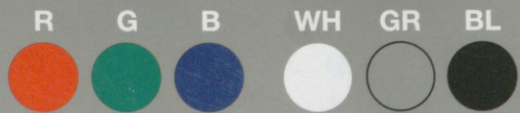


Part Code: ST1316



Grey Scale #13

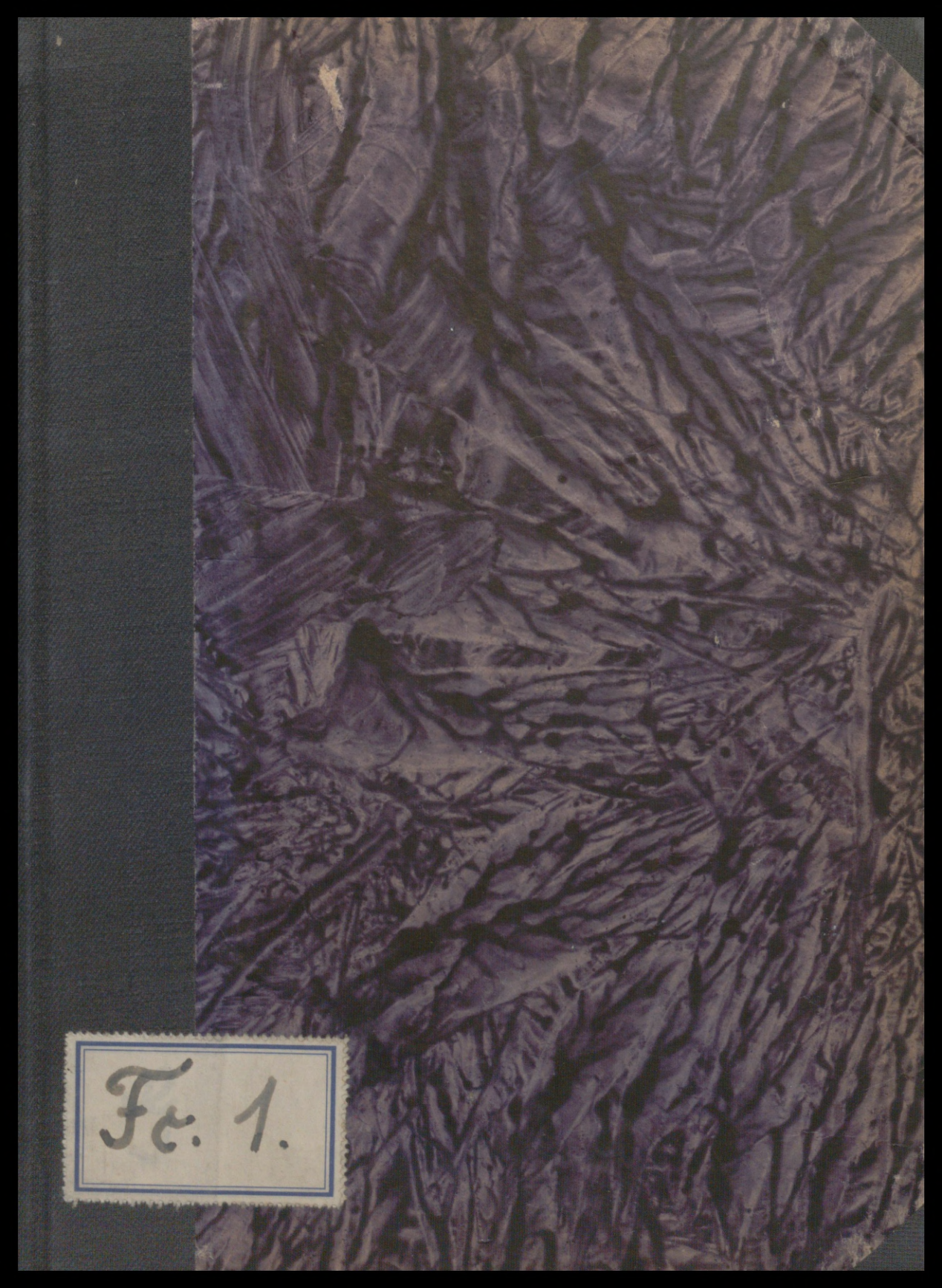


A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



Fe. 1.



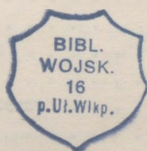


Fe. 1.

MIKOŁAJ TARNOWSKI
KAPITAN

BALISTYKA KOŃCOWA

DZIAŁANIE POCISKU U CELU



Eigentum
Heeresarchiv - Zweigstelle
Danzig

WARSZAWA 1938
WOJSKOWY INSTYTUT NAUKOWO-OŚWIATOWY

355.32(11)

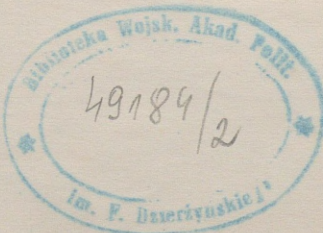
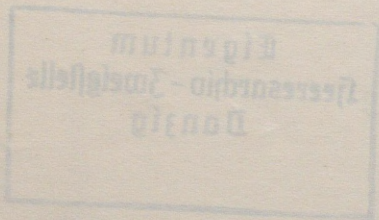
MIKOŁAJ TABANOWSKI
KAPITAŁ

14427/5



WSZELKIE PRAWA PRZEKŁADU I PRZEDRUKU ZASTRZEŻONE.

WYDAWANIE POCISKU U CELU



WARSZAWA 1938

GŁÓWNA DRUKARNIA WOJSKOWA, WARSZAWA, UL. PRZEJAZD 10

SPIS RZECZY.

I. DZIAŁANIE UDERZENIOWE.

	Str.
Słowo wstępne	1
Zakres balistyki końcowej	3
1. Charakterystyka ogólna	5
2. Zdolność wnikania	5
3. Zdolność rozbijania (przelamania) przeszkody	21
4. Wpływ kąta uderzenia	24
5. Wpływ szybkości pocisku na działanie uderzeniowe	28
6. Uwagi krytyczne, dotyczące wzorów do obliczania drogi wnikania	30
7. Wyniki badań działania uderzeniowego pocisków w terenie	31
8. Wyniki badań działania uderzeniowego pocisków na mur i beton	38
9. Wyniki badań działania uderzeniowego pocisków w drzewie	48
10. Wnikanie bomb lotniczych	51
11. Przebijanie pancerzy	53
a) Własności płyt pancernych	53
b) Przebijalność pancerza	57
c) Wzory na przebijanie pancerzy	61
d) Wpływ kąta uderzenia	75
e) Uwagi krytyczne, dotyczące wzorów na przebijanie płyt pancernych	79
f) Wyniki badań działania uderzeniowego pocisków na konstrukcje stalowe	81
12. Wytrzymałość skorup pociskowych na uderzenie	91
13. Pękanie ciał twardych pod wpływem uderzenia	94
14. Działanie uderzeniowe pocisku na cele żywe	97
a) Energia pocisku	97
b) Zdolność rażenia pocisków karabinowych	101
c) Zdolność rażenia lotek szrapnelowych	103

II. DZIAŁANIE WYBUCHOWE.

1. Charakterystyka ogólna	105
2. Zjawisko wybuchu	105
3. Proces rozkładu materiału wybuchowego	106
4. Eksplozja i detonacja	110
5. Przenoszenie detonacji	111
6. Gęstość materiału wybuchowego	114
7. Szybkość i przebieg reakcji wybuchu	121

	Str.
8. Analiza gazów i budowa równania reakcji wybuchu	122
9. Obliczenie ciśnienia statycznego ładunku wybuchowego	123
10. Ciśnienie właściwe	123
11. Ciśnienie statyczne	125
12. Określenie objętości gazów wybuchowych	125
A. Obliczenia objętości gazów według reakcji wybuchu	125
B. Doświadczalne określenie objętości gazów wybuchowych	128
a) Mierzenie V przez spalanie ładunku przy ciśnieniu normalnym	128
b) Mierzenie V przez spalanie ładunku pod dużym ciśnieniem	129
13. Obliczanie temperatury wybuchu	130
14. Mierzenie ciepła wybuchu Q_v za pomocą bomby kalorymetrycznej	134
15. Mierzenie ciśnienia statycznego	139
16. Pomiar szybkości detonacji	146
17. Praca ładunku wybuchowego	152
18. Działanie ładunku wybuchowego w różnych środowiskach. Działanie chemiczne, termiczne i mechaniczne	157
19. Działanie wybuchu w ziemi i skałach	161
a) Rodzaje min	161
b) Wymiary leja pozornego, odległość i kierunek rozrzutu gruzu	165
c) Wewnętrzne działanie miny	166
d) Czynniki, od których zależy wydajność wybuchu	167
20. Obliczanie działania wybuchowego granatów artyleryjskich i bomb okopowych	168
a) Działanie granatu 75 mm wz. 15	173
b) " " 105 " wz. 14	175
c) " " 120 " wz. 14	176
d) " " 155 " wz. 14	176
e) " " 220 " wz. 14	177
f) " " 370 " wz. 14	178
g) " " 21 cm	180
h) " " bomb okopowych	181
i) Sposób Giorgiego obliczania działania wybuchowego	181
k) Wymiary lejów podane przez N. di Giorgiego	183
21. Obliczanie działania wybuchowego bomb lotniczych	185
a) Bomba niemiecka 50 kg	185
b) " " 100 "	188
c) " " 300 "	191
d) " " 1000 "	192
e) Wyznaczenie czasu spalania się opóźniacza w zapalnikach do bomb lotniczych	194
22. Działanie ładunku wybuchowego na mur	197
a) Mur zwykły	197
b) " obciążony	198
c) Sklepienia	199
23. Działanie fali wybuchowej w powietrzu	199
a) Szybkość fal i ich rodzaje	204
b) Ciśnienie fali uderzeniowej	206

	Str.
c) Działanie uderzeniowej fali wybuchowej	212
d) Działanie fali wybuchowej na budynki	213
e) Mierzenie szybkości fali wybuchowej w powietrzu	217
f) Działanie fali wybuchowej na organizm żywy	218
24. Wybuch w wodzie	218
25. Skuteczność bombardowania mostów	228
26. Ciśnienie dynamiczne wybuchu	232

III. DZIAŁANIE ROZPRYSKOWE CZYLI ODŁAMKOWE.

1. Działanie granatu artyleryjskiego w stanie bezwładu	236
2. Działanie rozpryskowe granatu na torze	244
a) Pole rażenia granatu	251
b) Gęstość rażenia granatu	254
3. Doświadczalne określenie ilości i ciężaru odłamków	258
4. " " działania odłamkowego granatu	260
5. Działanie rozpryskowe szrapnela	263
a) Doświadczalne określenie szybkości u	268
b) " " kątowej u_2	269
c) " " kąta rozwarcia stożka rozprysku	270
d) Pole i gęstość rażenia	270
e) Skuteczność lotki szrapnelowej	275
f) Donośność skuteczna lotek	275
g) Skuteczność szrapnela	277
h) Najdogodniejsze warunki działania rozpryskowego szrapnela	280

IV. DZIAŁANIE TRUJĄCE.

1. Działanie gazów bojowych	283
2. Stężenia obojętniające	285
3. Własności fizyczne gazów bojowych	287
4. Prężność pary nasyconej	291
5. Działanie pocisków i bomb gazowych	293

V. DZIAŁANIE ZAPALAJĄCE.

1. Charakterystyka ogólna	298
2. Własności środków zapalających	299
3. Bomby zapalające i środki obrony przed ich działaniem	303
a) Zasady konstrukcji bomb zapalających	303
b) Działanie bomb zapalających	304
c) Środki obrony czynnej	307
d) " " biernej	309

VI. DZIAŁANIE DYMNE.

1. Charakterystyka ogólna	311
2. Pocisk smugowy karabinowy	312

3. Smugowe pociski artyleryjskie	Str. 313
4. Rakiety	313

VII. DZIAŁANIE ŚWIETLNE.

1. Charakterystyka ogólna	315
2. Jasność światła	316
3. Sposoby mierzenia siły światła	318
4. Obliczenie siły światła pocisków oświetlających	320
a) Rakieta oświetlająca	320
b) Pocisk oświetlający artyleryjski	321
c) Bomba oświetlająca lotnicza	321

VIII. DZIAŁANIE DŹWIĘKOWE. 322

IX. DZIAŁANIE MORALNE. 327

SŁOWO WSTĘPNE.

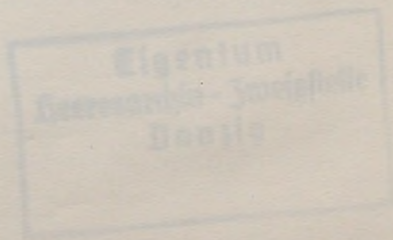
Praca niniejsza jest wynikiem studiów literatury obcej oraz doświadczeń własnych.

Przeprowadzone doświadczenia pozwoliły wyjaśnić istotę zjawisk, stanowiących dziedzinę balistyki końcowej, i ustalić właściwy sposób oceny działania pocisków różnego rodzaju.

