

FÖRSÖK ATT MÄTA DÄMPNINGEN AV LUFTSTÖT-
VÅGEN FRÅN EN LADDNING SOM OMGES AV
OLIKA MATERIAL MED VARIERANDE TJOCKLEK.

Algot Persson och Lars-Åke Almgren

DS 1971:24

8.6.1971

STIFTELSEN
SVENSK DETONIKFORSKNING
SWEDISH DETONIC RESEARCH FOUNDATION

VINTERVIKEN — 117 48 STOCKHOLM
SWEDEN

FÖRSÖK ATT MÄTA DÄMPNINGEN AV LUFTSTÖT-
VÅGEN FRÅN EN LADDNING SOM OMGES AV
OLIKA MATERIAL MED VARIERANDE TJOCKLEK.

Algot Persson och Lars-Åke Almgren

DS 1971:24

8.6.1971

Sammanfattning:

En orienterande undersökning av några olika materials stötvågsdämpande verkan har utförts på så sätt att ljudtryckvågen på 125 m:s avstånd från såväl fria som täckta laddningar registrerats. Undersökningen visar att porösa material innehållande vatten t.ex. snö, skum, skumplast samt vattenindränkt svamp har god stötvågsdämpande verkan, trots sin ringa volymvikt. För dämpning till halva ljudtrycksnivån behövdes i dessa modellförsök c:a 0.2 m^3 skumplast och 0.14 m^3 sand per kilogram sprängämne men endast 0.05 m^3 våt svamp för samma laddningsmängd. Försök med olika sprängämnena visade att sprängämnestypen har väsentlig inverkan på ljudnivån vid samma laddningsvikt.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning
2. Försöksapparat och metodik
3. Försökens omfattning
4. Försöksresultat
5. Slutsatser

1. Inledning.

Av erfarenhet känner man till att stötvågen från en laddning som detoneras på marken avsevärt reduceras om man övertäcker laddningen med snö eller sand. Hur mycket olika skiktjocklekar av täckningsmaterialet dämpar stötvågens maximaltryck är inte känt. Med föreliggande undersökning har avsikten varit att försöka mäta hur stor dämpverkan snö och sand har, samt finna något annat material som i likhet med snö har låg volymvikt och god dämpverkan.

2. Försöksapparat och metodik.

Mätmetoden har varit att registrera och jämföra ljudvågornas trycktidförlopp på 125 respektive 1600 m:s avstånd från laddningarna. Som tryckgivare användes en kondensatormikrofon (Brüel & Kjaer 4146) med tillhörande bärfrekvensförstärkare. Trycktidförloppet registrerades på oscilloskop. Mätuppställningen framgår av fig. 1. Ur trycktidförloppet bestämdes maximaltrycket $P_{\max}$. Ett dämpningstal har beräknats vilket anger hur många procent maximaltrycket från en täckt laddning reducerats jämfört med maximaltrycket från en fri laddning, som avfyrats under samma väderförhållanden. Med hänsyn till att vädret liksom snötäckning av marken inverkade på utbredningsförhållandena har vid varje försökstillfälle alltid avfyrats en referensladdning omedelbart före eller efter avfyrandet av de täckta laddningarna.

3. Försökens omfattning.

Försöken har i huvudsak utförts med laddningar i modellskala, men två försök i full skala (100 kg sprängämne) har gjorts. Fullskaleförsöken utfördes vid Nitro Metalls skjutplats i Nyberget.

Efter några orienterande försök med 41 grams TNT-cylindrar diameter 29 mm, längd 42 mm täckta med sand, snö, skum, tvättsvamp se fig. 2-8 gjordes en mera systematisk undersökning av hur dämpningen beror av materialtjockleken, för sand, våt tvättsvamp och s.k. "bondad" skumplast "Bondex". Vid dessa försök användes dels en rektangulär skivformad laddning av Gurit (540 g) av 1 cm tjocklek, 30 cm längd och 15 cm bredd, och med täckningsmaterialet ovanpå laddningen (fig. 9), dels en cylindrisk laddning av Dynamex diam. 25 mm, längd 50 mm, som helt omgavs av det cylinderformade täckningsmaterialet och med lika materialtjocklek (h) runt hela laddningen (fig. 10).

Då antydan till en förhöjning av detonationshastigheten vid täckning av Dynamex och Gurit kunde observeras repeterades den senare försöksserien med TNT cylindrar, diam. 27 mm, längd 42 mm, vikt 41 g.

Tvättsvamp av cellulosa indränkt med vatten visade vid de inledande försöken god dämpverkan då svampen var placerad på något avstånd från laddningen. I en särskild försöksserie upphängdes svampplattor på en stomme av vinkeljärn $1 \times 1 \times 0.6$ m (se fig. 11) och mätningar gjordes för att bestämma svampplattornas dämpande inverkan på en laddning av Dynamex som avfyrades på marken inuti denna anordning.

4. Försöksresultat.

Fig. 12a, b, c ger exempel på trycktidförlopp som registrerats på 125 m:s avstånd från fria laddningar av TNT, sprängdeg och pentyl. Trycktidförloppet för de olika sprängämnena skiljer sig tydligt åt. Bestämningen av maximaltrycket ur det registrerade trycktidförloppet vållade en del bekymmer. På grund av de små laddningarna (40-500 g) och det korta avståndet till laddningen är tryckpulsens uppgång så brant att membranet i mikrofonen (resonansfrekvens omkring 8 kHz) råkade i svängning, vilket medförde att man vid uppmätningen av topptrycket måste ta hänsyn till membranets insvängning (se fig. 12).

Försöksresultaten har sammanställts i tabellerna 1-6 och i diagrammen i fig. 13-17. I tabellerna anges numret på den figur som visar anordningen av laddning och täckning. Försöken utfördes vid några tillfällen då marken var snötäckt, vilket invercade på sådant sätt att de registrerade maximaltrycken blev något lägre. Försök gjordes då med att avfyra laddningar 1 m över marker (se tabell 1), men även om två eller flera referensskott avfyrades efter varandra konstaterades dålig reproducerbarhet i maximaltrycket (se tabell 1) trots oförändrad laddningsvikt. Då orsaken kunde tänkas vara snabba ändringar i utbredningsförhållandena gjordes en undersökning för att klargöra eventuella fluktuationer i ljudutbredning mellan skjutplats och mätplats. En sinuston utsändes från en kraftig högtalare uppställd vid skjutplatsen. Under en tidsrymd av c:a en halv timme studerades amplituden av den mottagna tonen men ingen variation i amplitud kunde konstateras.

Den dåliga reproducerbarheten i maximaltrycket antogs då bero på ofullständig initiering och ljudtrycket från några laddningsserier av pressad pentyl, sprängdeg och Dynamex initierad med sprängkapselbotten mot laddningsänden uppmättes.

Varje serie avfyrares inom en tidsrymd av fem till tio minuter. Resultaten framgår av tabell 6 och fig. 17. Spridningen är stor och det är anmärkningsvärt att 18.5 g PETN givit större maximaltryck än 39 g sprängdeg. Orsaken härtill har inte utretts men eftersom denna serie inte uppmätts vid samma tillfälle kan ljudutbredningsförhållandena vara orsaken till denna differens. I de fall flera referensskott skjutits har medelvärdet av dessa använts vid beräkning av dämpningen.

De maximaltryck för TNT cylindrar (29 x 42 mm) som inprickats i diagrammet är uppmätta vid flera olika tillfällen, varför den kraftiga spridningen i maximaltrycket i detta fall är mera förståeligt.

