

LUFTSTÖTVÅGSMÄTNINGAR I OMGIVNINGARNA AV
NITRO METALLS SKJUTPLATS VID NYBERGET.

Algot Persson

DS 1970:30

29.7.1970

STIFTELSEN
SVENSK DETONIKFORSKNING
SWEDISH DETONIC RESEARCH FOUNDATION

VINTERVIKEN — 117 48 STOCKHOLM
SWEDEN

LUFTSTÖTVÅGSMÄTNINGAR I OMGIVNINGARNA AV
NITRO METALLS SKJUTPLATS VID NYBERGET.

Algot Persson

DS 1970:30

29.7.1970

Sammanfattning:

I samband med sprängfogning på Nitro Metalls skjutplats vid Nyberget har luftstötstången från laddningar upp till 480 kg studerats på olika avstånd. På de orter där bebyggelse fanns var de uppmätta amplituderna inte av sådan storleksordning att risk för skador på byggnader förelåg. De uppmätta värdena på stötstångens max.-tryck överensstämmer väl med de i DL 1968:23 beräknade om man reducerar laddningsvikten med en faktor 0.5. Vindens inverkan på stötstångens utbredning framgår tydligt.

Vid Nitro Metalls skjutplats, väster Guldsmidshyttan, Örebro län, utföres dagligen sprängfogning av metaller med laddningar upp till 500 kg sprängämne. Sprängämnet är jämt fördelat ovanpå de på marken placerade metallstyckena och utan någon form av övertäckning. För att undersöka stötvågens utbredning har en serie mätningar utförts på orter i olika riktningar från skjutplatsen. Samtidigt med tryckmätningar utfördes vibrationsmätningar i gavlarna på två fastigheter där man iakttagit kraftigt klirr i fönsterrutorna.

Mätmetod.

Mätutrustningen bestod av mikrofon, geofoner och UV-skrivare (se rapport DS 1970:23). Tidpunkten för tändning av laddningarna markerades på skrivarremsan genom att ett kort ögonblick starta den radiosändare med vilken kontakt hölls med skjutplatsen. Den utstrålade högfrekvensen påverkade därvid en av operationsförstärkarna så att ett utslag erhöles på den galvanometer som var kopplad till förstärkaren. Vid skjutbunkern uppställdes även en barograf (se rapport DS 1970:23).

Mätplatser och väderobservationer.

Kartan, figur 1, visar mätpunkternas (1 till 5) läge och avstånd (km) i förhållande till skjutplatsen. Laddningarna avfyrades på två platser, i kartan markerade med S_1 och S_2 belägna c:a 500 m från varandra. Nitro Metalls kontor och verkstad är belägna vid Svartbergsfallet (1). Vid Svartbergsfallet och vid Hälleboda (2) utfördes tryckmätningar den 20/5. Vädret var då vackert med växlande molnighet och svag östlig vind. Lufttemperatur c:a 15° . Barometerståndet 730 mm Hg. I Storå (4) gjordes mätningarna vid tre stycken växthus tillhöriga trädgårdsmästare Lindskog. Här hade enligt uppgift vid tre tillfällen glastrutor av storleken 70x90 cm spruckit och fallit ned vid sprängning av laddningar i Nyberget. (S_1 eller S_2).

Några uppgifter om växthusens dimensioner återfinns i tabell 1. I det största av växthusen där skadorna hade uppstått monterades en geofon i den gjutna grundmuren och en på övre delen av dörrkarmen i ena gaveln (högsta möjliga plats att montera geofonen). I Hammarbacken (3), norr om skjutplatsen, i skogvaktare Andersson boningshus hade inga skador iakttagits men fönsterrutorna sades klirra kraftigt vid knallens ankomst. På boningshusets gavel i riktning mot skjutplatsen uppsattes en geofon (hor.). Mikrofonen uppställdes c:a 10 m från byggnaden. Mätpunkten på Grönvålsön (5) i sjön Usken valdes för att få en mätpunkt med samma avstånd som till Storå men i vindens riktning. Mikrofonen var här placerad på en höjd som sluttade brant mot vattnet. Mätningarna i Storå och Grönvålsön gjordes den 2 juni och i Hammarbacken den 3 juni. Vädret var båda dagarna klart och soligt

med svag, nästan nordlig vind. Lufttemperaturen var 20°C och barometerståndet 750 mm Hg.