Sądzę, że zawarte w tej pracy wiadomości mogą być z pożytkiem wykorzystane zarówno przy konstrukcji amunicji, jak i przy badaniu skuteczności pocisków lub przy wykonywaniu zadań taktycznych.

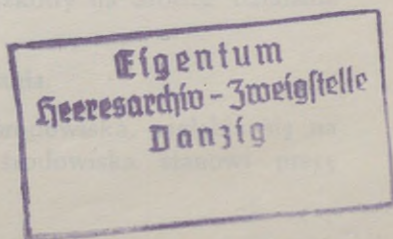
Oddając pracę do druku, pragnę podziękować Pp. płk. inż. Stanisławowi Witkowskiemu, ppłk. inż. Apolinaremu Żebrowskiemu, ppłk. inż. Bolesławowi Carowi, ppłk. inż. Henrykowi Rakowskiemu, ppłk. Aleksandrowi Tupajowi, mjr. dypl. Mieczysławowi Pęczkowskiemu, prof. dr. Tadeuszowi Urbańskiemu oraz inż. Eugeniuszowi Bergerowi za łaskawe przeczytanie poszczególnych rozdziałów rękopisu i udzielenie cennych rad i wskazówek.

M. Tarnowski kpt.



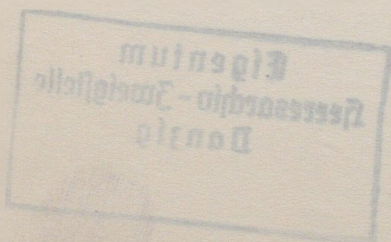
ZAKRES BALISTYKI KOŃCOWEJ.

Balistyka końcowa obejmuje badania zjawisk towarzyszących działaniu pocisku u celu. Ogólnie pociskiem nazywa się ciało, rzucone do celu. Każdy rzucony pocisk, jako element ruchu, ma działanie uderzeniowe, w zależności zaś od konstrukcji może mieć działanie wybuchowe, rozpryskowe, trujące, zapalające, dymne, dźwiękowe i świetlne. Poza tym materialne działanie pocisku zawsze wywiera wrażenie moralne, które jest jednym z najważniejszych czynników walki.



ZAKRES BALISTYKI KOŃCOWEJ

Balistyka końcowa obejmuje badanie zjawisk towarzyszących działaniu pocisku w celu. Ogólnie pociskiem nazywa się ciało, ruszające do celu. Każdy ruszony pocisk jako element ruchu, ma działanie udarowe, w zależności zaś od konstrukcji może mieć działanie wybuchowe, rozpryskowe, tnące, zapalające, dynamiczne, drgające i świdrujące. Poza tym materialne działanie pocisku zawsze wywołuje wstrząs mechaniczny, które jest jednym z najważniejszych czynników walki.



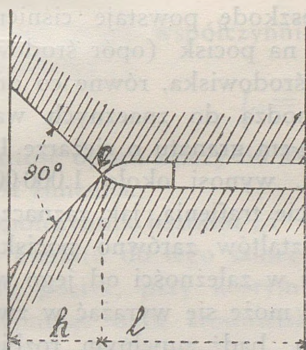
I. DZIAŁANIE UDERZENIOWE.

1. Charakterystyka ogólna.

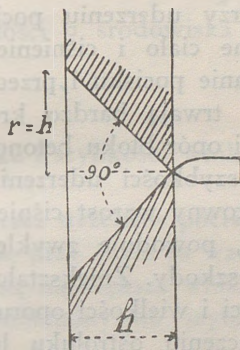
Działanie uderzeniowe ma każdy pocisk lub jego część, poruszająca się pod wpływem jakiejkolwiek bądź siły.

Działanie uderzeniowe pocisku polega na zdolności niszczenia spójności cząsteczek, z których składa się cel, przez uderzenie masy pocisku, poruszającej się ze znaczną szybkością.

Działanie uderzeniowe może mieć charakter wnikania, jeśli pocisk zagłębia się do środowiska, którego opór całkowicie pochłania



Ryc. 1.



Ryc. 2.

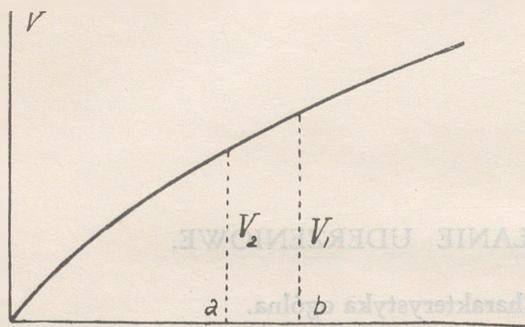
energię pocisku (ryc. 1), lub — charakter rozbicia (przełamania), gdy energia pocisku przewyższa opór przeszkody na drodze działania (ryc. 2).

2. Zdolność wnikania.

Pocisk, pokonywając opór danego środowiska, zagłębia się na określoną długość. Pokonanie oporu środowiska stanowi pracę

pocisku, która jest miarą jego energii kinetycznej. Szybkość pocisku, w miarę zagłębiania się w danym środowisku, staje się coraz mniejsza

i może dojść do zera. Jednocześnie z tym maleje i energia kinetyczna pocisku, stając się równą zero w chwili, gdy pocisk przestaje się poruszać.



Ryc. 3.

Energia pocisku podczas wnikania zużywa się na zniekształcenie pocisku, mniejsze lub większe w zależności od odporności środowiska

wnikania, oraz na nadanie cząsteczkom przeszkody przyspieszenia, które jest tym większe, im łatwiej się mogą one przesuwac względem siebie i im mniejsze jest przy tym tarcie między nimi; reszta energii przemienia się na ciepło, powodujące ogrzanie pocisku i przylegających doń warstw środowiska wnikania.

Przy uderzeniu pocisku o przeszkodę powstaje ciśnienie na trafione ciało i ciśnienie tego ciała na pocisk (opór środowiska). Działanie pocisku i przeciwdziałanie środowiska, równe co do wielkości, trwają bardzo krótko i dochodzą do znacznych wartości. Średni opór bloku betonowego dla 24-cm granatu o ciężarze 170 kg, przy szybkości uderzenia 230 m/sek. wynosi około 1.000.000 kg. Gwałtowny wzrost ciśnienia w punkcie trafienia, jak zaznaczyliśmy wyżej, powoduje zwykle zmianę kształtów zarówno pocisku, jak i przeszkody. Zniekształcenie pocisku w zależności od jego wytrzymałości i wielkości oporu środowiska może się wyrażać w zwykłym spłaszczeniu ostrołuku lub pęknięciu, bądź zupełnym rozbiciu się pocisku.

Dotknięte przez pocisk cząsteczki przeszkody oddają część swej energii cząsteczkom dalej położonym, dzięki czemu ulegają również zniszczeniu warstwy nie stykające się bezpośrednio z pociskiem. Pod wpływem uderzenia w materiałach sprężystych powstaje ruch falowy cząsteczek, powodujący wibrację przedmiotu, który się rozprzestrzenia w ciałach ciekłych i stałych na ogół z szybkością większą od szybkości pocisku. W wodzie ta szybkość wynosi ~ 1440 , w stali zaś ~ 5000 m/sek.

Wartość efektu cieplnego, obserwowanego przy uderzeniu, jest proporcjonalna do energii pocisku i wytrzymałości przeszkody.

Kpt. de Gréef ¹⁾ przyjmuje, że w betonie i żelbetonie strata energii na efekt cieplny wynosi $\sim 1\%$ całkowitej energii pocisku.

Przy znacznym oporze środowiska wnikania (płyty pancerne) pocisk ogrzewa się do temperatury sięgającej ponad 180° . Właściwość tę wykorzystuje się często przy konstrukcji pocisków przeciwpancernych, nie posiadających zapalników, celem otrzymania koniecznej zwłoki działania pocisku. W tym wypadku ogrzanie pocisku powoduje zapalenie ładunku wewnętrznego, w następstwie czego powstaje wybuch i rozerwanie skorupy.

Praca pocisku L_p polega na wykonaniu wgłębienia l przy działaniu siły F . Pomijając stratę energii uderzenia na zniekształcenie pocisku i efekt cieplny, możemy napisać:

$$L_p = F \cdot l = \frac{G v_k^2}{2g},$$

gdzie G jest to ciężar pocisku w kg, v_k — szybkość końcowa w m/sek., g — przyspieszenie ziemskie $= 9,81$ m/sek².

Natomiast praca oporu L_o mierzy się objętością zniszczonego materiału, którą można przyjąć równą objętości walca $\frac{\pi d^2}{4} \cdot l$, pomnożonej przez współczynnik wytrzymałości σ środowiska wnikania, a zatem:

$$L_o = \frac{\pi d^2}{4} \cdot l \cdot \sigma.$$

Wartość oporu zależy od kształtu pocisku i szybkości wnikania, która jest zmienna.

Współczynnik kształtu „ i ” określa się przez strzelanie pociskami różnego kształtu do tego samego środowiska, przy czym za wzorzec uważa się pocisk, przy którym otrzymuje się największe wnikanie.

Przyjmując opór środowiska za proporcjonalny do szybkości końcowej v_k , otrzymamy:

$$L_o = \frac{\pi d^2}{4} l \sigma i v_k.$$

Praca pocisku L_p i praca oporu L_o na drodze wnikania są sobie równe co do wielkości, a zatem:

$$\frac{G v_k^2}{2g} = \frac{\pi d^2}{4} l \sigma i v_k.$$

¹⁾ Bulletin Belge de Sciences Militaires. Revue Techn. 1934. Contribution à l'étude des abris de fortification.

Skąd droga wnikania:

$$l = \frac{G v_k^2 \cdot 4}{2 g \pi d^2 \sigma i v_k} = \frac{2 G v_k^2}{i g \pi d^2 \sigma}.$$

Podstawiając w równaniu wielkość $\frac{2}{i g \pi} \sigma$ przez współczynnik oporu środowiska α , otrzymamy:

$$l = \frac{\alpha G v_k}{d^2},$$

gdzie l — droga wnikania w m , zaś d — kaliber pocisku w cm .

Przy kącie uderzenia $\omega = 90^\circ$ głębokość wnikania h równa się drodze wnikania l . Przy mniejszych kątach uderzenia głębokość wnikania $h = l \cdot \sin \omega$, a zatem:

$$h = \frac{\alpha G v_k \sin \omega}{d^2}$$

Współczynnik oporu środowiska α określa się doświadczalnie przez strzelanie wzorcowym pociskiem do różnych środowisk.

Wartość współczynnika α z powyższego wzoru, ustalona na podstawie doświadczeń, wynosi:

0,11	dla	ziemi świeżo usypanej i pulchnej,
0,07	„	ziemi średniej,
0,035	„	ziemi zleżałej i piasku,
0,035	„	drzewa miękkiego,
0,020	„	drzewa twardego,
0,013	„	skał i kamienia,
0,0065	„	betonu,
0,0016	„	stali.

Określenie drogi wnikania pocisku w środowiskach o różnej wytrzymałości polega w gruncie rzeczy na umiejętności określania wartości oporu R danego środowiska.

Euler	przyjmuje	$R = \pi r^2 \cdot a.$
Poncelet	„	$R = \pi r^2 (a + b v_k).$
Résal	„	$R = \pi r^2 (a v_k + b v_k^2).$
Levi-Civita	„	$R = \pi r^2 (a + b v_p) (1 + \beta v_k).$

Współczynniki „ a ” i „ b ” są zależne od materiału przeszkody. Współczynnik β ustala się doświadczalnie, v_k — szybkość końcowa w chwili uderzenia, v_p — szybkość pozostała na drodze wnikania.

Wzory Eulera, Ponceleta i Résala, opracowane sposobem analitycznym, wymagają sprawdzenia przez doświadczenia.

a) Euler przyjmuje opór środowiska za proporcjonalny do kwadratu szybkości końcowej $\left(R \cdot l = \frac{mv_k^2}{2}\right)$, podczas gdy inni balistycy zmianę wartości oporu uzależniają od zmiany szybkości pocisku podczas wnikania.