De inledande försöken med snö och sand (tabell 1) visar att snö trots sin låga volymvikt har lika god dämpverkan som sand. Härav måste man dra slutsatsen att iskristallerna på ett eller annat sätt upptar energi från stötvågen. Energin åtgår bl.a. för smältning och ångbildning. Det låg då nära tillhands att prova andra porösa material innehållande vatten. Rakskum, ur sprayförpackning, visade sig vara mycket lätt och hade med de begränsade mängder som stod till förfogande ingen inverkan på stötvågen. Badskum (volymvikt 0.04) (se tabell 1) gav inte heller någon anmärkningsvärd dämpning. Bättre resultat erhöles med brandskum vid försök i fullskala. 120 kg Gurit övertäckt med c:a 19 m³ brandskum volymvikt 0.04 gav en reduktion av ljudtrycket på 36 % (se tabell 4), vilket är något sämre än den dämpning ungefär samma volym snö hade på 90 kg Gurit. Snön var packad och dess vikt måste ha varit nästan tio gånger större än skummets.

Försöken med cellulosatvättsvamp som indränkts med vatten (volymvikt 0.3) ger klart besked om att vatten fördelat genom uppsugning i ett poröst material har god dämpverkan. Man skulle kunna likna svampvolymen vid ett tungt skum. Resultaten i tabell 2 med dämpning av plana laddningar kan verka något underliga. Av referensskotten framgår dock att ljudutbredningsförhållandena varit olika till följd av att ena serien laddningar avfyrares då marken var snötäckt, den andra serien vid barmark. Värdena vid 1 och 3 cm täckning tyder på att förhöjning av detonationshastigheten kan ha åstadkommit genom att sanden respektive svampen verkat som fördämning. I den första försöksserien har sand och svamp ungefär samma verkan, i den andra serien då även laddningens sidosidor äro täckta tycks sanden ha haft bättre dämpverkan. Gurit synes vara ett olämpligt sprängämne för dessa försök men var av intresse i samband med sprängfogning, som vid tidigare undersökningar visat sig vara en besvärlig bullerkälla /1/. Resultaten återges i fig. 13 och 14.

Tabell 3 och fig. 15 och 16 visar resultatet av mätningar på TNT laddningar inneslutna i cylindrar av täckningsmaterialet (se fig. 10). Den vatten-dränkta svampen ger ungefär samma dämpverkan som sand vid skiktjocklekar mellan 1 och 10 cm. Bondex, vars volymvikt är 0.2, ger mindre dämpning. I diagrammet fig. 15 har referensskottens maximaltryck vid mätningen på sandinneslutna laddningar varit lägre än vid mätning på svamp och Bondex, varför kurvan för sand borde förskjutas något uppåt. I figur 16 har maximaltrycken ur tabell 3 avsatts mot volymvikten för materialen och för varierande materialtjocklekar. Härvid har värdena för experimenten med sand korrigerats till ett värde på referensskotten av 1.8 med bibehållet dämpningsförhållande. Ett värde på inneslutning i Ytong, ur tabell 1, har inlagts.

Försöken med anordningar av svampplattor fig. 11 visade god reduktion av ljudtrycken, 80-90 %. Det kan också noteras att svampplattorna skadades obetydligt vid försöken och kunde användas på nytt. Järnkonstruktionen stod kvar på plats, medan det övre svampskiktet kastades några meter upp i luften samtidigt som sidorna svängde upp. Rörliga sidor minskade påfrestningen så att svampplattorna kunde fås att sitta kvar.

5. Slutsatser.

Undersökningen ger en antydning om att ett stötvågsdämpande material inte nödvändigtvis behöver vara tungt d.v.s. bygga på principen att stötvågsenergin upptages i form av kinetisk energi av det dämpande materialet. Snö, såväl som skum och porösa material indränkta med vatten har låg volymvikt men likväl förmåga att beröva stötvågen en stor del av energin genom ångbildning. Av diagrammet fig. 16 ser man hur vattnet bidrar till att öka energiupptagningen om man jämför "Bondex" med det blöta svampmaterialet. Vid större skiktjocklekar ökar sandens möjligheter att binda energi till följd av den ökande massan och det minskande gasläckaget. Den låga volymvikten kan vara att föredra i många tillämpningar. Porositet bidrar till dämpverkan som framgår av försöken med Bondex och Ytong. Snö är utan tvekan det bästa av de provade materialen men tillgången är begränsad av årstiderna. Försök med snökanoner gjordes i samband med storskaleförsöken men produktionshastigheten var knappast av den storleksordning att man inom rimlig tid till acceptabla kostnader skulle kunna framställa de 20-25 m³ snö som erfordrades för en dämpning av stötvågen från en 100 kg:s laddning till halva amplituden. Ljudnivån från anläggningen måste dessutom anses påfrestande för operatören.

Den vattendränkta cellulosasvampen är ett gott alternativ till snö och bör vara användbar även i fullskala. Brandskum som kan produceras i stora mängder på kort tid är inte så effektivt som snö och kan vid upprepad användning ge upphov till vattenförorening omkring en skjutplats

Om man ur försöken i tabell 2 beräknar den volym täckningsmaterial som åtgår per kilogram sprängämne erhålles för Bondex $0.20 \text{ m}^3/\text{kg}$ och för sand $0.14 \text{ m}^3/\text{kg}$, men för den blöta svampen endast $0.05 \text{ m}^3/\text{kg}$. I tabell 4 finner man att motsvarande storhet för snö vid fullskaleförsöket var $0.25 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Litteraturreferens.

1. Persson A.,
Almgren, L-Å.

Ljudtryckvågors utbredning vid detonation av laddningar på marken och dess störande inverkan på människor och byggnader.

Tabell I.

Dämpning av luftstötstången från en trotylcylinder ϕ 29 mm, längd 42 mm, vikt 41 g.
Anordning för täckningsmaterial och laddningar framgår av figurena.

Täcknings- material	Mat. volym vikt ₃ g/cm ³	Höjd h m	l m	b m	ϕ m	Fig. n:1	P _{max} mbar	Dämpn. % av friladdn.	Anm.
Luft	-	-	-	-	-	2a	1.8	-	Friladdn., barmark
"	-	-	-	-	-	2a	2.0	-	"
Sand m. salt	1.65	0.1	-	-	2	3	0.3	84	
- " -		0.05	-	-	2	3	0.80	58	
Luft	-	-	-	-	-	2a	1.0	-	Friladdn. på mark med 5 cm snötäcke
"	-	-	-	-	-	2b	1.3	-	" 1 m över mark 5 cm snötäcke på mark
Snö, ej packad	0.22	0.05	-	-	1	2a	0.4	65	5 cm snötäcke på mark
" " -	0.22	0.1	-	-	1	2a	0.15	87	5 " " " " P _{max} utlöste ej oscilloskopet
- " -	0.22	0.2	-	-	1	2a	0.15	87	5 " " " " P _{max} utlöste ej oscilloskopet
Luft	-	-	-	-	-	2a	1.7	-	Snötäcke. Friladdn. på mark
Snö + sand	0.22-1.65	0.05	-	-	2	4	0.1	94	" P _{max} utlöste ej oscilloskopet
Luft	-	-	-	-	-	2a	1.8	-	3 cm snötäcke. Friladdn. på mark
Rakskum	0.02	0.04	-	-	0.25	5	1.6	11	3 " " "
"	0.02	0.08	-	-	0.2	-	1.5	-	3 " " "
Luft	-	-	-	-	-	2a	1.8	-	Barmark. Friladdn. på mark
Badskum	0.04	0.24	-	0.8	2	4	1.7	6	" H = 0.3

Tabell 1.
(forts.)