Mätresultat.

En sammanställning av försöksresultaten ges i tab. II. Vindens inverkan på stötvågens utbredning framgår vid en jämförelse mellan amplituderna uppmätta i Storå, Grönvålsön och Hammarbacken. Vid beräkning av gångtiderna har ljudhastigheten c beräknats enligt

$$c = c_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273}} + v$$

c_0 = ljudhast. vid 0°C, t = lufttemperatur i °C, v = vindhastigheten (pos. vid medvind). De beräknade gångtiderna överensstämmer med de registrerade med en avvikelse av högst 0.7 sek. vilket får anses ligga inom mätfelen.

Enligt Lundborg^{1/} är stötvågstrycket p i mbar på avståndet R m från en fri laddning om Q kg

$$p = 700 \cdot \frac{Q^{1/3}}{R} \text{ mbar} \quad (1)$$

Om stötvågen träffar en yta som är mycket stor jämfört med tryckpulsens våglängd så är trycket på ytan lika med reflexionstrycket, $\bar{p}$, varvid gäller att $\bar{p} = 2 p$. I en rapport (DL 1968:23) redovisar P.A. Persson^{2/} luftstötvågens positiva maximala reflektionstryck beräknat enl. (1) men korrigerat för laddningens placering på marken och terrängens dämpande inverkan. Laddningens placering på marken innebär enligt norska undersökningar av Forsvarets Bygningstjeneste en ökning av laddningsvikten med 1.6 ggr. Terrängens dämpande inverkan motsvarar enligt samma källa en reduktion av laddningen med 25%. De enligt ref. (2) angivna värdena har således beräknats ur

$$\bar{p} = 2 p = 1400 \cdot \frac{(1.2 Q)^{1/3}}{R} \quad (2)$$

Samband (1) och (2) anses gälla laddningar av TNT. Det i Nyberget använda sprängämnet har lägre energi än TNT. Om man antar 2 kg av detta sprängämne ger samma maximala stötvågstryck som 1 kg TNT så sätter vi $Q = \frac{M}{2}$ där M är laddningsvikten. Vi får då

$$p = 700 \cdot \frac{(0.6 M)^{1/3}}{R} \quad (3)$$

Med hänsyn till mikrofonens placering på 5-10 m avstånd från byggnader och de långa våglängderna kan vi utgå ifrån att mikrofonen inte påverkats av något reflexionstryck utan registrerat stötvågens maximaltryck.

I tabell III har sammanställts värdena på max.-trycket för de aktuella avstånden och laddningsvikterna beräknade enl. sambanden (1), (2) och (3).

Bäst anpassar sig de enl. (3) beräknade värdena, som ju även tar hänsyn till sprängämnets lägre energi. Vi kan observera att i de två fall där de uppmätta trycket överensstämmer eller är något större än det beräknade har vindens riktning varit från sprängplats mot mätplats. Den största avvikelser är för det fall då stötvågen rörde sig mot vinden. Undersökningar gjorda av Bureau of Mines laboratorier i Bruceton^{3/} visar att vindens riktning och styrka i hög grad påverkar utbredningsförhållandena. Även lufttemperatur och lufttryck inverkar på max.-trycket och den positiva tryckpulsens längd fastän mindre än vindförhållandena. Om vindens riktning är från skjutplats till mätplats kan således max.-trycket fördubblas. Om stötvågen har motvind innebär detta en avsevärd reduktion av max.-trycket. Som framgår av kartan är inte terrängförhållandena lika i olika riktningar från skjutplatsen. Tar man hänsyn till detta får man anse att sambandet (3) ger god överensstämmelse med de experimentella värdena utom för laddningsvikten 20 kg. En kortare tryckpuls dämpas förmodligen kraftigare i terrängen.