Poncelet i Vallier podają wzory na obliczanie drogi wnikania, ustalone sposobem doświadczalnym.

b) Według Ponceleta, o ile $v_p = 0$, droga wnikania

$$l = \frac{G}{2 b g \pi r^2 i} \cdot \log \text{ nat} \left(1 + \frac{b}{a} v_k^2 \right),$$

zaś czas wnikania:

$$t = \frac{G}{g \pi r^2 i \sqrt{a b}} \cdot \text{arctg} \left(v_k \cdot \sqrt{\frac{b}{a}} \right),$$

gdzie i — współczynnik kształtu, równy 1 dla pocisków kulistych i $2/3$ — dla pocisków wydłużonych;

„ a ” i „ b ” — współczynniki, zależne od własności fizycznych środowiska (według Morina, Didiona i Pioberta):

Wapień	$a = 12000000$	$10^6 \cdot b/a = 15$
Mur mocny	$a = 5520000$	$10^6 \cdot b/a = 15$
Mur średniej wytrzymałości	$a = 4400000$	$10^6 \cdot b/a = 15$
Mur słaby	$a = 3160000$	$10^6 \cdot b/a = 15$
Pasek z krzemionką	$a = 435000$	$10^6 \cdot b/a = 200$
Ziemia gliniasta	$a = 1045000$	$10^6 \cdot b/a = 35$
Ziemia lekka, porośnięta trawą	$a = 700000$	$10^6 \cdot b/a = 60$
Nasyp ziemny, glina w poło-		
wie z piaskiem	$a = 461000$	$10^6 \cdot b/a = 60$
Glina wilgotna	$a = 266000$	$10^6 \cdot b/a = 80$
Sosną, buk, jesion	$a = 2085000$	$10^6 \cdot b/a = 20$
Wiąz	$a = 1600000$	$10^6 \cdot b/a = 20$
Świerk i brzoza	$a = 1160000$	$10^6 \cdot b/a = 20$
Topola	$a = 1090000$	$10^6 \cdot b/a = 20$

c) Według E. Valliera droga wnikania:

$$l_{(m)} = \alpha \frac{G}{\pi r_{(cm)}^2} \cdot \log \left(1 + 0,5 \frac{v_k^2}{10^4} \right),$$

przy czym α jest współczynnikiem oporu środowiska wnikania, określanym doświadczalnie.

Dla żelbetu wartość α wynosi 6,4 — 7,1.

Zabudski, Pétry i Nobile di Giorgi uważają średni opór środowiska za proporcjonalny do pewnej funkcji szybkości końcowej.

d) Wobec tego według Zabudskiego droga wnikania

$$l = \alpha \cdot c \cdot f(v_k),$$

gdzie l w m,

α — współczynnik oporu środowiska wnikania,

c — współczynnik balistyczny $= \frac{G}{1000 d^2}$ (G — ciężar pocisku w kg, d — kaliber pocisku w m).

Wartości współczynnika α :

Beton mocny	0,200
Beton średni	0,409
Granit	0,647
Przykrycie kamienne	0,624
Przykrycie z cegły	0,939
Świeżo usypany piasek (ziemia lekka) .	4,793
Świeża glina	5,199
Grunut gliniasty z piaskiem	2,555
Glina zleżała	3,544
Stary nasyp piaszczysty pokryty darnią	2,577
Piasek ze żwirem	1,961
Dąb, buczyna, jesion	1,639
Wiąz	2,100
Świerk, brzoza	2,897
Topola	3,083

Wartości $f(v_k)$:

v_k w m'/sek.	$f(v_k)$	v_k w m'/sek.	$f(v_k)$
100	0,176	220	0,534
110	0,205	230	0,562
120	0,236	240	0,589
130	0,256	250	0,615
140	0,297	260	0,641
150	0,327	270	0,677
160	0,358	280	0,692
170	0,388	290	0,716
180	0,418	300	0,740
190	0,448	310	0,764
200	0,477	320	0,784
210	0,506	330	0,809

e) Pétry, naśladowując wzór Zabudskiego, zaproponował w r. 1910 następujące równanie dla określenia głębokości wnikania l w m, przy ciężarze pocisku G w kg i kalibrze $2r$ w cm

$$l = \frac{G}{(2r)^2} \cdot \alpha \cdot f(v_k).$$

Współczynnik α , zależny od własności materiału, wynosi:

dla betonu	0,64
„ muru kamiennego	0,94
„ muru ceglastego	1,63
„ gruntu piaszczystego	2,94
„ gruntu porośniętego trawą	3,86
„ gruntu wapiennego	5,87.

Wartości $f(v_k)$:

v_k m/sek.	$f(v_k)$	v_k m/sek.	$f(v_k)$	v_k m/sek.	$f(v_k)$	v_k m/sek.	$f(v_k)$
40	0,33	160	3,58	280	6,92	400	9,54
60	0,72	180	4,18	300	7,40	420	9,92
80	1,21	200	4,77	320	7,84	440	10,29
100	1,76	220	5,34	340	8,31	460	10,64
120	2,36	240	5,89	360	8,74	480	10,98
140	2,97	260	6,41	380	9,15	500	11,30

Różnica pomiędzy wzorem Pétry'ego a wzorem Zabudskiego polega na stosowaniu różnych współczynników α .

Przykład. Według wzoru Pétry'ego zagłębienie w terenie piaszczystym dla pocisku 155 mm o wadze 43 kg przy $v_k = 260$ m/sek. wynosi:

$$h = \frac{43 \cdot 2,94 \cdot 6,41 \cdot \sin 30^\circ}{15,5^2} = 1,69 \text{ m.}$$

Według wzoru Zabudskiego:

$$h = \frac{43 \cdot 2,577 \cdot 0,641 \cdot \sin 30^\circ}{1000 \cdot 0,155^2} = 1,48 \text{ m.}$$

f) Nobile di Giorgi¹⁾ podaje wzór, podobny do poprzednich, a mianowicie:

$$l = \frac{P_s}{i} \alpha f(v_k),$$

¹⁾ Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie — und Geniewesens, 1911.

gdzie l — droga wnikania w cm, P_s — obciążenie przekroju poprzecznego pocisku w kg/cm², wartości $f(v_k)$, α i „ i ” dla różnych środowisk podaje się niżej.

1) Wnikanie do ziemi.

Wartości $f(v_k)$:

v_k m/sek.	$f(v_k)$	v_k m/sek.	$f(v_k)$	v_k m/sek.	$f(v_k)$	v_k m/sek.	$f(v_k)$
90	240	200	1640	300	2390	400	2770
100	290	210	1770	310	2440	440	2900
110	340	220	1870	320	2480	480	3020
120	410	230	1960	330	2520	520	3140
130	500	240	2050	340	2560	560	3260
140	620	250	2120	350	2600	600	3380
150	760	260	2180	360	2630	640	3500
160	930	270	2240	370	2670	680	3620
170	1130	280	2290	380	2700	wartości $f(v_k)$ dla v_k od 400 do 680 obliczono przez ekstrapolację.	
180	1350	290	2340	390	2740		
190	1510						

Wartości współczynnika α :

Gruby żwir porośnięty	0,3
Gruby żwir nasypyany	0,45
Drobny żwir	0,5
Gruby piasek czysty	0,6
Ziemia ogrodowa ze żwirem	0,8
Ziemia porośnięta lub ubita	0,8
Grunt gliniasty lub suchy, ubita glina	0,8
Nasyp z ciężkiej ziemi	0,9
Suchy, drobny piasek	0,9
Ziemia sucha, pulchna lub ogrodowa	1,0
Świeżo nasypiana, sucha ziemia	1,4
Ziemia wilgotna lub mokra	1,5 — 1,6
Węgiel kamienny	1,14.

Współczynnik „ i ”.

Powyższe tabele otrzymano przy badaniu gruntów pociskami z owalnym ostrołukiem, dla których przyjęto $i = 1$. Dla pocisków

z wydłużonym ostrołukiem i jest mniejsze od 1. Należy nadmienić, że stabilizacja ostatnich jest gorsza, przeto dogodność kształtu niweczy się częściowo przez gorszą stateczność pocisku.

Wartości współczynnika „ i ”:

dla pocisków z owalnym ostrołukiem (artyleryjskich) 1
 „ „ „ „ „ (karabinowych) 1,3
 „ lotek szrapnelowych około 1,3.

Wartość „ i ” zależy również od szybkości:

	m/sek.	naj- mniejsza	średnia	naj- większa
przy pociskach artyleryjskich				
przy szybkościach do . .	200	0,55	1	1,65
przy szybkościach do . .	200 — 300	0,70	1	1,40
przy szybkościach do . .	300 — 400	0,75	1	1,30.

2) Wnikanie do muru i betonu.

Wartości $f(v_k)$:

v_k	$f(v_k)$	v_k	$f(v_k)$	v_k	$f(v_k)$	v_k	$f(v_k)$
20	19	140	211	260	487	380	798
40	42	160	253	280	537	400	852
60	69	180	297	300	588	420	907
80	100	200	343	320	639	440	963
100	134	220	390	340	691	460	1019
120	171	240	438	360	744	480	1076

Wartości współczynnika α :

dobry mur z cegły 1
 mocny beton 0,4
 mur kamienny ~0,7 zależnie od jakości.

Wartości współczynnika „ i ”:

granaty pancerne, półpancerne oraz granaty o mocnej skorupie
 z krótkim zapalnikiem głowicowym 1
 granaty zwykłe z długim zapalnikiem głowicowym 1,5

3) Wnikanie do drzewa.

Opór drzewa przy wnikaniu pocisku jest stosunkowo nieznaczny, wobec tego nie nadaje się ono do budowy osłon, chroniących przed

wnikaniem pocisków artyleryjskich. Drzewa używa się przeważnie jako elastycznego oparcia warstwy ochronnej lub przykrycia od lotek szrapnelowych, odłamków granatów oraz jako materiału do oszalowania schronów.

Zdolność rozbijania pocisków w drzewie jest niewiele większa niż zdolność wnikania.

Na zasadzie doświadczeń z 8 mm pociskiem austriackim wz. 88 ustalono następujące wartości $f(v_k)$ dla drzewa miękkiego.

v_k	$f(v_k)$	v_k	$f(v_k)$	v_k	$f(v_k)$	v_k	$f(v_k)$
160	390	300	990	440	2050	580	3440
180	440	320	1120	460	2220	600	3650
200	500	340	1260	480	2400	620	3860
220	570	360	1410	500	2590	640	4060
240	660	380	1560	520	2790	660	4260
260	760	400	1720	540	3000	680	4460
280	870	420	1880	560	3220	700	4660

Opór, stawiany pociskowi przez drzewo różnych gatunków, jest niejednakowy. W praktyce wystarczy rozróżniać tylko dwa gatunki zależnie od spoistości: drzewo miękkie i drzewo twarde.

Do pierwszej grupy należą: jodła, sosna itp., do drugiej: dąb, buk, grab itp. Rodzaje drzewa należące do jednej grupy mają zbliżone współczynniki oporu.

Powyżej podana tabela przedstawia wartości $f(v_k)$ dla średnich wielkości wnikania.

Drogi wnikania najmniejsze, średnie i największe w drzewie miękkim mają się do siebie jak :

$$0,57 \cdot 1 \cdot 1,43 \text{ (wg Journée'go) bądź jak :}$$

$$0,76 \cdot 1 \cdot 1,44 \text{ (wg Giorgi).}$$

W zależności od gatunków drzewa zagłębienie pocisku ma następujące wartości :

dąb, buk, grab, jesion 1

wiąz $1,2 \cdot 1$

sosna, brzoza $1,6 \cdot 1$

topola $1,8 \cdot 1$

Drzewo miękkie.

Lotki ołowiane.

Współczynnik kształtu „i” według Journée’go dla lotek szrapnelowych z twardego ołowiu wypada = 1,086 lub okrągło 1,1, dla lotek zaś z miękkiego ołowiu = 1,37.

Ciężar właściwy miękkiego ołowiu $\delta = 11,3$ i twardego ołowiu $\delta = 11,1$; można wprowadzić do obliczeń zamiast obciążenia po-przecznego P_s , średnicę d lub ciężar G lotki.

$$\text{Wobec tego: } P_s = \frac{2}{3000} d \text{ (cm)} \delta \quad \text{lub}$$

$$P_s = 0,827 \delta^{2/3} G^{1/3} \text{ (g)}.$$

W szczególności przy ołowiu twardym $P_s = 0,0074 d \text{ (cm)}$,

„ „ „ „ „ miękim $P_s = 0,00753 d \text{ (cm)}$,

bądź „ „ „ „ „ twardym $P_s = 0,004116 \sqrt[3]{G}$,

„ „ „ „ „ miękim $P_s = 0,004165 \sqrt[3]{G}$.

Współczynnik α dla miękkiego drzewa wynosi 1.

Jeżeli uwzględnimy wyżej podany współczynnik kształtu, to równanie do obliczania wnikania lotek przy $v_k = 400 - 300 \text{ m/sec}$. przyjmie postać następującą.

1) Przy zadanej średnicy w cm:

dla lotek z ołowiu twardego $l \text{ (cm)} = 0,00673 d \text{ (cm)} \cdot f(v_k)$,

„ „ „ „ „ miękkiego $l \text{ (cm)} = 0,0055 d \text{ (cm)} \cdot f(v_k)$.

2) Przy zadanym ciężarze w g:

dla lotek z ołowiu twardego $l \text{ (cm)} = 0,00374 \sqrt[3]{G_{(g)}} \cdot f(v_k)$,

„ „ „ „ „ miękkiego $l \text{ (cm)} = 0,00304 \sqrt[3]{G_{(g)}} \cdot f(v_k)$.

Journée podaje wzory następujące:

1) dla drzewa jodłowego $l \text{ (mm)} = 0,000093 d \text{ (mm)} v_k^2$,

ważny dla lotek z ołowiu twardego przy $v_k = 400 \text{ m/sec}$.

