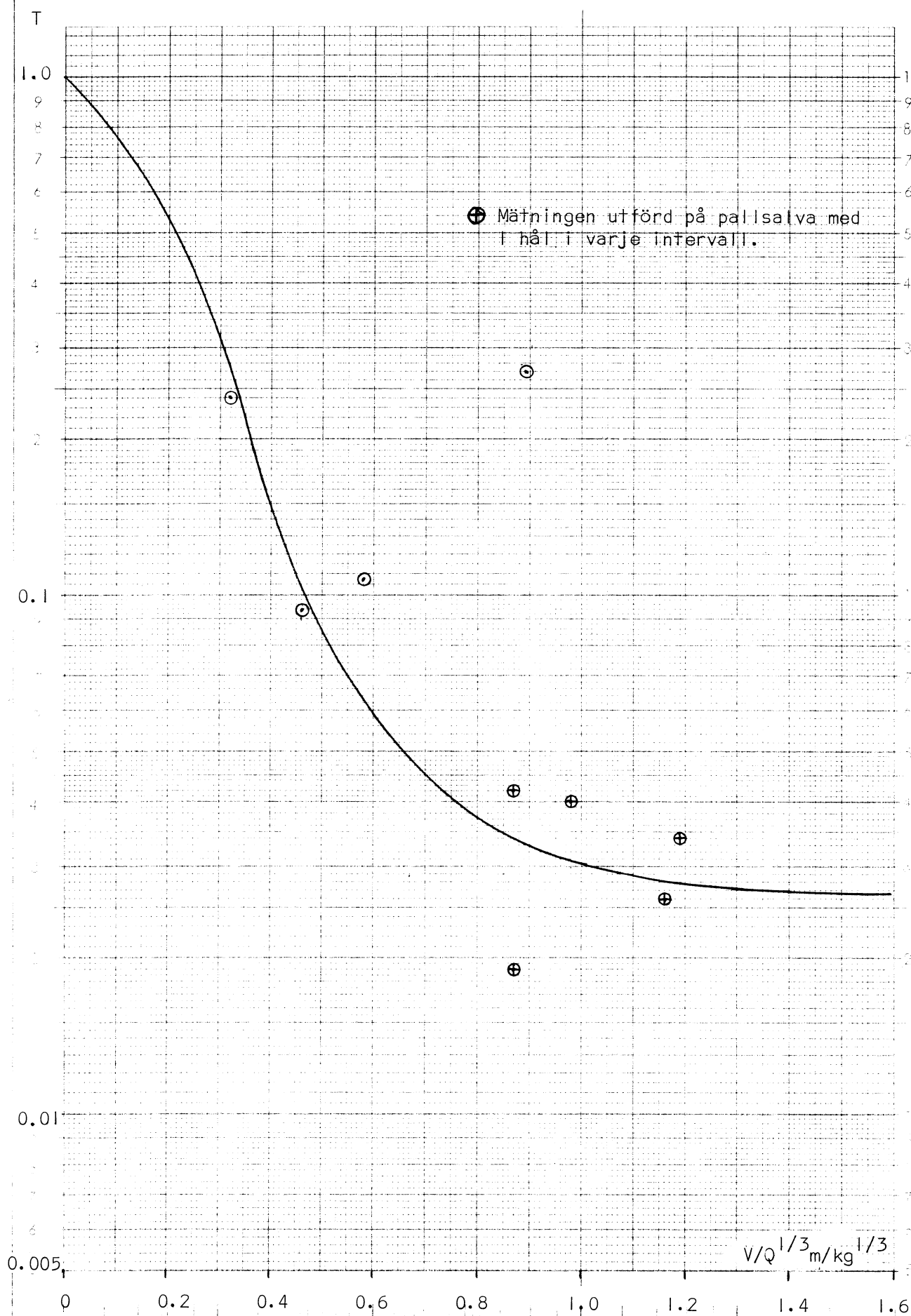


Fig. 10. Dämpningsfaktorn som funktion av reducerade laddningsdjupet för berg (enl. Reed /3/) samt data från pallsprängningar i stenbrott enl. Nitro Consult (punkterna.)



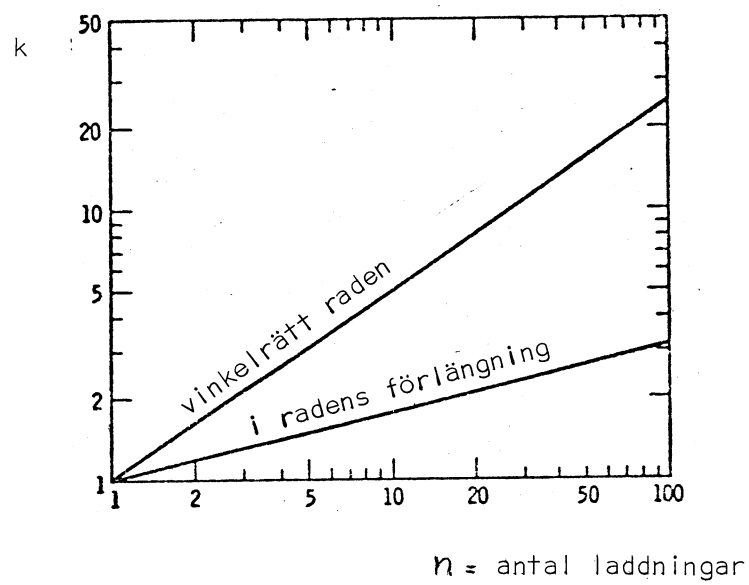


Fig. II. Ökningen i ljudtrycksvågens maximaltryck som funktion av antalet lika stora laddningar i en laddningsrad som avfyras momentant. Enligt J. Reed /3/

$$P_{\max}(n \cdot Q \text{ kg}) = k \cdot P_{\max}(Q \text{ kg})$$