Ser man på trycket mätt med barografen på 150 m avstånd från en laddning om 240 kg så erhöles $p = 57$ mbar. Enligt (1) är $2p = 58$ mbar och enl (3) är $2p = 48.8$ mbar d.v.s. barografen bör ha registrerat reflexionstrycket. Om den tid som trycktidförloppet är positivt sättes lika med $T/2$ så kan en frekvens f bestämmas som $f = 1/T$ p/s. Enligt Lundborg beror f enbart av laddningsvikten enligt

$$f = \frac{K}{Q^{1/3}} \quad (4)$$

där $K = \text{konstant} = 50$. I diagrammet fig 2 har f avsatts som funktion av $1/Q^{1/3}$ för de trycktidförlopp som registrerats. Bortser man från trycktidförloppet uppmätt vid Hammarbacken ($f = 3.6$ p/s) då laddningsvikten 400 kg egentligen var fördelad på två laddningar så ger $K = 56$ en bättre anpassning till de experimentella värdena på f .

Av de i växthuset i Storå uppmonterade geofonerna erhöles inget utslag från den som var monterad i grundmuren medan den i gaveln monterade registrerade en svängningshastighet av 1 mm/s och en svängningsfrekvens av 8 p/s. Denna rörelse innebär inte någon som helst risk för byggnaden. I skogvaktarbostaden i Hammarbacken erhöles för ungefär samma tryckvågsamplitud en svängningshastighet av 0.8 mm/s och en frekvens av 5 p/s. Denna byggnad i två våningar hade en stor gavel i riktning mot skjutplatsen.

Fönsterskador i samband med tryckvågor.

På stort avstånd från en detonerande laddning uppvisar stötvågens trycktidförlopp stora likheter med trycktidförloppet för en s.k. ljudbang från överljudsplan. Undersökningar av D.J. Maglieri^{4/} av ljudbangars skadeverkan på fönsterrutor visar att man inte enbart kan ta hänsyn till stötvågens max.-amplitud vid beräkning av skadegränsen. Diagrammet fig. 3 visar resultaten av försök med mer än 200 fönsterrutor av olika storlek samt en teoretiskt beräknad skadegräns (heldragen linje). Utmed abscissan har avsatts förhållandet mellan varaktigheten av den positiva delen av tryckpulsen θ , och fönstrets egensvängningstid τ . Utmed ordinatan har avsatts produkten $\Delta p_0 \left(\frac{a}{d}\right)^2$ där Δp_0 är max.-trycket, a fönsterrutans kantlinje och d rutans tjocklek. Rutorna var infästade i alla fyra kantlinjerna och på sådant sätt att minsta möjliga spänning uppstått i glaset. Extrapolerar man den del av skadegränsen som är parallell med abscissan, så kan man beräkna ett värde på Δp_0 för fönster av storleken 0.7 m x 0.9 m med tjockleken 3.8 mm som det större av växthusen i Storå var uppbyggt utav. En sådan ruta har en svängningsfrekvens av c:a 45 p/s. För en varaktighet på den positiva pulsen av 2-80 ms motsvarande 500-12 p/s skulle rutan krossas vid ett max.-tryck av 20 mbar.

Enligt Perkins^{5/} har fönster av ungefär samma storlek krossats då de utsatts för tryckvågor (från detonerande laddningar) med max.-tryck mellan 7-50 mbar. Om fönstret genom infästningen är utsatt för spänningar eller inte är infästat i alla fyra kantlinjerna så kan fönstret brista för lägre tryck.

Den i Storå uppmätta pulsen hade en amplitud av 0.2 mbar och en varaktighet av 75 ms, men vid andra vindförhållanden kan säkert större maximaltryck registreras. Utgår man från den maximala laddningsstorleken, 500 kg, som får detoneras på skjutplatsen så motsvarar den enl (3) ett max.-tryck av 0.65 mbar på 7.3 kms avstånd. Kraftig medvind (15 m/s) skulle kunna medföra en fördubbling av max.-trycket till 1.3 mbar. Detta värde är ändå c:a 5 ggr mindre än den enligt ref. (4) nämnda skadegränsen. Vid Svartbergsfallet har stötvågstrycket säkert överstigit 2 mbar vid ett flertal tillfällen utan att fönsterskador har uppstått. 1.4 mbar har uppmätts i Hälleboda utan inrapporterade skador. Det torde därför vara mycket liten sannolikhet att tryckvågen från laddningarna i Nyberget åstadkommer skador i Storå. Dock kan en enstaka fönsterruta som är så infästad att den befinner sig i ett spänningstillstånd brista även för max.-tryck mindre än 1 mbar.