„ „ „ „ „ miękkiego przy $v_k = 300 \text{ m/sec}$.

Jeśli szybkość uderzenia $v_k < 80 \text{ m/sec}$., lotki powodują tylko wgłę-bienia i odbijają się.

2) Dla jednostajnego drzewa topolowego:

przy lotkach z ołowiu twardego $l \text{ (mm)} = 0,000097 d \text{ (mm)} v_k^2$,

„ „ „ „ „ miękkiego $l \text{ (mm)} = 0,000076 d \text{ (mm)} v_k^2$.



Ze względu na zniekształcanie się lotek przy większych szybkościach, powyższe równania są miarodajne jedynie dla szybkości nie przekraczających 350 m/sec. przy lotkach z twardego ołowiu i 250 m/sec. przy lotkach z miękkiego ołowiu.

Pociski karabinowe.

1) 6,5—8 mm pociski z owalnym ostrołukiem, typu austriackiego wz. 88:

$$\text{współczynnik kształtu } i = 1$$

$$,, \quad ,, \quad \alpha = 1$$

wobec tego $l = P_s \cdot f(v_k)$ (w cm).

Obciążenie poprzeczne takich pocisków waha się od 29.1 do 31.6 g/cm².

Jeżeli nie chodzi o dokładne obliczenie, można przyjąć średnie

$$P_s = 30 \text{ g/cm}^2, \text{ a zatem } l \text{ (cm)} = 0,03 \cdot f(v_k).$$

Journée podaje następujący wzór dla jodły:

$$l \text{ cm} = 0,0000138 P_s \cdot v_k^2$$

miarodajny dla szybkości poniżej 500 m. Przy szybkościach poniżej 60 m/sec. pociski nie zagłębiają się, lecz powodują tylko wgłębienia.

2) Pociski typu D lub S.

Wernike podaje następujący wzór empiryczny dla szybkości od 98 do 448 m/sec.:

$$l \text{ (m)} = 0,162025 - 0,00085545 v_k + 0,0000035265 v_k^2$$

zaś dla szybkości od 448 do 870 m/sec.:

$$l \text{ (m)} = 0,0022275 v_k - 0,49793.$$

Przy obliczeniach wnikania należy stosować następujące współczynniki:

$$\alpha = 1,$$

$$i = 0,69 \text{ przy } v_k = 180 \text{ m/sec.},$$

$$i = 0,80 \text{ przy } v_k = 240 \text{ m/sec.},$$

$$i = 0,88 \text{ przy } v_k = 300 - 700 \text{ m/sec.}$$

Współczynniki kształtu „i” oznaczają najmniejsze wartości dla danego pocisku typu D lub S.

Drzewo twarde.

Lotki ołowiane.

Lotki ołowiane, zarówno z ołowiu twardego jak i z miękkiego, ulegają tak dużemu zniekształceniu w drzewie twardym, że niemożliwe jest ustalenie jakiegokolwiek bądź wzoru na zagłębianie.

Obliczenia przybliżone można przeprowadzać za pomocą wzoru dla drzewa miękkiego.

Pociski karabinowe.

Pociski karabinowe osiągają w twardym drzewie nierównomierne głębokości wnikania ze względu na niejednostajną masę drzewną.

Przy zastosowaniu pocisków o płaszczech stalowych, głębokość wnikania stale się zwiększa w miarę zwiększania szybkości pocisku nawet po przekroczeniu 650 m/sek. przy dębinie lub 700 m/sek. przy drzewie bukowym. Pociski z płaszczem melchiorowym zniekształcają się znacznie łatwiej, wobec czego po przekroczeniu szybkości 500 m/sek. zmniejsza się głębokość ich wnikania.

Przy obliczaniu głębokości wnikania należy stosować współczynniki:

$$\alpha = 0,63,$$

$$i = 1 \text{ przy } v_k = 600 \text{ m/sek.},$$

$$i = 1,2 \text{ przy } v_k = 700 \text{ m/sek.},$$

$$f(v_k) \text{ podaje się w tabeli na str. 14.}$$

Przyjmując średnie $P_s = 30 \text{ g/cm}^2$, otrzymamy równanie ważne dla pocisków z płaszczem stalowym przy $v_k = 600 \text{ m/sek.}$

$$l \text{ (cm)} = 0,019 f(v_k).$$

Do obliczania przebijania konstrukcji drewnianych używa się również wzoru:

$$l^{0,6} = 0,003 \frac{G^{1/2}}{d^{0,3}} v_k$$

przy czym G w kg, d w dcm, v_k w m/sek.

Dla pocisków artyleryjskich, których szybkość końcowa v_k wynosi $\sim 350 \text{ m/sek.}$ ustalono współczynnik $\alpha = 0,63$, współczynnik „i” = 0,84 i $f(v_k) = 15,3$.

Dla ułatwienia obliczeń według przytoczonych wyżej wzorów załączamy poniższą tabelę.

Obciążenie przekroju poprzecznego pocisku $P_s = \frac{1}{\pi r^2} \cdot G \text{ kg/cm}^2$.

Tabela zawiera wartości $\frac{1}{\pi r^2}$ dla najbardziej rozpowszechnionych kalibrów. Mnożąc te wartości przez ciężar pocisku, otrzymamy obciążenie poprzeczne P_s .

Kalib ber w cm	$\frac{1}{\pi r^2}$	Kalib ber w cm	$\frac{1}{\pi r^2}$	Kalib ber w cm	$\frac{1}{\pi r^2}$	Kalib ber w cm	$\frac{1}{\pi r^2}$
0,65	3,014	6	0,0354	10	0,0127	21	0,00289
0,8	1,989	7	0,0260	10,5	0,0116	24	0,00221
1,1	1,052	7,6	0,0220	12	0,0088	27	0,00175
3,7	0,092	8	0,0199	13	0,0075	30,5	0,00137
4,3	0,0689	8,7	0,0168	15	0,00566	34,3	0,00108
5,7	0,0392	9	0,0157	18	0,00392	36,0	0,00098

g) E. Ravelli¹⁾ oblicza drogę wnikania za pomocą ogólnie przyjętego wzoru balistyki zewnętrznej:

$$l = (0,8 - 1,2) \frac{C}{i} \alpha f(v_k)$$

gdzie l — droga wnikania w m ,

C — współczynnik balistyczny pocisku (patrz wzór Zabudskiego),

i — współczynnik kształtu pocisku = 1,

α — współczynnik oporu środowiska wnikania,

$f(v_k)$ — funkcja szybkości końcowej,

obliczona ze wzoru $f(v_k) = \log_{10} (1 + \beta v_k^2)$,

przy czym β jest stałą doświadczalną, zależną jedynie od rodzaju środowiska wnikania.

Powyższy wzór opiera się na dowolnym przyjęciu, że opór środowiska wnikania jest jak w powietrzu wprost proporcjonalny do przekroju poprzecznego pocisku i odwrotnie proporcjonalny do jego współczynnika kształtu. Pierwsze założenie wynika ze spójności molekularnej stałego ośrodka i tarcia powierzchni pocisku o po-

¹⁾ E. Ravelli. Costruzioni d'Artiglieria. 1932. Wyd. G. Mainardi.

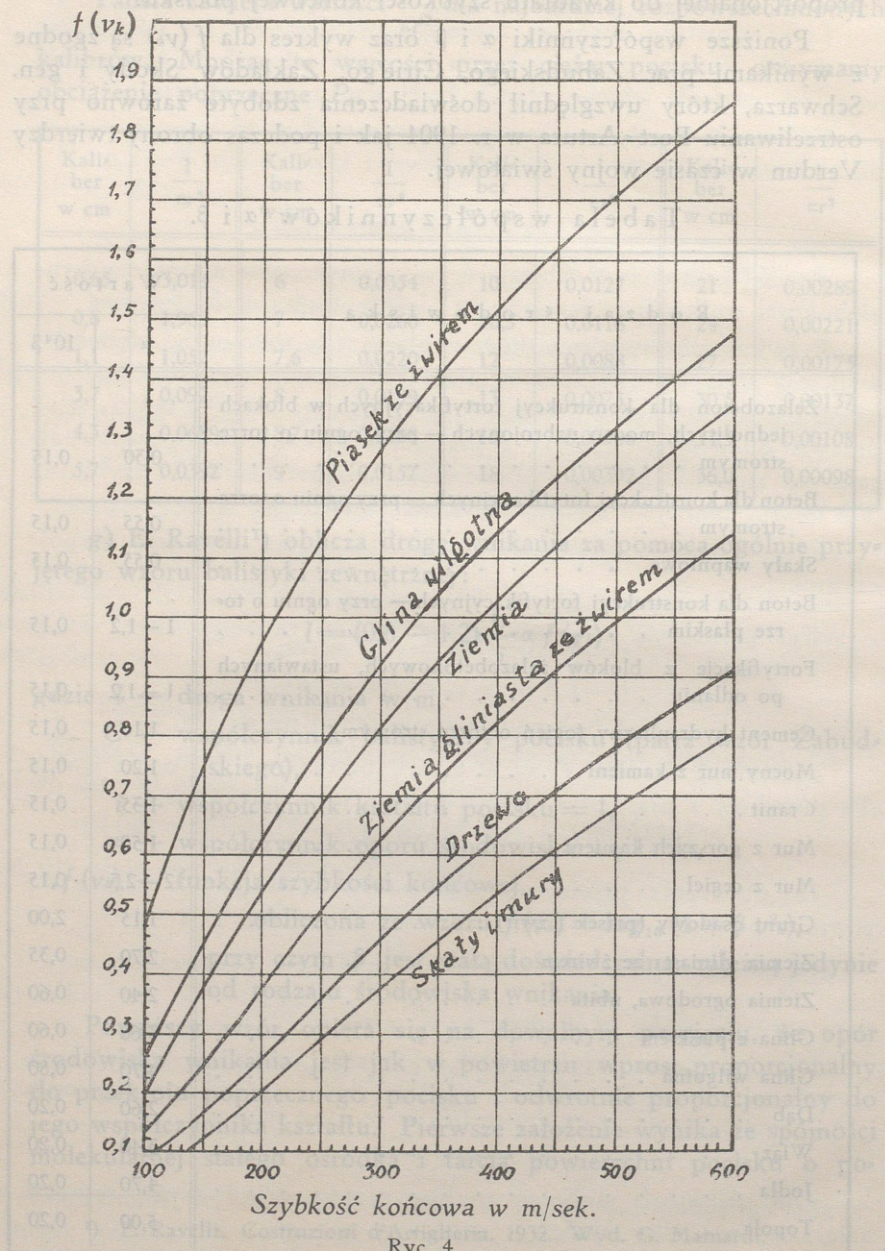
wierzchnię otworu i nie ma związku z szybkością, drugie zaś opiera się na sile żywej, jaką uzyskują cząsteczki środowiska wnikania proporcjonalnej do kwadratu szybkości końcowej pocisku.

Poniższe współczynniki α i β oraz wykres dla $f(v_k)$ są zgodne z wynikami prac Zabudskiego, Cirie'go, Zakładów Skody i gen. Schwarza, który uwzględnił doświadczenia zdobyte zarówno przy ostrzeliwaniu Port-Artura w r. 1904 jak i podczas obrony twierdzy Verdun w czasie wojny światowej.

Tabela współczynników α i β .

Rodzaj środowiska	Wartość	
	α	$10^4\beta$
Żelazobeton dla konstrukcyj fortifikacyjnych w blokach jednolitych, mocno uzbrojonych — przy ogniu o torze stromym	0,30	0,15
Beton dla konstrukcyj fortifikacyjnych — przy ogniu o torze stromym	0,55	0,15
Skały wapniowe	0,55	0,15
Beton dla konstrukcyj fortifikacyjnych — przy ogniu o torze płaskim	1 — 1,2	0,15
Fortyfikacje z bloków żelazobetonowych, ustawianych po odlaniu	1 — 1,2	0,15
Cement hydrauliczny (ogień o torze stromym)	1,10	0,15
Mocny mur z kamieni	1,20	0,15
Granit	1,35	0,15
Mur z gorszych kamieni	1,50	0,15
Mur z cegieł	2 — 2,5	0,15
Grunt osadowy (piasek i żwir)	1,15	2,00
Ziemia gliniasta ze żwirem	2,70	0,35
Ziemia ogrodowa, ubita	2,40	0,60
Gлина z piaskiem	3,60	0,60
Gлина wilgotna	4,70	0,80
Dąb	2,60	0,20
Wiąz	3,40	0,20
Jodła	4,70	0,20
Topola	5,00	0,20

Obliczanie $f(v_k)$ jest niewygodne, ponieważ wymaga logarytmowania. Dlatego najlepiej posługiwać się załączonym wykresem.