Täcknings- material	Mat. volym vikt ³ g/cm ³	Höjd h m	l m	b m	ø m	Fig. n:r	P _{max} mbar	Dämpn. % av friladdn.	Anm.
Luft	-	-	-	-	-	2a	1.7	-	Snötäcke. Friladdn. på mark ø/ 29 l=42 mm TNT
Ytong	0.6	0.16	0.25	0.25	-	6	0.4	76	" ø 29 l=42 mm TNT H = 0.2 m
Tvättsvamp + vatten	0.3	0.1	0.6	0.6	-	7	0.1	94	" ø 29 l=42 mm TNT H =0.25 m
Luft	-	-	-	-	-	2a	1.8	-	3 cm snötäcke
Myggnät av plast	-	-	0.17	-	-	8a	1.8	0	25 varvtätt kring laddning
"	-	-	0.17	-	-	8b	1.9	0	18 varv med luftspalt mellan laddning och nät

Tabell 2.

Plan Guritladdning 30 x 15 x 1 cm (540 g) med våt tvättsvamp eller fuktig sand som täckning.

Täckningsmaterial	Vol. vikt	Mat. tjockl. h. cm	P _{max}	Dämpn. % av fri laddn.	Anm.
Luft		-	2.1	-	Snötäckt mark
Sand	1.7	1	3.0		" enl. fig. 9a Guritens det.-hast. har ökat
"	"	3	1.5	29	" "
"	"	5	1.4	33	" "
"	"	10	1.4	33	" "
Våt tvättsvamp	0.3	1	1.9	10	" "
"	0.3	3	1.7	19	" "
"	0.3	5	1.5	29	" "
"	0.3	10	1.3	38	" "
Luft			3.8	-	Barmark
Sand	1.7	1	3.0	21	Enligt fig. 9b
"	"	3	2.6	32	
"	"	5	2.1	45	
"	"	10	1.3	66	
Våt tvättsvamp	0.3	1	3.2	16	
"	0.3	3	3.8	0	
"	0.3	5	3.0	21	
"	0.3	10	2.5	34	

Tabell 3.

Cylindriska laddningar av TNT och Dynamex i olika omgivande material enligt fig. 10a, b.

Omgivande material	Volym vikt ³ g/cm	Diam. cm	Höjd h cm	Sprängämne	P _{max} mbar	Dämpn. % av friladdn.	Anm.
Luft	-	-	-	Dx	0.6	-	Snötäckt mark Dx ϕ = 25 mm, l = 50 mm, vikt = 31 g
"	-	-	-	"	0.7	-	
Våt tvättsvamp	0.3	6.5	2.0	"	0.8	0	fig. 10a
"		12.5	5.0	"	0.5	23	
"		32.5	15.0	"	0.1	85	
Bondex	0.2	12.5	5.0	"	0.8	0	ökningen i max. tryck kan bero på hög hast
"		22.4	10.0	"	0.6	0	
"		32.5	15.0	"	0.3	54	
Luft	-	-	-	TNT	1.7	-	Barmark TNT ϕ = 29 mm, l = 42 mm vikt = 41 g
"	-	-	-	"	2.0	-	"
Våt tvättsvamp	0.3	6.5	2.0	"	1.4	24	fig. 10a
"	"	12.5	5.0	"	0.9	51	
"	"	22.5	10.0	"	0.6	68	
"	"	32.5	15.0	"	0.4	78	
Bondex	0.2	6.5	2.0	"	1.9	0	fig. 10a
"	"	12.5	5.0	"	1.5	19	
"	"	22.5	10.0	"	0.8	57	
"	"	32.5	15.0	"	0.7	62	
Luft	-	-	-	TNT	1.4	-	fig. 10b
"	-	-	-	"	1.3	-	"
"	-	-	-	"	1.3	-	"
Sand		6.5	2.0	"	1.2	8	
"		12.5	5.0	"	1.0	29	
"		22.5	10.0	"	0.5	63	
"		32.5	15.0	"	0.1	92	

Tabell 4

Försök med snö och skumtäckning i Nyberget 3 och 4 mars 1971.
Försöken utfördes med Gurit. Ljudtrycket uppmättes vid Svartbergsfallet 1.6 km från skjutplatsen.

Laddn. vikt kg	Material	Täckning				P _{max} mbar	Dämpn. % av friladdn.	Anm.
		Höjd m	l x b m	kg/dm ³	total massa kg			
90	Snö	1.2	ø=6	0.3	6000-7500	0.55	48	Uppskattad snövolym 20-25 m ³
90	-	-	-	-	0	1.06	-	
120	Skum	1.2	4 x 4	0.04	760	0.79	36	Volym c:a 19 m ³
120	-	-	-	-	0	1.23	-	

Tabell 5

Försök med blöta svampplattor som stötvågsdämpare runt fri laddning på mark.

Spräng- ämne	Vikt g	Svamp- väggens tjocklek m	P _{max} mbar	Dämpn. % av friladdn.	Anm.
Dx (29)	175	-	1.4	-	Laddning i friluft,
"	"	0.2	0.2	86	Täckn. dim. 1 x 1 x 0.6 m
"	"	-	1.3	-	Laddning i friluft
"	"	0.1	0.3	77	Husets dim. 1 x 1 x 0.6 m
Dx (25)	250	-	2.6		Laddning i friluft
"	"	0.2	0.6	81	Täckn. dim. 1.4x1.4x0.6 m

Tabell 6

Maximaltrycket från laddningar av PETN, Dynamex och Sprängdeg avfyrate 1 m ovan mark