Referenser.

1. Lundborg, N. Något om luftstöt vågor, ljudbangar och buller. DS 1970:11.
2. Persson, P.A. Luftstöt vågens skadeverkan vid sprängning. Rapport (DL 1968:23) maj 1968.
3. Grant, R.L. m.fl. Effect of Wheather on Sound Transmission from Explosive Shots. Bureau of Mines Report of Invest. 6921, 1967.
4. Maglieri, D.J. m.fl. Ground Measurements of Shock Wave Pressure for Fighter Airplanes Flying at Very Low Altitudes etc. Nasa Technical Note, Nasa TND 3443, 1966.
5. Perkins, B. m.fl. Forecasting the Focus of Air Blast due to Meteorological Conditions in the Lower Atmosphere. Rep. No 1118 Ballistic Res. Labs. Aberdeen Proving Ground, Oct. 1960.

TABELL I. DIMENSIONER PÅ DE VÄXTHUS I STORÅ DÄR GLASSKADOR IAKTTAGITS.

Växthus nr	Längd m	Bredd m	Höjd m	Glasens kantlinjer m	Glasens tjocklek mm	Antal skadetillfälle
1	28.6	3.14	2.5	0.45x0.5	2.5	1
2	28.6	6.4	3.5	0.45x0.5	2.5	0
3	28.6	8.0	4.0	0.7 x0.9	3.8	3

TABELL III. JÄMFÖRELSE MELLAN UPPMÄTTA OCH BERÄKNADE MAX.-TRYCK.

Laddn. vikt kg	Laddn. avst km	Uppmätt max.-tryck mbar	Beräknat max.-tryck mbar			Anm.
			P ₍₁₎	P ₍₂₎	P ₍₃₎	
20	1.6	0.45	1.17	1.26	1.0	Medvind Motvind Medvind
240	1.6	1.8	2.72	2.90	2.30	
240	2.84	1.4	1.54	1.63	1.29	
400	3.5	0.23	1.47	1.57	1.24	
480	7.0	0.58	0.79	0.83	0.66	
480	7.3	0.20	0.75	0.80	0.63	
			Ber. reflexionstryck mbar			Barografmätning
240	0.15	57	58	62	48.8	

TABELL III. RESULTAT AV TRYCK- OCH VIBRATIONSMÄTNINGAR SAMT METEOROLOGISKA OBSERVATIONER.

Mätplats	Laddn. avst km	Laddn. vikt kg	Max.- tryck mbar	Frekv. p/s	Stöv.gångstid exp. S	Stöv.gångstid ber S	Vibrationer hor.sv hast.mm/s	frekv. p/s	Luftens tryck mm Hg	temp. °C	Vind riktn.	styrka	Anm.
Svartbergs- fallet (260)	1.6	240	1.8	11.5	4.4	4.8			730	15	0	2-4	Mikrofon
"-"	1.6	20	0.45	21.4	4.7	4.8			"	"	"	2-4	"
Hälleboda (300)	2.82	240	1.4	9.4	7.7	8.4			"	"	"	4-5	"
Storå (60)	7.3	480	0.20	6.6	21.4	21.6	1	8	750	19	N till V	4-5	"
Grönvålsön (120)	7.0	480	+0.58 -0.7	6.6	21	20.6			"	19	"	2-4	"
Hammarbacken (195)	3.5	400	0.23	3.6	10.1	10.4	0.8	5	"	20	"	2	"
Skjutbunker (200)	0.15	240	57	-	-	-			730	15	0	2-4	Barograf