Wartości $f(v_k)$ określa się dla różnych szybkości za pomocą wzoru $l = \frac{P_s}{i} \alpha f(v_k)$. W tym celu należy przeprowadzić szereg prób dla określenia maksymalnych i minimalnych wartości $f(v_k)$ celem ustalenia wartości średniej dla danej szybkości, albowiem stwierdzono, że często otrzymuje się niejednakowe wnikanie mimo zastosowania do prób identycznych pocisków, wystrzelonych do tego samego środowiska.

Badając wyżej wymienione wzory, musimy stwierdzić, że przy jednakowych szybkościach końcowych pocisków drogi wnikania w tym samym środowisku są proporcjonalne do obciążenia przekroju poprzecznego:

$$\frac{l'}{l''} = \frac{P'_s}{P''_s}.$$

Jeżeli ciężar pocisku wyrazić przez δd^3 (gdzie δ jest ciężar właściwy) i obciążenie przekroju poprzecznego P_s przez $\frac{\delta d}{0,25\pi}$,

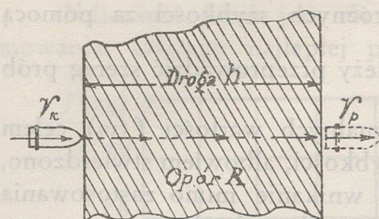
to z równania $l = \frac{P_s}{i} \alpha f(v_k)$ wynika stosunek dróg wnikania dwóch różnych pocisków o jednakowym współczynniku kształtu, zagłębiających się z jednakową szybkością w tym samym środowisku wnikania:

$$\frac{l'}{l''} = \frac{\delta' d'}{\delta'' d''}.$$

Ponieważ dla pocisków geometrycznie podobnych $\delta' = \delta''$ należy stwierdzić, że drogi wnikania pocisków podobnych geometrycznie przy jednakowych szybkościach końcowych i przy tym samym materiale przeszkody są proporcjonalne do kalibrów tychże pocisków.

3. Zdolność rozbijania (przełamania) przeszkody.

Jeżeli opór przeszkody na drodze przebicia ma wartość mniejszą w porównaniu z energią pocisku, to przy uderzeniu tegoż otrzymuje się otwór mający kształt stożka (ryc. 2), przy czym zjawisko forsowania przeszkody ma charakter bardziej brutalny, aniżeli zjawisko wnikania.



Ryc. 5.

Przyjmując R jako średni opór przeszkody, h zaś jako grubość zniszczonej warstwy materiału, otrzymamy równanie:

$$R \cdot h = \frac{G}{g} \cdot \frac{v_k^2 - v_p^2}{2}$$

skąd

$$h = \frac{G}{g} \cdot \frac{v_k^2 - v_p^2}{2 R}$$

Minimalna grubość przebicia w wypadku gdy szybkość pozostała w danej chwili równa się zeru,

$$h = \frac{G}{g} \cdot \frac{v_k^2}{2 R}$$

Kąt rozwarcia wybijanego stożka wynosi około 90° . Wobec tego powierzchnia wybitego otworu w ścianie przeciwległej uderzeniu równa się $\pi r^2 = \pi h^2$.

Jeżeli przyjmiemy B jako jednostkowe naprężenie niszczące dla danego materiału, to

$$R = \pi h^2 \cdot B$$

Według N. di Giorgi ciśnienie spowodowane przez pocisk tak długo działa na materiał przeszkody, dopóki nie nastąpi odprysnięcie tegoż po stronie przeciwnej uderzenia.

Podstawiając wartość R w powyższym równaniu otrzymamy:

$$h = \frac{G}{g} \cdot \frac{v_k^2}{2 \cdot \pi h^2 \cdot B}$$

czyli

$$h^3 = \frac{G}{g} \cdot \frac{v_k^2}{2 \pi B}$$

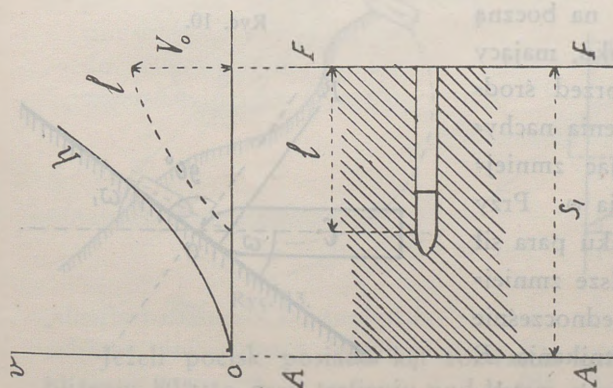
a po zebraniu stałych:

$$h_{(cm)}^3 = A \cdot G \cdot v_k^2$$

Jak widzimy, wzór ten nie uwzględnia kalibru pocisku, ponieważ w wypadku przebicia przeszkody bez uprzedniego wnikania wymagana praca może być wykonana przez pocisk bez względu na kaliber.

Przy jednakowych szybkościach końcowych zdolność przebicia przeszkody jest wprost proporcjonalna do ciężaru pocisku.

Współczynnik A należy określić sposobem doświadczalnym, przyjmując za jednostkę pocisk o najbardziej używanym kształcie.



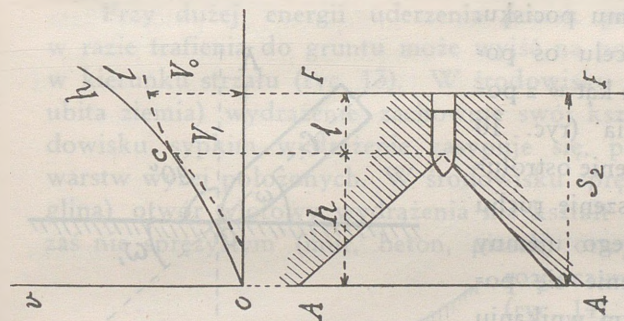
Ryc. 6.

Do ryc. 6. Grubość przebijanej warstwy S_1 . Szybkość jest niedostateczna do spowodowania przełamania, wobec czego otrzymuje się tylko wnikanie.

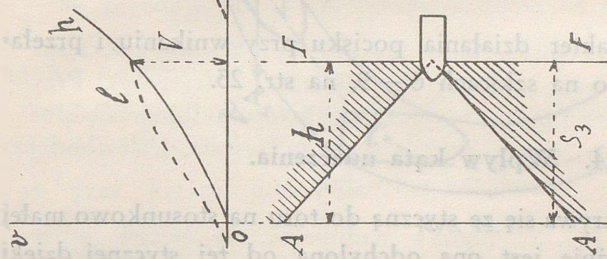
" " 7. Szybkość w punkcie C ma potrzebną do spowodowania przełamania wielkość. Pocisk wnika na drodze l i łamie przeszkodę na drodze h . $S_2 = l + h$ jest maksymalna możliwość przebicia.

" " 8. Przeszkoda o grubości $S_3 < S_2$. Do utworzenia przełamania potrzebna szybkość niższa niż do wnikania: pocisk wybija otwór bez uprzedniego wnikania.

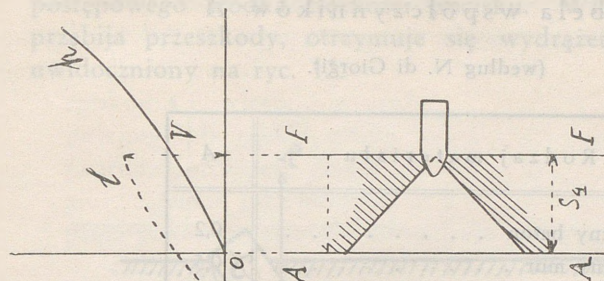
" " 9. Przeszkoda S_4 zostaje przebita przez pocisk o dużej sile.



Ryc. 7.



Ryc. 8.



Ryc. 9.

Tabela współczynników A

(według N. di Giorgi).

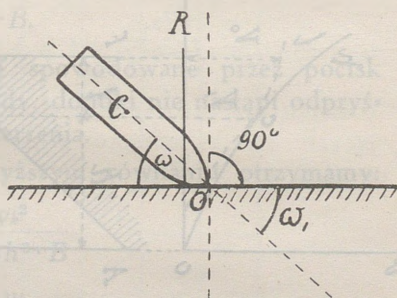
Rodzaj materiału	A
Mocny beton	0,2
Mocny mur	0,5

Odmienny charakter działania pocisku przy wnikaniu i przełamaniu przedstawiono na szkicach 6 — 9, na str. 23.

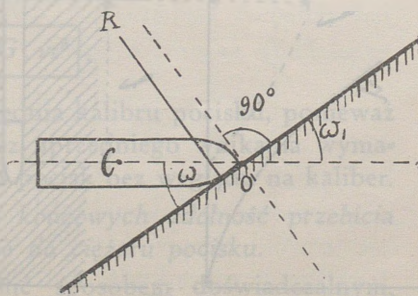
4. Wpływ kąta uderzenia.

Oś pocisku pokrywa się ze styczną do toru na stosunkowo małej jego części; przeważnie jest ona odchylona od tej stycznej dzięki ruchowi precesyjnemu pocisku.

Przy trafieniu do celu oś pocisku tworzy pewien kąt ω z powierzchnią uderzenia (ryc. 10 i 11). Boczne uderzenie ostrołuku powoduje zwiększenie ruchu precesyjnego, mającego ujemny wpływ na zagłębienie się pocisku. Przy dalszym wnikaniu opór przeszkody R na boczną powierzchnię ostrołuku, mający punkt zaczepienia przed środkiem ciężkości, zmienia nachylenie osi, powodując zmniejszenie kąta uderzenia ω . Przy dalszym ruchu pocisku para sił RR_1 powoduje dalsze zmniejszenie kąta ω . Jednocześnie opór środowiska wnikania R wpływa na opóźnienie ruchu

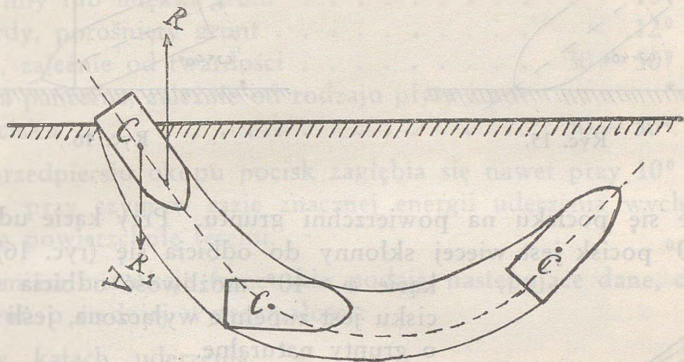


Ryc. 10.



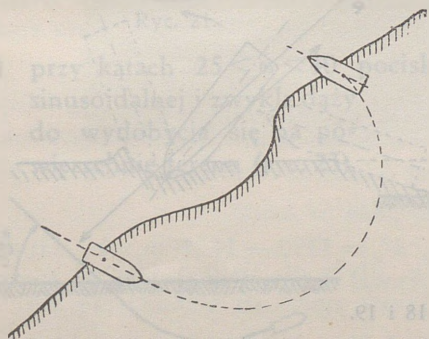
Ryc. 11.

postępowego środka ciężkości pocisku. Wkońcu jeśli pocisk nie przebija przeszkody, otrzymuje się wydrążenie, który ma kształt, uwidoczniony na ryc. 12.

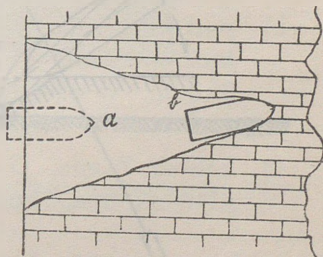


Ryc. 12.

Przy dużej energii uderzenia pocisk przebija przeszkodę lub w razie trafienia do gruntu może wyjść na powierzchnię, zwrócony w kierunku strzału (ryc. 13). W środowisku spoistym (beton, mur, ubita ziemia) wydrążenie zachowuje swój kształt, natomiast w środowisku sypkim wydrążenie zasypuje się, powodując zapadnięcie warstw wyżej położonych. W środowisku sprężystym (drzewo, zbita glina) otwór wlotowy wydrążenia ma kształt walca; w środowisku zaś nie sprężystym (mur, beton, piasek) otrzymuje się wydrążenie rozpoczynające się stożkiem b (ryc. 14).



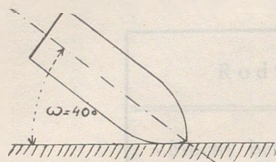
Ryc. 13.



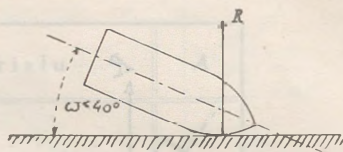
Ryc. 14.

Jeżeli pocisk posiada kąt rozwarcia ostrołuku równy w przybliżeniu 80° , to przy trafieniu pod kątem $\omega = 40^\circ$ (równym połowie

rozwarcia ostrołuku) uderza boki ostrołuku o powierzchnię trafienia (ryc. 15). Jest to największy kąt, przy którym jest możliwe

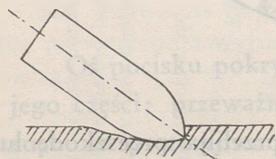


Ryc. 15.