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

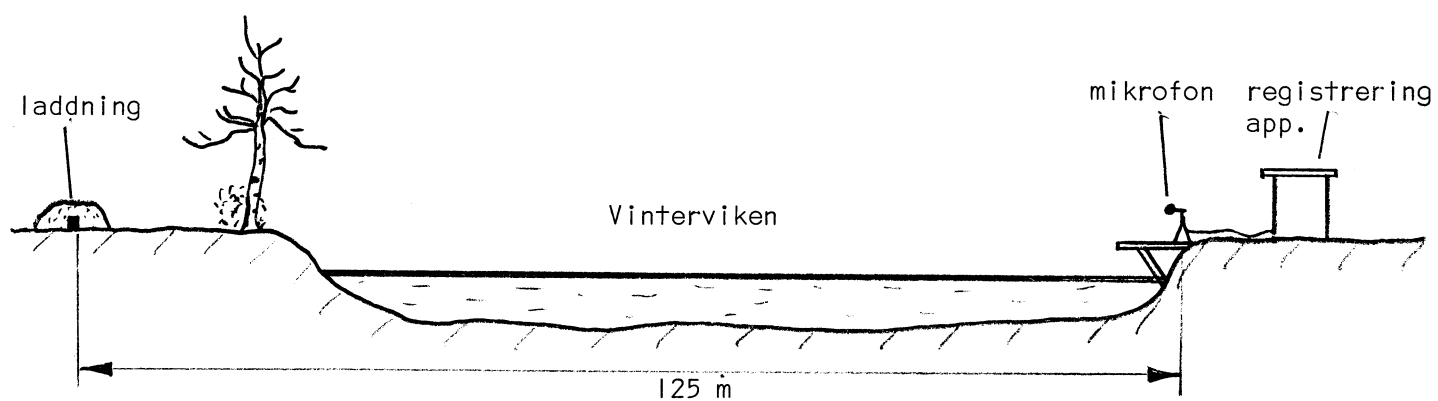


Fig. 1. Mätupställning vid modellskaleförsök

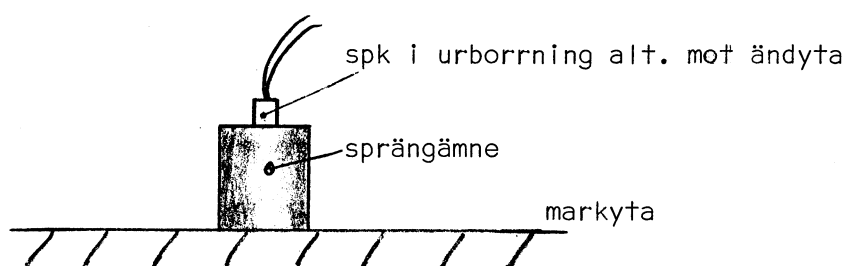


Fig. 2a. Laddning på mark

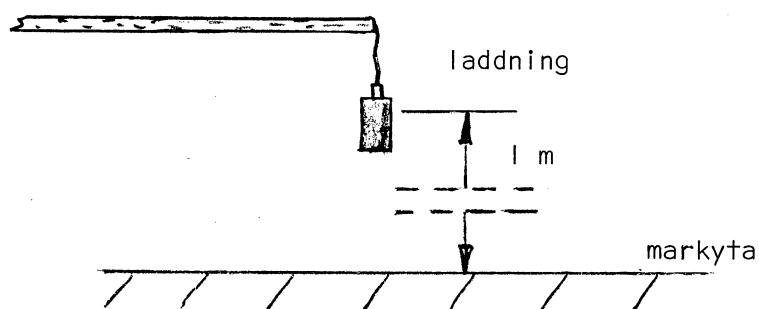


Fig. 2b. Laddning upphängd i trästicka

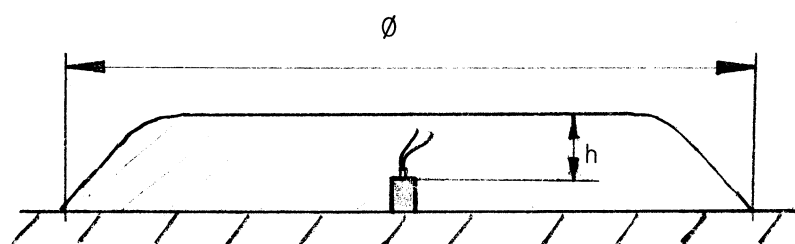


Fig. 3. Anordning vid sand- eller snötäckning

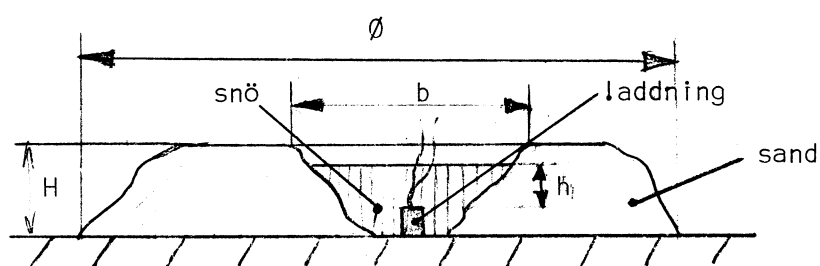


Fig. 4. Anordning vid täckning med snö eller skum och sand.
Kratern erhållen vid tidigare skott i sand