Siffror inom parentes under ortsnamnet anger höjd över havet enligt kartan

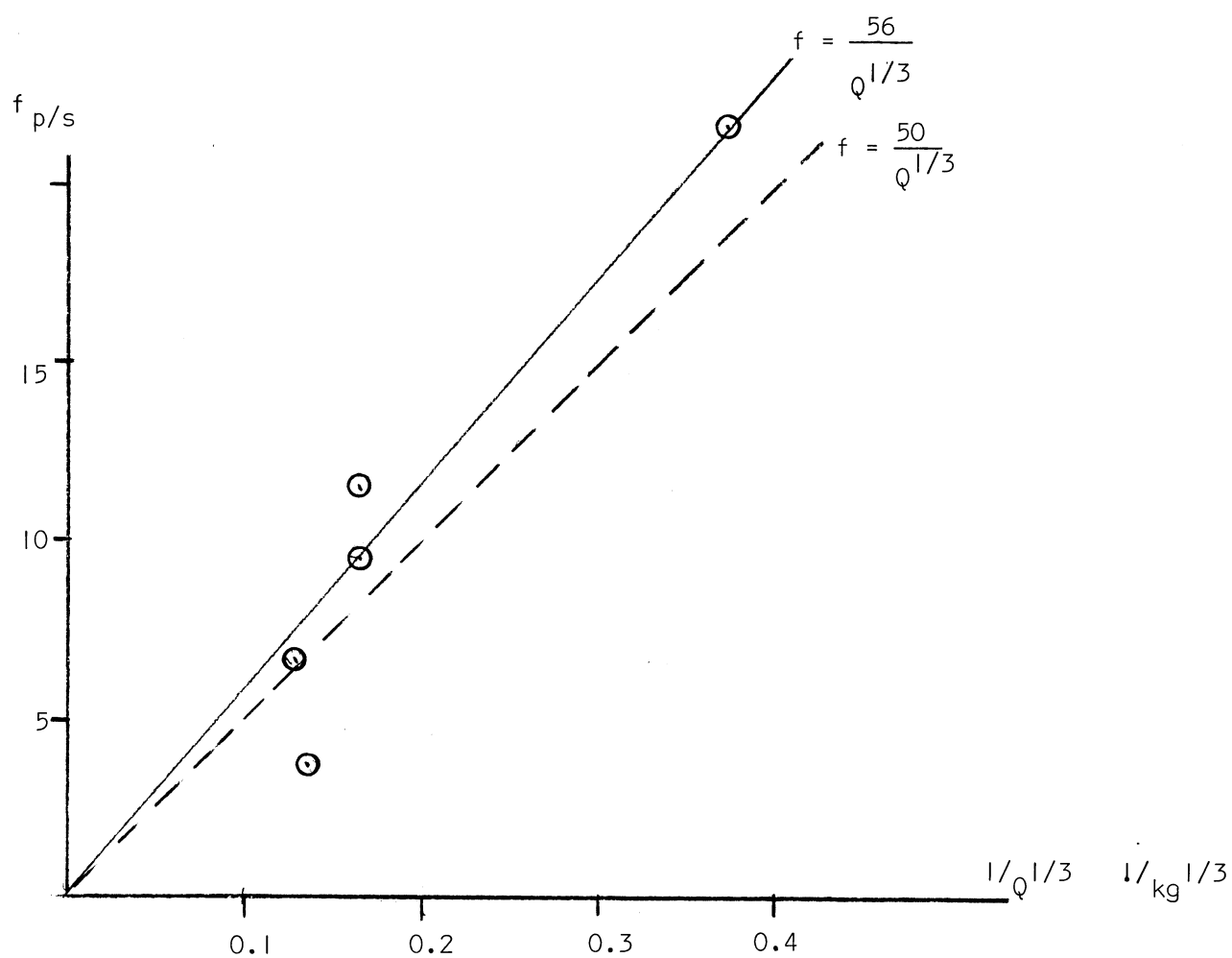


Fig. 2. Frekvensen som funktion av reducerade laddningsvikten.