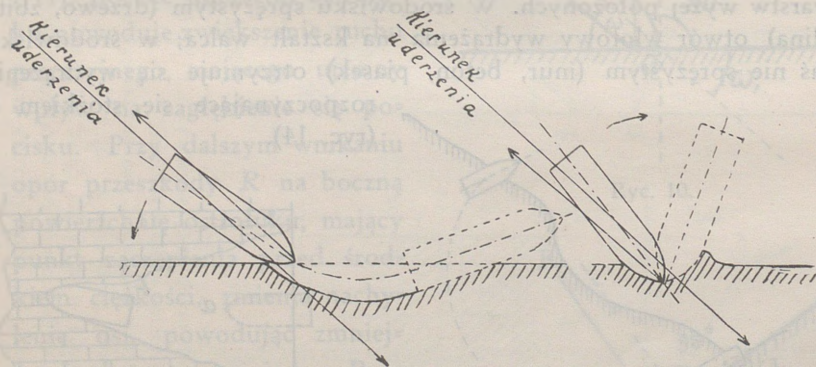
Ryc. 16.

odbicie się pocisku na powierzchni gruntu. Przy kącie uderzenia $\omega < 40^\circ$ pocisk jest więcej skłonny do odbicia się (ryc. 16). Przy kącie $\omega > 40^\circ$ możliwość odbicia się pocisku jest zupełnie wyłączona, jeśli chodzi o grunty naturalne.



Ryc. 17.

Należy nadmienić, że pocisk może wnikać bez odbicia się nawet przy kącie uderzenia ω mniejszym od połowy kąta rozwarcia ostrołuku, jeżeli grunt jest podatny (ryc. 17).



Ryc. 18 i 19.

Jeżeli oś pocisku jest znacznie odchylona od kierunku trafienia, to wskutek działania pary sił może nastąpić przewrócenie pocisku i koziołkowanie (ryc. 18 i 19).



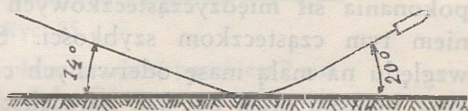
Według danych austriackich, opartych na doświadczeniach, można przyjąć następujące granice dla kątów uderzenia, powodujących odbicie pocisku:

spokojna powierzchnia wody	6 — 10°
pulchny lub miękki grunt	< 10°
twardy, porośnięty grunt	< 12°
mur, zależnie od twardości	30 — 50°
plyta pancerna, zależnie od rodzaju plyty i po-	
cisku	30 — 50°.

W przedpiersiu okopu pocisk zagłębia się nawet przy 10° kąta uderzenia, przy czym w razie znacznej energii uderzenia wychodzi zwykle na powierzchnię terenu.

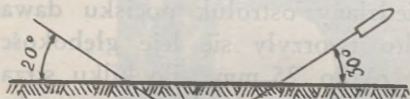
Natomiast instrukcje francuskie podają następujące dane, dotyczące terenu o średniej wytrzymałości:

- a) przy kątach uderzenia $0 < \omega < 15^\circ$ pocisk odbija się od powierzchni gruntu, tworząc płytką bruzdę (ryc. 20),

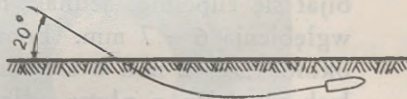


Ryc. 20.

- b) przy kątach $15 < \omega < 25$ pocisk odbija się po przebyciu pewnej drogi w ziemi lub pozostaje w zagłębieniu, w zależności od energii uderzenia i kształtu pocisku (ryc. 21 i 22),

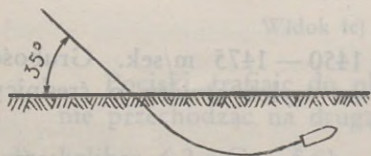


Ryc. 21.

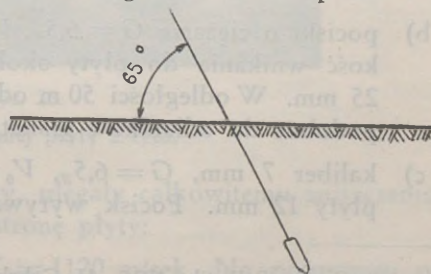


Ryc. 22.

- c) przy kątach $25 < \omega < 40$ pocisk biegnie w ziemi po drodze sinusoidalnej i zwykle dąży do wydobycia się na powierzchnię terenu (ryc. 23),



Ryc. 23.



Ryc. 24.

- d) przy kącie $\omega > 40$ pocisk zagłębia się zwykle w kierunku trafienia (ryc. 24).

5. Wpływ szybkości pocisku na działanie uderzeniowe ¹⁾.

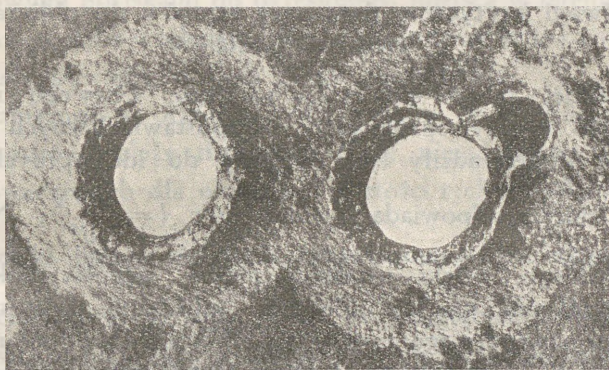
Według Cranza działanie uderzeniowe pocisku jest tym większe, im większa jest jego szybkość, a im mniejsze — tarcie wewnętrzne uderzonego ciała. Pocisk, oddając część swej energii cząsteczkom uderzonego ciała, nadaje im dużą energię kinetyczną. Cząsteczki te stają się w ten sposób nowymi drobnymi pociskami, przekazując tę energię cząsteczkom sąsiednim, tamte — następnym itd., dopóki szybkość poruszonych na końcu cząsteczek nie stanie się równą zeru. W wyniku działania pocisku o dużej szybkości otrzymuje się w celu zniszczenia znacznie przewyższające działanie tegoż pocisku przy szybkościach normalnych: 850 — 870 m/sek. Badania Gehrlicha wykazały, że przy takim przebijaniu rozstrzygającym czynnikiem jest nie energia, lecz szybkość pocisku. W myśl wyrażonej na wstępie teorii działanie pocisku będzie najbardziej skuteczne, gdy praca pokonania sił międzycząsteczkowych łączy się jednocześnie z nadaniem tym cząsteczkom szybkości. Szybkość ta musi być duża ze względu na małą masę oderwanych cząsteczek. Wobec tego i szybkość pocisku musi być jak największa.

Pociski Gehrlicha dały następujące wyniki przy strzelaniu do płyty kontaktowej aparatu Boulangé, w której pocisk karabinowy przeciwpancerny robi wgłębienie do 2 — 3 mm:

- a) ciężar 7 mm pocisku $G = 6,4_g$, $V_0 = 1200$ m/sek. Pocisk rozbił się zupełnie, jednak miedziany ostrołuk pocisku dawał wgłębienia 6 — 7 mm. Ponadto tworzyły się leje głębokości około 1,5 — 2 mm o średnicy około 25 mm. Po kilku strzałach wypadły z płyty odłamki wielkości laskowego orzecha, wkrótce zaś po daniu nieznacznej ilości strzałów płyta została całkowicie zniszczona;
- b) pociski o ciężarze $G = 6,5_g$, $V_0 = 1450 — 1475$ m/sek. Głębokość wnikania do płyty około 15 mm. Średnica lejów około 25 mm. W odległości 50 m od tarczy znaleziono odłamki płyty podobne do odłamków granatu;
- c) kaliber 7 mm, $G = 6,5_g$, $V_0 = 1450 — 1475$ m/sek. Grubość płyty 12 mm. Pocisk wyrwał na wylot otwory o średnicy

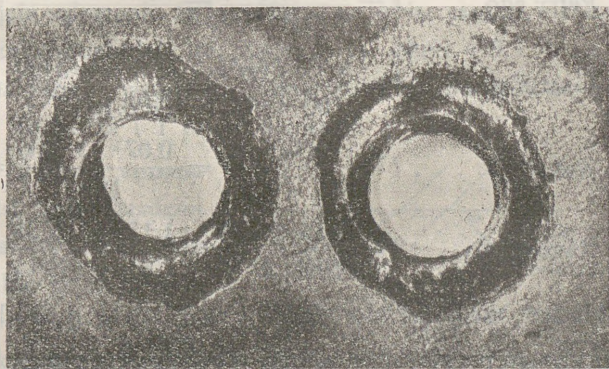
¹⁾ Cranz. Ballistik. 1925 H. Gehrlich. American Rifleman Nr 9 z 1930 r. Kugel und Schrott Nr 8/30, Nr 8/31 i Nr 12/31, Heerestechnik Nr 9/29. Wehr und Waffen. Nr 4/31. Ppłk. dr Felsztyn. Wiad. Tech. i Art. Nr 13/32. Liedentopf, Kug. u. Sch. Nr 7/31.

około 15 mm. Materiał płyty dookoła otworu został mocno uszkodzony i na stronie wlotowej (ryc. 25) silniej niż na stronie wylotowej (ryc. 26).



Ryc. 25.

Widok z przodu 12 mm płyty, przebitej pociskiem 7 mm Halgera o V_0 około 1400 m/sec. Górne prawe wgłębienie pochodzi od 7,9 mm pocisku przeciwpancerneho.



Ryc. 26.

Widok tej samej płyty z tyłu.

Pociski, trafiając do płyty, ulegały całkowitemu zniszczeniu, nie przechodząc na drugą stronę płyty;

- d) kaliber 6,2; $G = 5,61_g$, $V_0 = 1120$ m/sec. Na polowaniu na 19 kozłów trafionych żaden nie uszedł. Otwory wylotowe ran miały średnicę 25 — 35 mm. Przy trafieniu w kość stwierdzono jej zdruzgotanie.

Powyższe doświadczenia wskazują, że energia uderzenia, potrzebna do przebicia pancerza, przy dużych szybkościach maleje wraz ze wzrostem szybkości.

6. Uwagi krytyczne, dotyczące wzorów do obliczania drogi wnikania.

Najbardziej znane wzory Zabudskiego, Pétry'ego i Nobile di Giorgi'ego zostały opracowane na podstawie licznych doświadczeń, które doprowadziły tych badaczy do identycznych prawie wyników, którym odpowiada również wzór $l = \frac{\alpha G v}{d^2}$. Natomiast

wzór Ravelli'ego, dzięki ustaleniu innych współczynników środowiska wnikania, podaje wielkości odmienne, jak się łatwo przekonać z następującego zestawienia obliczeń dla pocisku 155 mm, $v_k = 300$ m/sek. i środowiska średniej wytrzymałości (gruntu piaszczystego):

$$1) \text{ według Zabudskiego. } l = \frac{\alpha G f(v_k^2)}{1000 d^2} = \frac{2,58 \cdot 43 \cdot 0,74}{1000 \cdot 0,155^2} = 3,5 \text{ m,}$$

$$2) \text{ według Pétry'ego. } \dots l = \frac{\alpha \cdot G \cdot f(v_k^2)}{d^2} = \frac{2,94 \cdot 43 \cdot 7,4}{15,5^2} = 3,9 \text{ m,}$$

$$3) \text{ według Giorgi'ego. } \dots l = \frac{\alpha \cdot G \cdot f(v_k^2)}{100 \pi r^2 \cdot i} = \frac{0,6 \cdot 43 \cdot 2390}{100 \cdot 188,7 \cdot 1} = 3,6 \text{ m,}$$

$$4) \text{ według wzoru } \dots l = \frac{\alpha G v_k}{d^2} = \frac{0,07 \cdot 43 \cdot 300}{15,5^2} = 3,7 \text{ m,}$$

$$5) \text{ według Ravelli'ego. } \dots l = \frac{\alpha \cdot G \cdot f(v_k^2)}{1000 d^2 \cdot i} = \frac{1,15 \cdot 43 \cdot 1,28}{1000 \cdot 0,155^2 \cdot 1} = 2,63 \text{ m.}$$

Wyniki obliczeń mają się do siebie jak 1:1,11:1,03:1,06:0,75.

Porównyując przytoczone wzory, możemy stwierdzić, że są one bardzo zbliżone. Obciążenie przekroju poprzecznego w trzecim

wzorze $\frac{G}{\pi r^2}$ w przybliżeniu równa się $\frac{G}{d^2}$, stosowanemu w innych

wzorach. Większość autorów przyjmuje, że współczynnik „i” dla pocisków wydłużonych jest równy 1 i dlatego niektórzy pomijają go zupełnie w swoich wzorach. Jeżeli wyłączymy wzór Ravelli'ego, powstały przeważnie w drodze rozważań teoretycznych, to zauważymy, że mała stosunkowo rozbieżność innych wzorów polega przeważnie na stosowaniu niejednakowych współczynników α .