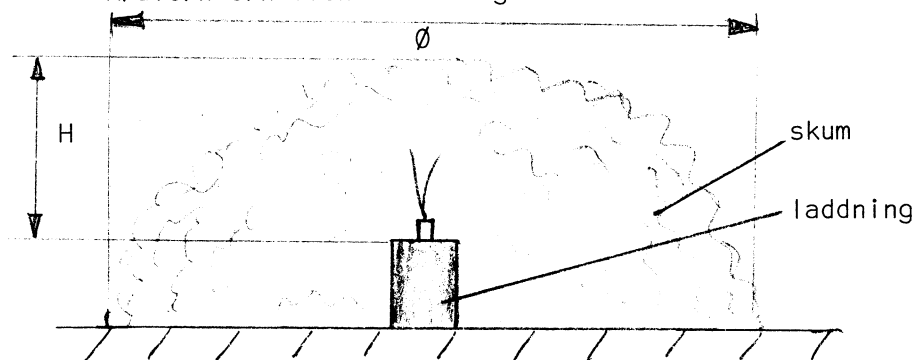


Fig. 5. Laddning täckt med rakskum

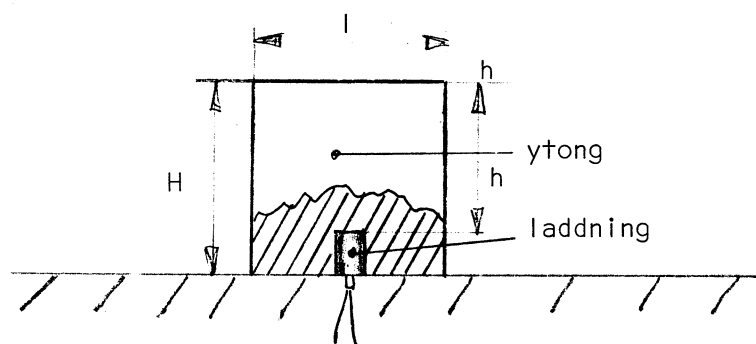


Fig. 6. Laddning inborrad i Ytongblock

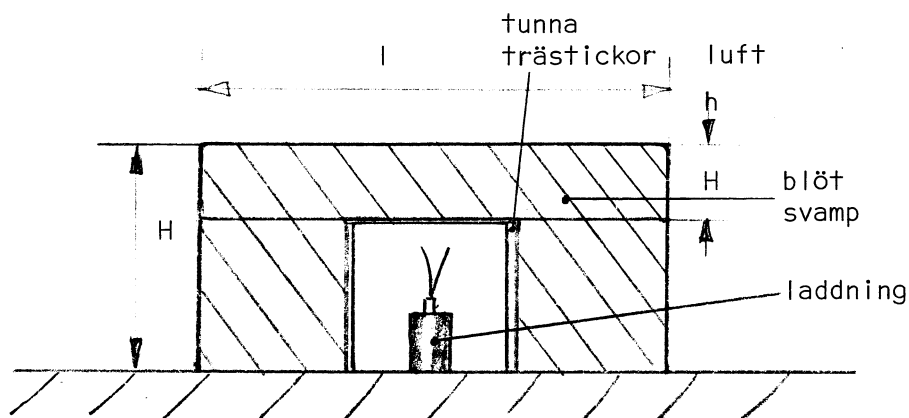


Fig. 7. Laddning omgiven av blöt tvättsvamp

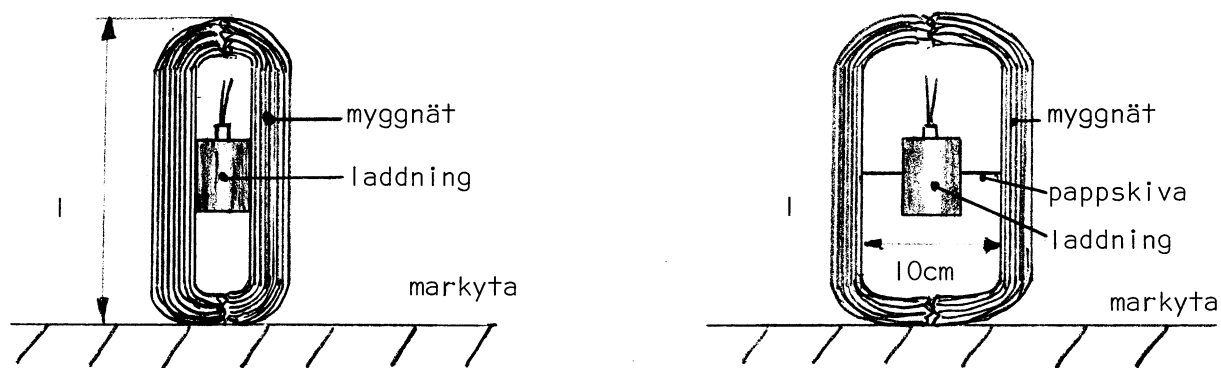


Fig. 8. Laddningar omgivna av nät

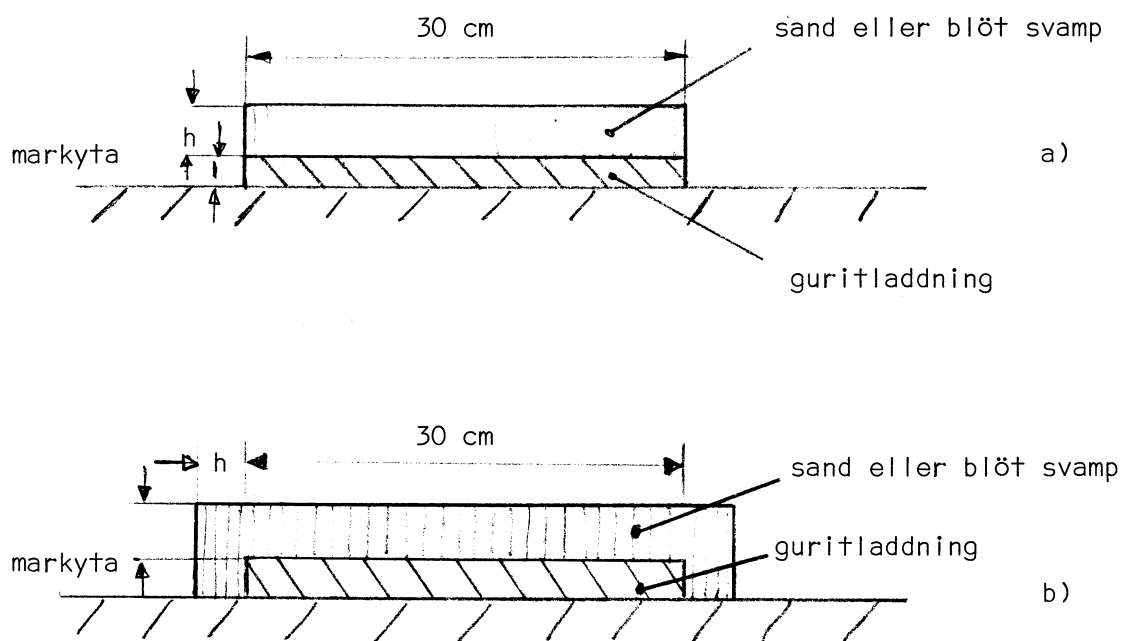


Fig. 9. Plan Guritladdning 15x30x1 cm täckt med sand eller blöt tvättssvamp

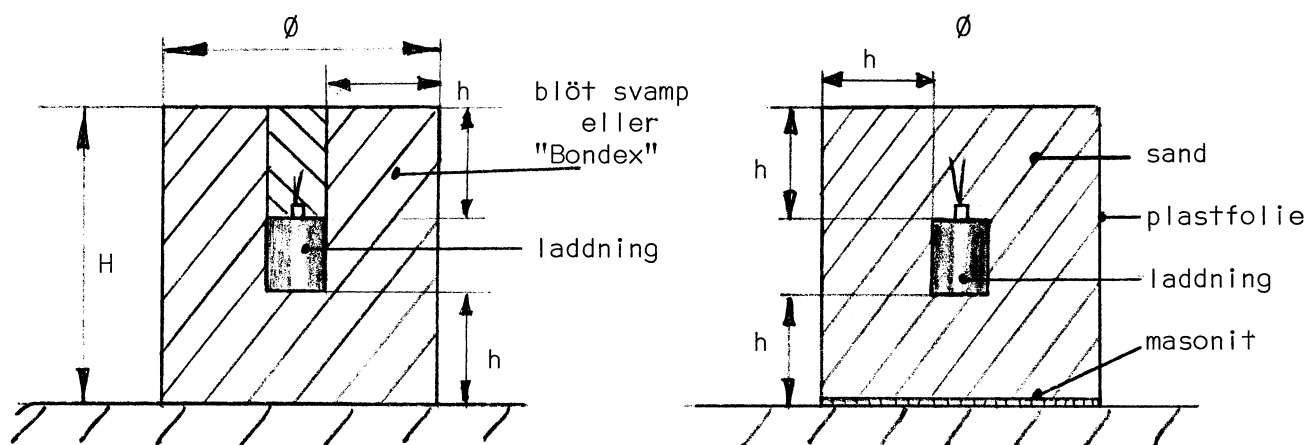