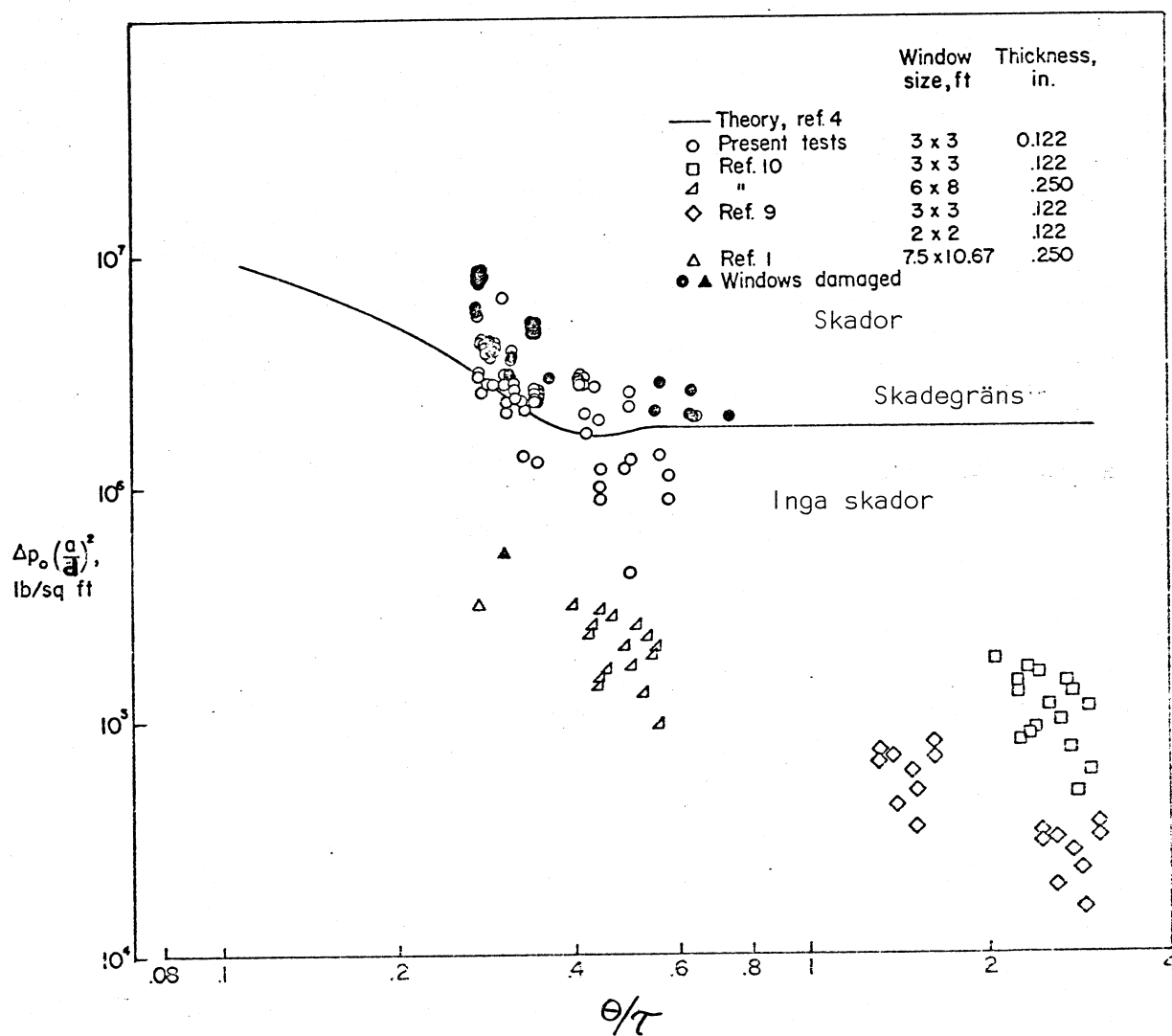


Fig. 3. Resultat av försök med fönsterrutor som utsatts för ljudbangar.

1 lb/sqf = 0.479 mbar,