Współczynniki α nawet przy wspólnej zasadzie obliczeń nigdy nie wypadają jednakowo. Zależy to przede wszystkim od niejednakowych wartości oporu środowiska wnikania nawet przy strzelaniu jednakowymi pociskami do określonego miejsca w terenie. Poza tym położenie pocisku względem płaszczyzny uderzenia za każdym strzałem jest inne z powodu istnienia ruchu precesyjnego.

Rozbieżność w ocenie współczynników oporu środowiska u różnych autorów należy tłumaczyć także niejednakową ilością prób, przeprowadzonych dla określenia wartości tych współczynników.

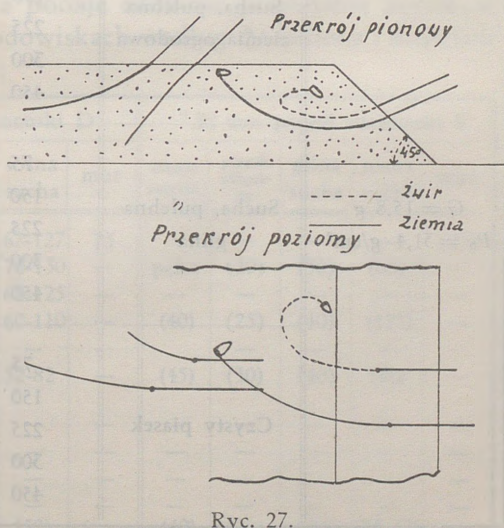
7. Wyniki badań działania uderzeniowego pocisków w terenie.

Pociski, obracając się w prawo, przy zagłębieniu również zbaczają na prawo, oprócz tego po zagłębieniu się mogą wychodzić w górę.

15-cm granat austriacki ($v_k = 155$ m) wykazywał przy zagłębieniu 2,5 m zboczenie 20 cm w prawo, przy trafieniu zaś pod kątem 85° w przedni stok nasypu i wniknięciu na 3,3 m wyszedł do góry na 1,4 m od powierzchni. 10 cm granaty austriackie ($v_k = 248$ m) przy kącie uderzenia 58° , trafiając na ubitą ziemię, wnikały na 4,5 m, przy czym odchylały się na 1 m ku górze i 0,5 m na prawo; trafiając na świeżo nasypaną ziemię wnikały na 5,25 m, przy odchyleniu 1,5 ku górze i 1 m na prawo.

W żwirze zmiana kierunku jest bardziej wyraźna. 10 cm granaty austriackie przy wnikaniu 2,5 — 3 m zmieniały kierunek na 90° , a nawet ponad 180° , przy jednoczesnym odchyleniu ku górze. 8 cm granaty austriackie wykazywały mniejsze odchylenia.

W drzewie się tych odchyśleń nie obserwuje.



Ryc. 27.

Lotki szrapnelowe.

Wnikanie w ziemi ($\alpha = 1$).

V_k m/sek.	Lotka 13 gramowa $P_s = 0,0097 \text{ kg/cm}^2$		Lotka 9 gramowa $P_s = 0,0086 \text{ kg/cm}^2$	
	średnie	największe	średnie	największe
	cm	cm	cm	cm
150	6	8	5	6,5
200	12	16	11	14
300	18	23	16	21
400	21	27	19	25

Stosunkowo małe wgłębienie tłumaczy się niedostatecznym obciążeniem przekroju poprzecznego lotek, które wynosi w przybliżeniu 1/3 obciążenia pocisków karabinowych z owalnym ostrołukiem.

Pociski karabinowe.

8 mm pocisk z owalnym ostrołukiem wz. 88 osiąga następujące drogi wnikania.

Pocisk	Materiał przeszkody	Odległość w metrach	v_k m/sek.	l średnie w centymetrach
$G = 15,8 \text{ g}$ $P_s = 31,4 \text{ g/cm}^2$	Sucha, pulchna ziemia ogrodowa	75	540	53 (60)
		150	485	60 (42)
		225	443	51 (40)
		300	412	46 (37)
		450	371	30 (30)
	Sucha, pulchna glinka	75	540	42
		150	485	51
		225	443	49 (45)
		300	412	39
		450	371	32
	Czysty piasek	75	540	44
		150	485	51
		225	443	49
		300	412	39
		450	371	32

Pociski typu „S”.

Kształt pocisku jest dogodny, lecz stabilizacja pocisku i obciążenie przekroju poprzecznego pozostawiają dużo do życzenia. Pocisk „S” o ciężarze 10 g posiada $P_s = 20 \text{ g/cm}^2$, francuski pocisk „D” o ciężarze 12,8 g posiada $P_s = 25 \text{ g/cm}^2$.

Największe zagłębienie w piasku i ziemi dla pocisku „S” wynosi około 90 cm.

Wernike, badając działanie pocisków „S” w suchym piasku (o ciężarze 1 litra = 1,56 kg), otrzymał następujące wyniki:

V m/sek.	l cm	S p o s t r z e ż e n i a
98	19,5	
330	24,7	
473	28,6	
518	29,6	
539	30,2	
559	30,8	początkowe zniekształcenie pocisku
569	31,4	początkowe zniekształcenie pocisku
640	33,0	początkowe zniekształcenie pocisku
685	27,3	pociski zniekształcone
710	22,4	pociski zniekształcone
735	19,7	pęknięty płaszcz
762	18,2	pęknięty płaszcz
788	17,0	pęknięty płaszcz
815	15,8	pocisk rozbił się na kilka części
870	13,8	pocisk rozbił się w drobne kawałki

Umieszczona niżej tabela podaje zdolność przebijania pocisków karabinowych w różnych środowiskach według Ardaillona i doświadczeń w Chalon (w nawiasie).

Odległość w metrach	8 mm pocisk francuski D					7,92 mm pocisk niemiecki S				
	ziemia zwykła	piasek wilgot- ny	głina sucha	sosna sucha	mur	ziemia zwykła	piasek wilgot- ny	głina sucha	sosna sucha	mur
14	52-97	—	—	67-127	25	—	—	—	—	(25)
50	51-96	—	—	70-130	—	pęka	(20)	(30)	(65)	—
100	54-90	—	—	68-125	—	—	—	—	—	—
200	54-83	—	—	60-110	—	(40)	(25)	(40)	(125)	—
300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
400	63-80 (40)	—	—	52-82	—	(45)	(30)	(40)	(90)	—
500	41-51	—	—	—	—	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
700	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(40)			(50)		(40)	(20)	(30)	(35-45)	

Z tabeli wynika, że pocisk niemiecki ma największą zdolność przebijania nie przy wylocie z lufy, lecz na odległości 200 — 300 m. Tłumaczy się to tym, że wytrzymałość przeszkody zwiększa się w pewnym stosunku do szybkości uderzenia.

Pociski o dużej szybkości uderzenia, ze względu na większy opór przeszkody, ulegają zniekształceniu zanim cząsteczki tej ostatniej zostaną poruszone. Dotyczy to, jak widzimy z tabeli, tylko pocisków o rdzeniu ołowianym w płaszczu melchiorowym lub żelaznym, aczkolwiek podobne zjawisko obserwuje się i przy pociskach jednolitych, jak o tym świadczy następująca tabela dla francuskich pocisków karabinowych:

Głębokość wnikania w cm				
Odległość w m	Piasek	Ziemia ogrodowa	Świerk	Dąb
10	11	25	90	20
40	18	39	82	19
100	32	62	70	18
200	45	75	60	18
300	46	77	56	17
400	44	73	53	16
500	40	67	50	15
600	38	63	49	15

Największą zdolność wnikania obserwuje się przy odległości 300 m w odniesieniu do piasku i ziemi lekkiej.

Wymagana grubość osłon przed ogniem karabinowym według danych francuskich.

Płyta stalowa	1 — 2 cm
Płyta żelazna	2 — 4 cm
Beton	25 cm
Mur	30 — 50 cm
Żwir	30 — 40 cm
Piasek suchy	40 — 75 cm
Drzewo twarde	80 cm
Drzewo miękkie	100 — 115 cm

Ziemia	60 — 100 cm
Darnina	200 cm
Śnieg ubity	250 cm
Słoma	500 cm.

Pociski artyleryjskie.

Nobile di Giorgi podaje następujące drogi wnikania:

P O C I S K	Odległość w metrach	v_k w m/sek.	l w metrach
8 cm granat austriacki	2000	290	2.7
10 cm granat austriacki	2000	250	2.9
10 cm granat austriacki	3000	230	2.7
15 cm granat austriacki (ciężar 39 kg) . .	2000	240	3.6
24 cm granat austriacki (moździerzowy) .	4500	250	5.0

Czas spalania się opóźniacza musi być tak obliczony, ażeby wybuch granatu nastąpił na głębokości równej promieniowi działania wybuchowego.

Wychodząc ku górze granat będzie dawał leje min przeładowanych.

Odłamki przy normalnym zagłębieniu pocisku zostają odrzucone kilka metrów od brzegów leja.

Przy niszczeniu umocnień pożądane działanie większych ładunków, gdyż przy mniejszych leje po wybuchu pocisku zostają częściowo zasypane przez wybuchy następne.

Przebijanie pokrycia ziemnego.

W umocnieniach polowych konstrukcje z belek drewnianych lub słupów pokrywa się warstwą ziemi. Przebicie tej warstwy jest możliwe wtedy, gdy głębokość wnikania równa się grubości wyżej wymienionej warstwy. Pewne przebicie schronu następuje w tym wypadku, gdy linia najmniejszego oporu od środka wybuchu do wewnętrznej ściany przykrycia jest mniejsza od promienia obruszenia.

Poniższa tabelka podaje grubości przebijanego pokrycia ziemnego, obliczone na podstawie wzoru:

$$l_x = \sin \omega + \rho$$

gdzie ω — kąt uderzenia, ρ — promień obruszenia, spowodowanego przez ładunek wybuchowy, l — droga wnikania.

P O C I S K	G	$\mathcal{L}^1)$	V_k	l	ρ	Grubość przykrycia przy kącie uderzenia	
						$\omega = 45^\circ$	$\omega = 60^\circ$
	kg	kg	m/sek	w metrach		w metrach	
10 cm granat austriacki .	15	2	200	2.27	1.1	2.7	3.1
15 cm granat austriacki .	40	8	200	2.97	1.7	3.8	4.2
12 cm granat austriacki .	120	20	200	4.54	2.4	5.6	6.4

Doświadczenia Rheinischen Metallwaren- und Maschinenfabrik w Düsseldorfie z granatami 10.5 — 21 cm dały wyniki następujące.

Do próby użyto 10.5 cm granatów odłamkowych haubicy połowej z zapalnikiem z opóźnieniem ($G = 14.4$ kg i kąt uderzenia około 17°). Schron 6×10 m, przykrycie 30 cm okrągłaków, 80 cm ziemi.

Każdy strzał powodował przebicie pokrycia i rozrzućenie okrągłaków. Jeden granat, który zdetonował w schronie, miał działanie następujące: przykrycie było wysoko podniesione i rzucone z powrotem, 3 okrągłaki przebite, 70 figur, ustawionych w schronie, było uszkodzonych i przebitych przez odłamki.

Na ogół przykrycie z belek 20×20 cm i 1 m ziemi ponad nimi są przebijane granatami 10.5 cm.

Podczas doświadczeń zaobserwowano strzał, przy którym 15 cm granat burzący o $V_k = 155$ m/sek., przy kącie uderzenia 40° , przebił przykrycie, składające się z dwóch warstw belek 25×25 cm i 1.35 m ziemi.

Granat 21 cm ($G = 86.5$ kg, V_k około 190 m/sek.) przebił przykrycie, składające się z dwóch warstw szyn kolejowych i 1.5 m ziemi.

Krupp, badając działanie uderzeniowe pocisków, otrzymał wyniki następujące:

1) schron, ostrzeliwany z odległości 3600 m. Jeden 10.5 cm granat burzący z zapalnikiem bez opóźnienia przebił warstwę ziemi 1 m grubości, cztery belki kryjące i dwie nośne, 30 cm grubości każda ($G = 16$ kg, $V_k = 250$, $\mathcal{L} = 3$ kg).

¹⁾ $\mathcal{L}$ — ładunek materiału wybuchowego.

2) Schron, ostrzeliwany z odległości 2500 m. Granat 12 cm z zapalnikiem bez opóźnienia przebił warstwę ziemi 30 cm grubości, dwie warstwy belek drewnianych i jedną warstwę szyn kolejowych ($G = 21$ kg, $V_k = 187$, $L = 2.1$ kg). Patrz ryc. 28.



Ryc. 28.

3) Schron, ostrzeliwany z odległości 2000 m. Przykrycie: warstwa belek drewnianych 30×30 cm, warstwa szyn kolejowych, warstwa bali 8 cm i warstwa ziemi grubości 0.6 m. Schron zniszczono za pomocą trzech 15 cm granatów burzących bez opóźnienia i dwóch granatów z opóźnieniem ($G = 41$ kg, $V_k = 164$, $L = 8.2$ kg).