Fig. 10. Laddningar inneslutna i a) tvättssvamp. Bondex b) sand

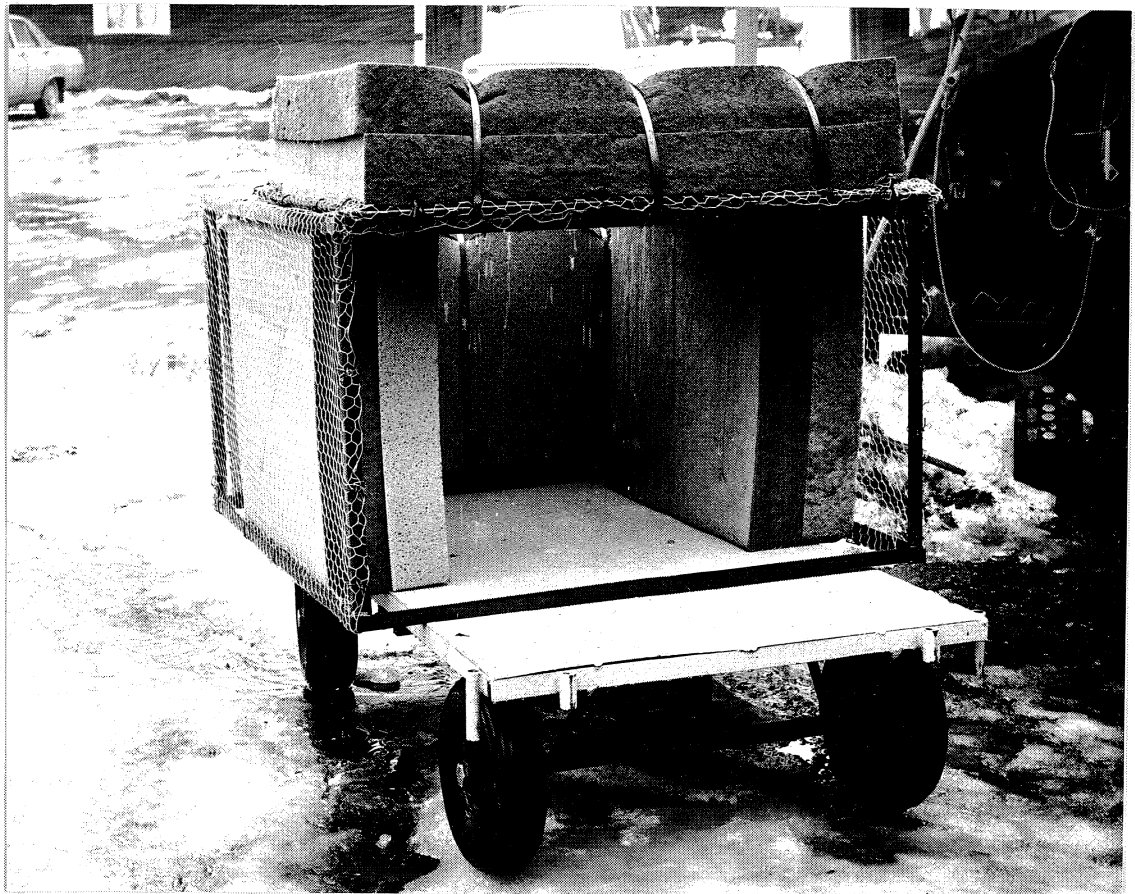


Fig. 11. Upphängning av våta svampplattor för stöt vågsdämpning.
(Främre sidan uppfälld, och de två svampplattorna på
taket borttagna).

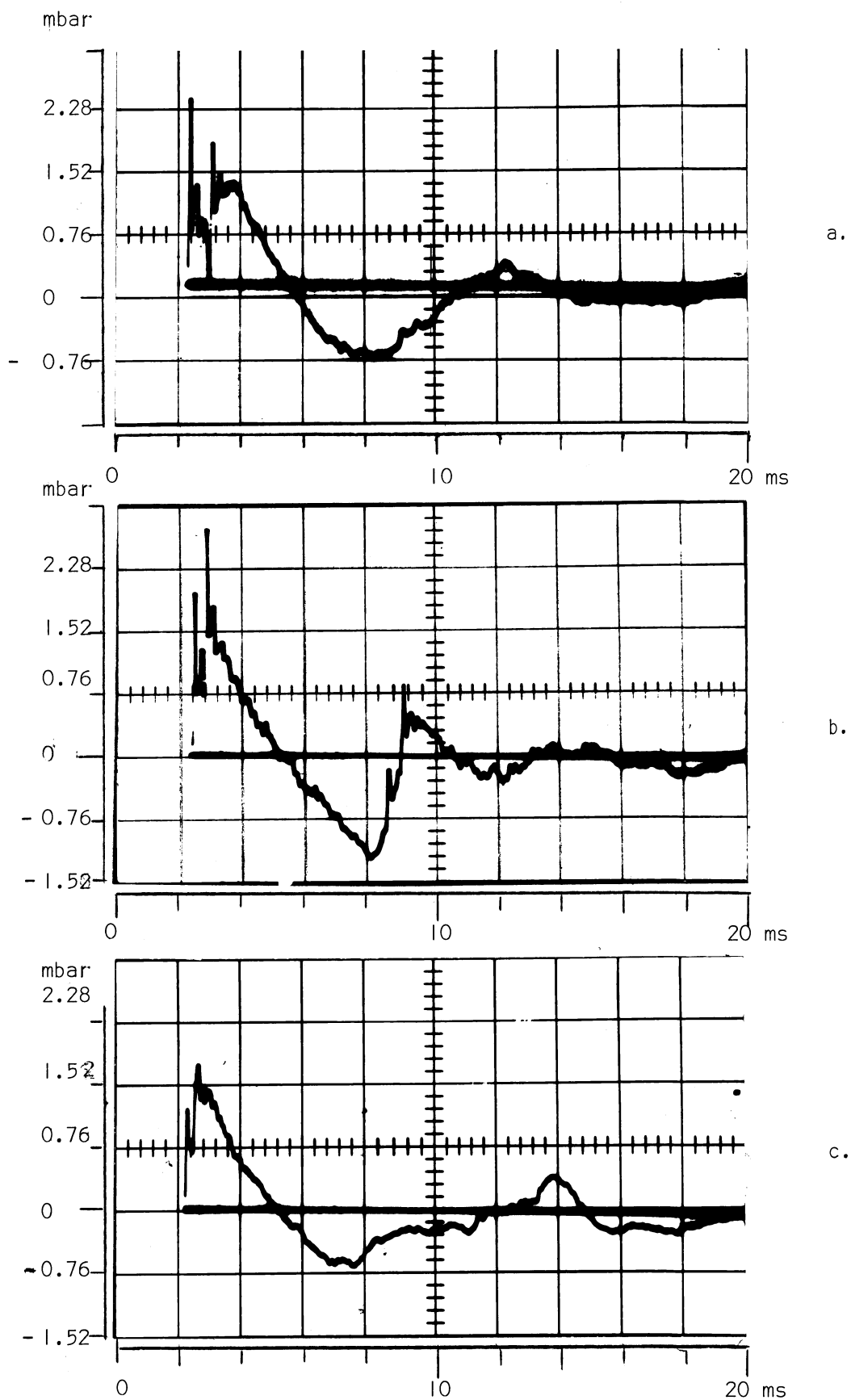


Fig. 12. Registreringar av tryck-tidförloppet på 125 m:s avstånd från fria laddningar av

a/ trotyl	(41 g)
b/ pentyl	(18.5 g)
c/ sprängdeg	(39 g)

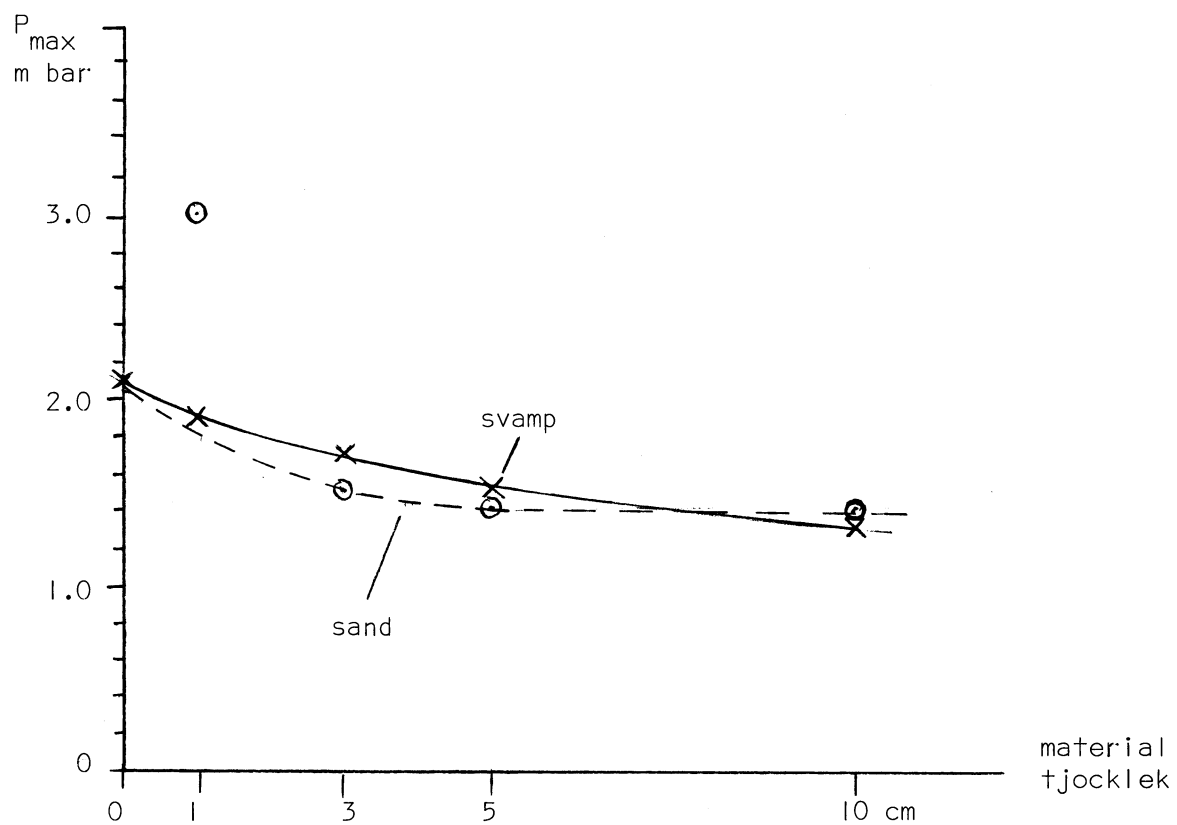


Fig. 13. Ljudtryck från Guritladdning enligt fig. 9 a.

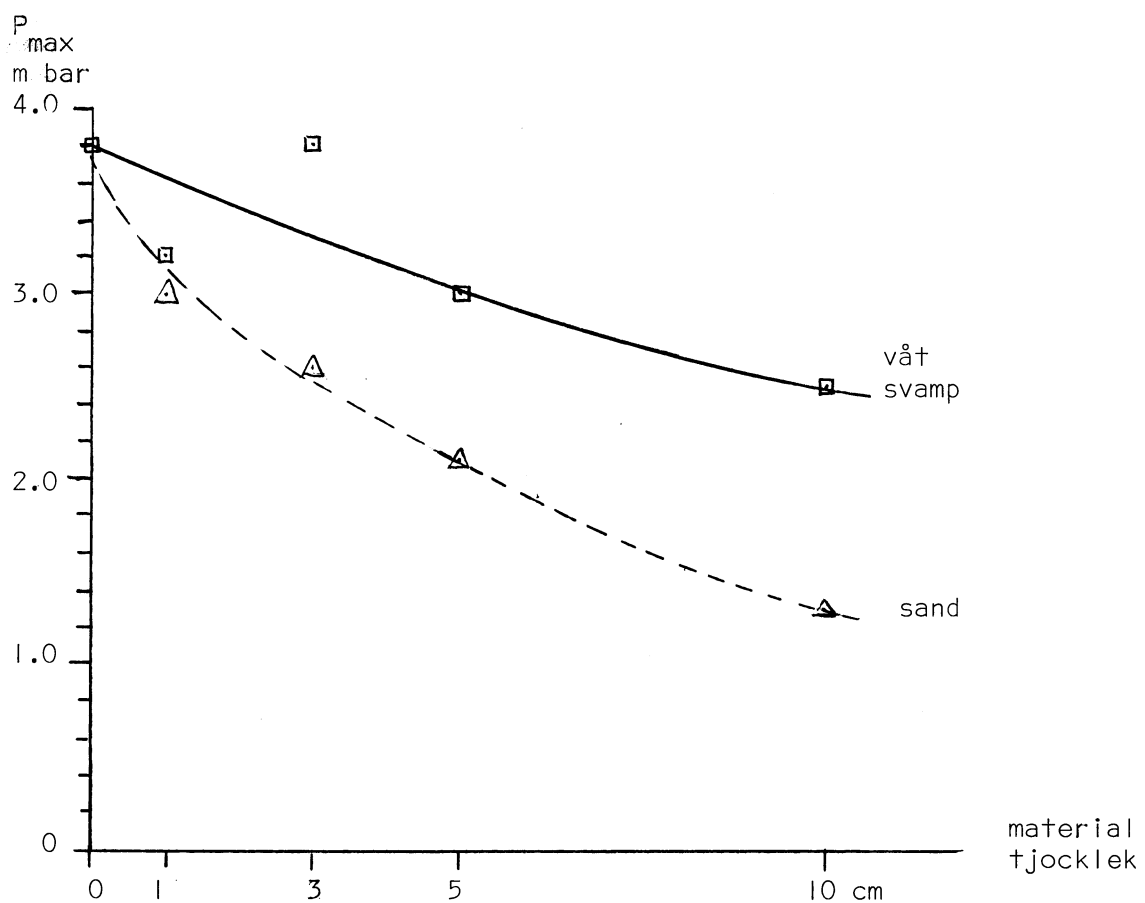


Fig. 14. Ljudtryck från Guritladdning enligt fig. 9 b.

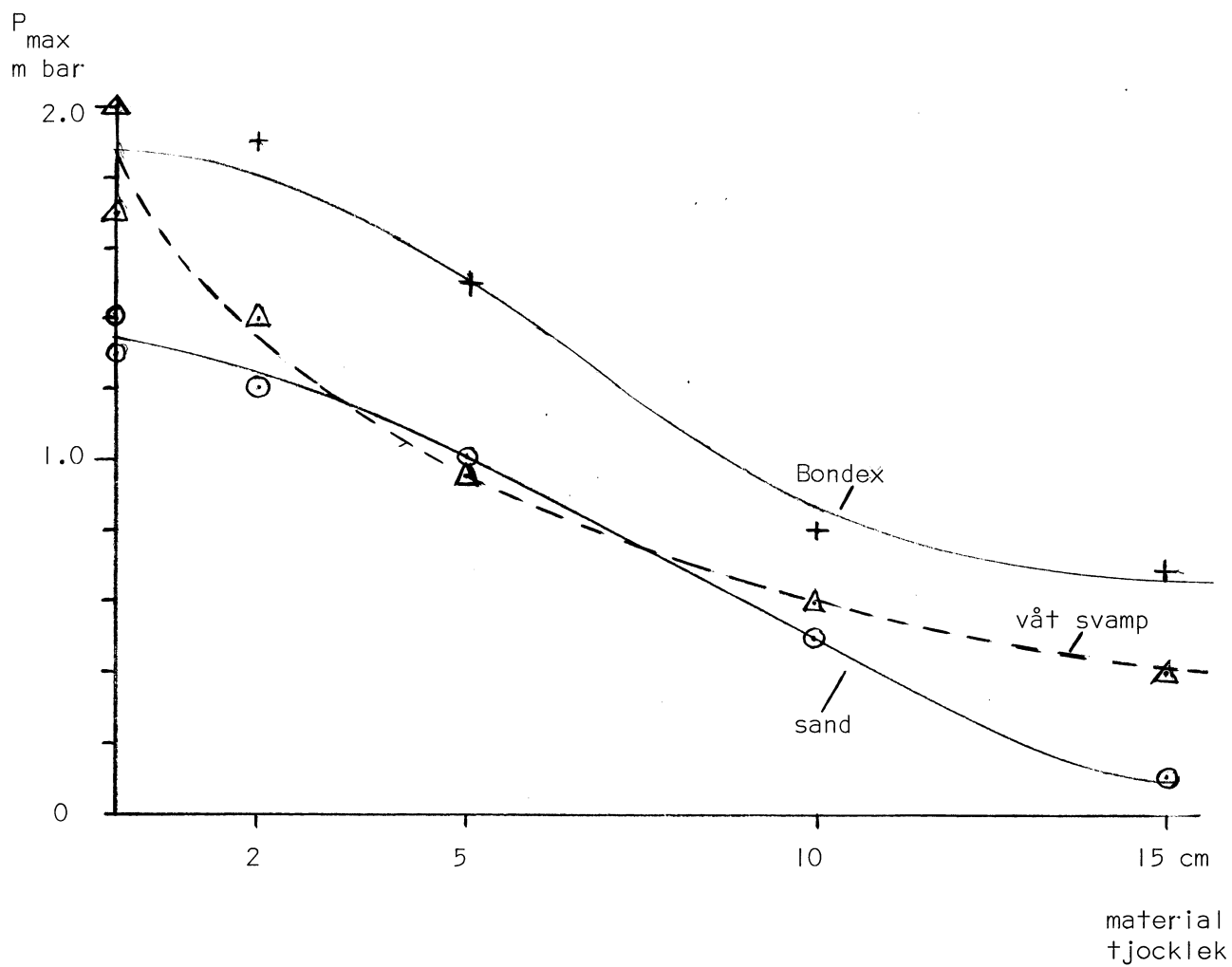


Fig. 15. Ljudtryck från TNT laddning enligt fig. 10 a o. b.

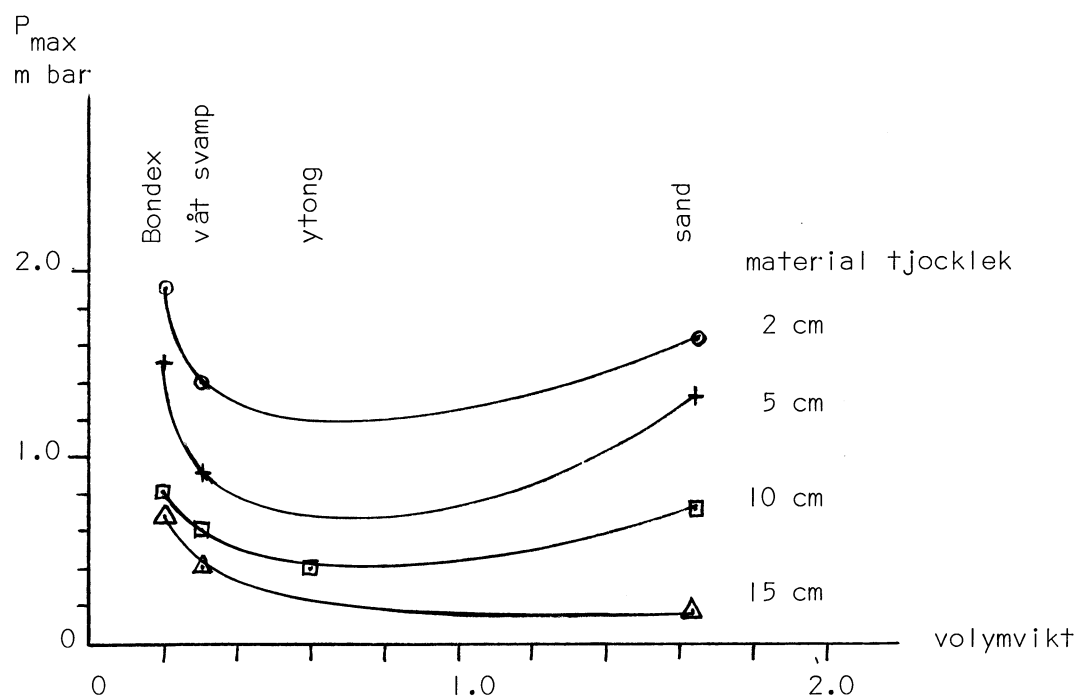


Fig. 16. Ljudtryckets beroende av de täckande materialets volymvikt och tjocklek.

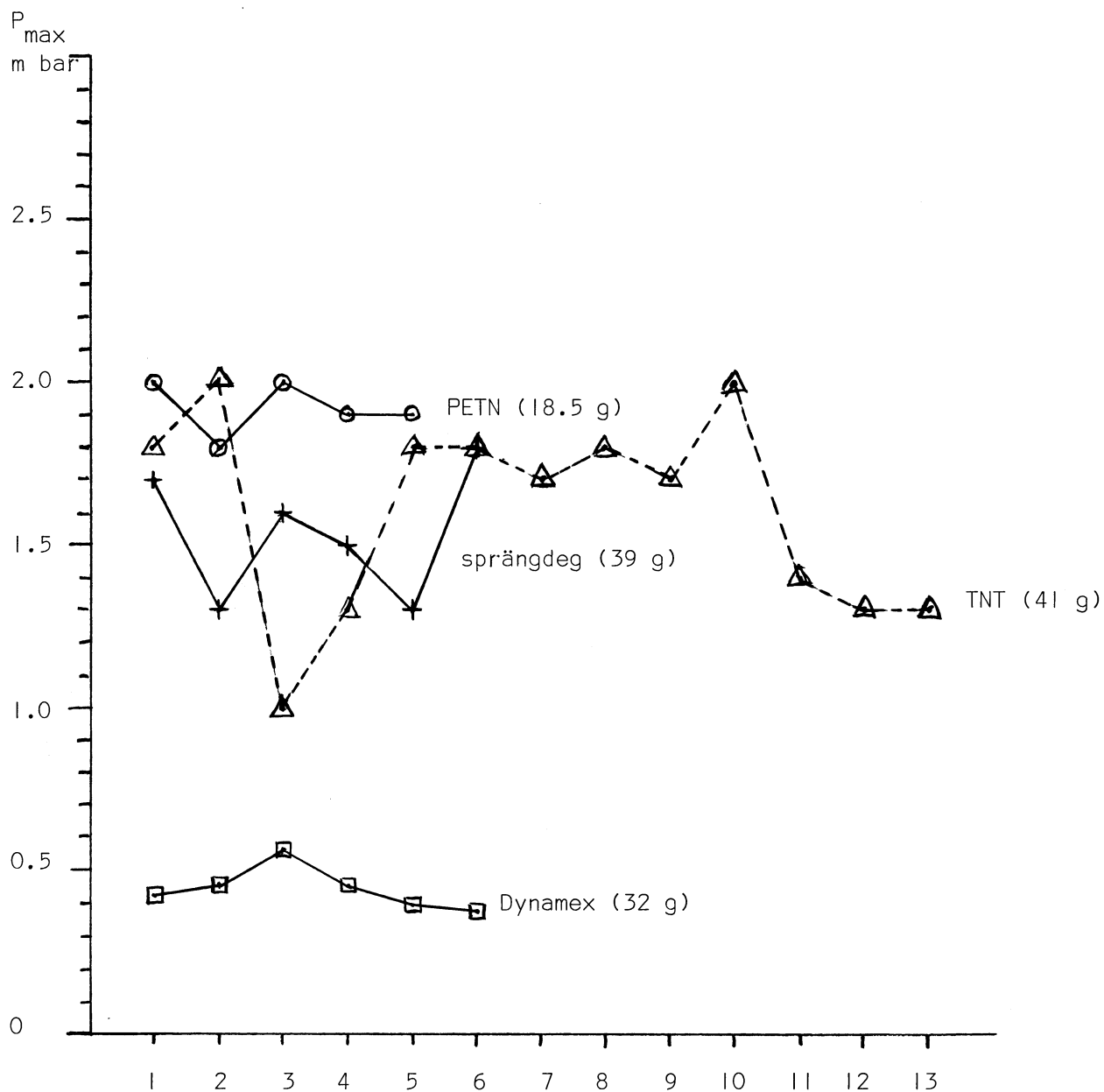


Fig. 17. Ljudtryck från fria laddningar av PETN, TNT, sprängdeg och Dynamex.