Według przepisów austriackich grubość przykrycia umocnień polowych powinna być wynosić:

przeciwko strzałom haubicy polowej:

0.2 m drzewa i 2 m ziemi bądź 0.2 m drzewa, 0.5 — 0.8 m kamienia i 0.5 — 1.5 m ziemi lub warstwa szyn kolejowych i 1.5 m ziemi;

przeciwko strzałom haubicy ciężkiej:

0.3 m drzewa, 0.5 m ziemi, 0.5 — 1 m kamienia, 0.5 — 1 m ziemi lub 0.5 m drzewa, dwie warstwy szyn kolejowych, 1.5 m ziemi albo też warstwy szyn kolejowych, blachy falistej i 0.8 — 1.2 m betonu.

Wartość przykrycia ziemnego 1.5 m grubości uważa się = 0.8 m drzewa twardego = 0.7 m muru = 0.5 m żwiru lub kamienia = 0.3 m betonu = 1 warstwa szyn kolejowych.

Co do lotek i odłamków, to za pewne należy uważać przykrycie, składające się z warstwy 5 cm desek z drzewa twardego lub 5 — 10 cm okrągłaków i 10 cm warstwy ziemi. Odłamki granatów łatwo przebijają warstwę z desek i 5 cm ziemi. Przykrycie z desek lub okrągłaków i 20 — 30 cm ziemi zatrzymuje wszystkie odłamki granatów odłamkowych.

Poniżej umieszczona tabelka zawiera dane, otrzymane według Ardaillona w wyniku doświadczeń w terenie o średniej spoistości (martwica wapienna, przykryta warstwą gliny 60 cm grubości):

K A L I B E R	V_k m/sek.	Kąt uderzenia w stopniach	Zagłębienie m	Droga wnikania m
75 mm	220	25	1.0	1.5
155 mm	260	30	1.6	2.5
220 mm	225	42	2.0	4.0
280 mm	350	38	3.4	4.5
280 mm	350	65	4.5	3.8
370 mm	250	35	3.0	6.5
370 mm	280	50	5.0	5.0
370 mm	290	64	6.5	2.5

Wnikanie na dużą głębokość można osiągnąć jedynie przy użyciu pocisków większych kalibrów i przy dużych kątach uderzenia.

Do zagłębienia pocisku na 2 m w terenie o średniej spoistości należy użyć co najmniej pocisku 155 mm przy kącie uderzenia 45°.

Pociski 155 mm w tym samym terenie, padając pod kątem 20°, rzadko zagłębiają się ponad 1 — 1.5 m.

8. Wyniki badań działania uderzeniowego pocisków na mur i beton.

Pociski karabinowe.

8 mm pocisk austriacki z owalnym ostrołukiem przy szybkości $v_k = 600$ m/sek. przy prostopadłym trafieniu daje w murze z cegły wgłębienie 14 cm, przy $v_k = 480$ m/sek. — 12 cm.

Pociski 6.5 mm są znacznie słabsze.

8 mm pociski austriackie do kb. wz. 88, $G = 15.89$ g; $v_k = 485$ m/sek, przy oddaniu 8 — 12 salw po 40 sztuk tworzyły wyłom 30 cm w murze z cegły, zaś w murze z kamienia — wykruszenia o głębokości 3 — 4 cm.

8 mm pocisk francuski do kb. wz. 86, $v_k = 570 - 600$ m/sek, $G = 15$ g. Mur ceglany 22 cm grubości, na zaprawie cementowej, był przebijany przez cztery trafne strzały do koła o średnicy 5 cm lub przez ośm strzałów do koła o średnicy 8 cm.

Ściana betonowa 8 cm grubości, okryta od przodu płytą żelazną 2 cm grubości, od tyłu zaś płytą 3 cm grubości (płyty połączone za pomocą prętów) była przebijana przy $v_k = 580$ m/sek, o ile cztery pociski trafiły prawie w to samo miejsce. Płyta przednia zapobiega odpryskiwaniu betonu. Mur z cegły 14 cm, a betonowy o 10 cm grubości, okryty z obu stron blachą żelazną 2 mm grubości, nie jest przebijany z odległości 50 m.

Pocisk angielski do kb. wz. 89, $G = 13.9$ g przechodzi łatwo przez spojenie 9.5 mm szerokości w mocnym murze ceglanym 23 cm grubości z odległości 100 jardów, przy $v_k = 520$ m, nawet jeżeli mur jest przykryty 7 deskami jodłowymi 1.9 cm grubości.

Z odległości 400 m poszczególne pociski przebijały mur przykryty dwiema deskami. Żadnego przebicia nie otrzymano w murze o zaprawie cementowej lub przy odpowiednim ułożeniu cegieł.

Pocisk włoski dokb. wz. 91, $G = 10.5$ g, $v_k = 516$ m/sek. Jedna salwa z 10 strzałów przebiła mur 14 cm grubości. W murze 28 cm za pomocą 10 salw = 100 strzałów osiągnięto otwór 0.5 m średnicy. W murze 42 cm grubości 18 salw = 180 strzałów dało lej 22 cm głębokości. W murze 56 cm grubości 18 salw = 180 strzałów dało lej 16 cm głębokości.

Pocisk rumuński do kb. wz. 93, $G = 10$ g, $v_k = 600$ m/sek. Dwa strzały w to samo miejsce przebiły 15 cm mur ceglany. Przy $v_k = 630$ m/sek trzy strzały w to samo miejsce wykruszyły w murze kamiennym wgłębienie 6 cm głębokości.

Pociski niemieckie 7.92 mm S. $G = 10$ g, $v_{25} = 860$ m/sek. Jeden strzał przebija mur 25 cm. Z odległości 500 m przy $v_k = 538$ m/sek przebija 9 — 12 cm cegły.

Pociski artyleryjskie.

Mur pionowy.

5.7 cm granaty żeliwne austriackie, $G = 2.72$ kg, $v_k = 280$ m/sek przebijały mocny mur ceglany 25 cm grubości i wybuchały po

wylocie z muru; przebiły również mur 50 cm, przy czym w czasie wnikania następowały wybuchy.

7.6 cm granat odłamkowy austriacki, $G = 6.5$ kg, $v_k = 407$ m/sek, przebił mur 1.5 m grubości i wybuchł przy wyjściu z muru.

9 cm granat żeliwny austriacki, $G = 6.36$ kg, $v_k = 347$ m/sek, przebił 0.91 m muru na zaprawie cementowej i nie wybuchł podczas przebijania, zarówno z ostrym jak i ślepym zapalnikiem.

Za pomocą 12 granatów osiągnięto wyrwę 0.7 m^3 .

9 cm granaty stalowe austriackie, $G = 6.8$ kg, $v_k = 421$ m/sek, donośność 750 m, osiągały w granicie lej 26 cm głębokości i 40 cm średnicy.

10 cm granaty odłamkowe austriackie, $G = 14.4$ kg, $v_k = 252$ m/sek, zagłębiały się w murze i wybuchły przed wylotem, dając wyłom 1.2×1.2 m.

12 cm granaty żeliwne austriackie, $G = 16.7$ kg, $v_k = 396$ m/sek. Mur pionowy z granitu na zaprawie wapiennej 2.4 m grubości. Przy gęstości padania 40 szt/m² osiągnięto za pomocą 14 strzałów wyżłobienie 1.42 m głębokości.

12 cm granaty żeliwne austriackie (Hartgussgranaten) z ostrą głowicą, $G = 20.6$ kg, $v_k = 382$ m/sek. W murze (jak wyżej) za pomocą 8 strzałów osiągnięto wyżłobienie 1.3 m głębokości.

15 cm granaty żeliwne austriackie, $G = 27.5$ kg, $v_k = 281$ m/sek. W murze (jak wyżej) osiągnięto za pomocą 8 strzałów wyżłobienie 1.3 m głębokości.

15 cm granaty żeliwne austriackie, $G = 27.5$ kg, $v_k = 281$ m/sek. W murze (jak wyżej) osiągnięto za pomocą 12 strzałów wyżłobienie 1.7 m głębokości.

Gęstość trafienia 30 szt/m².

149 mm granaty żeliwne włoskie, $G = 30.4$ kg, $v_k = 300$ m/sek. Sześć strzałów tworzy wyłom o średnicy zewnętrznej 1.2 m w murze 3 m grubości. Przednia ściana kazamaty o grubości jak wyżej była zniszczona za pomocą 28 strzałów.

155 mm granaty wydłużone francuskie, $G = 43$ kg ($L = 10.2$ kg melinitu). Jeden strzał może zrobić wyłom w murze skarpowym szerokości 3 m, zaś granaty 220 mm ($G = 118$ kg, $L = 36$ kg) szerokość 15 m. Przy prostym uderzeniu 155 mm granatu można spowodować obruszenie 6 m² muru skarpowego.

15 cm granaty żeliwne austriackie, $G = 27.7$ kg, $v_k = 317$ m/sek., $X = 850$ m. Stary mur ceglany. Wysokość 8.3 m, grubość podstawy

donośność 3.7 m, wierzchołka 1.7 m. Za pomocą 600 strzałów osiągnięto wyłom 30 m szerokości, możliwy do przejścia.

152 mm granaty włoskie, $G = 45,5$ kg, dają następujące zagłębienia w dobrym murze ceglanym:

Donośność $x = 1000$ m	$v_k = 620$	$l = 188$ cm
2000	548	173
3000	484	159
4000	428	145
6000	274	121

Działanie na sklepienia bez przykrycia.

21 cm granat burzący $G = 154$ kg ($L = 24$ kg melinitu), $v = 180$ m/sek, kąt uderzenia $\omega = 61^\circ$, kąt sklepienia 120° , wysokość sklepienia 2 m, grubość muru 2 m (0,95 m z kamienia na zaprawie cementowej, 1,05 m z betonu). Oddano siedem strzałów, z których trzy wybuchły ponad sklepieniem. Utworzyły one lej 0.24 m głęboki, 1.45 m średnicy. W końcu jeden granat, wybuchając w tym samym leju, zwiększył jego wymiary: głębokość do 0.35 m, średnicę do 3.0 m.

32 mm granat wydłużony francuski nie przebija więcej nad 1,2 m betonu.

270 mm granat francuski, $G = 170$ kg, ($L = 41$ kg melinitu), $v_k = 290$ m, $\omega = 60^\circ$, sklepienie żelbetowe 1.6 m grubości. Dwa granaty padły obok. Warstwa betonu została zniszczona i przebita, jednak belki żelazne pozostały nieuszkodzone.

Działanie na sklepienia, przykryte ziemią.

21 cm granat, $G = 86.5$ kg, v_k około 180 m/sek, przebił sklepienie ceglane o wymiarach następujących:

0,8 m grubości, 6 m rozpiętości łuku, 2 m przykrycia ziemnego, oraz 0,6 m „ 2.5 „ „ 2,5 „ „

155 mm granaty francuskie przebijały przy odpowiednim kącie padania mur 0,8 m z nasypem ziemi 3 m, zaś 220 mm granaty wydłużone — mur 0.5 m z nasypem ziemi 4 m.

Granaty o ciężarze 140 kg i $v_k = 180$ m/sek, — według Wieliczki — mogą przebić sklepienie ceglane, przykryte warstwą ziemi o grubości mniejszej niż 6 m, za jednym strzałem.

Trafienia skośne.

Mur z granitu. Kąt uderzenia 40° .

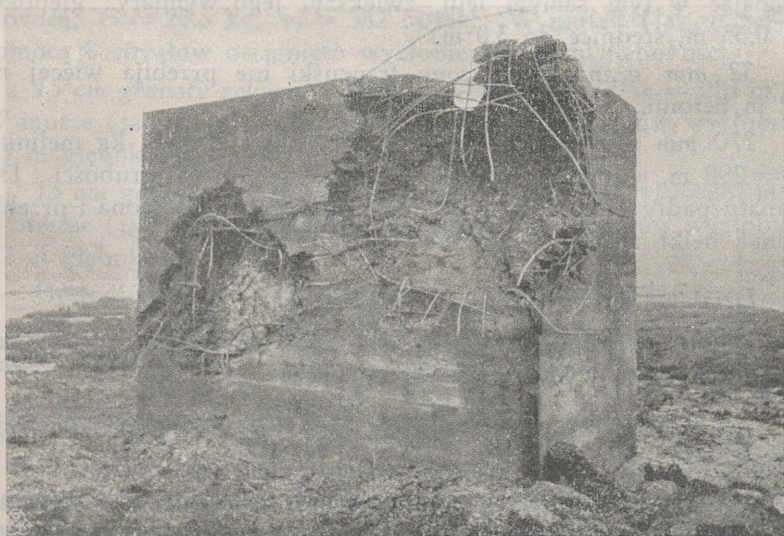
Bryły granitu 0.9×0.6 m tworzyły mur 0,6 m grubości na prawie cementowej i podłożu betonowym. Do prób użyto 15 cm granatów stalowych z ostrą głowicą, $G = 38.7$ kg, $v_k = 317$ m/sek, Bryły za pierwszym strzałem otrzymały drobne rysy przez całą grubość muru, za drugim i trzecim strzałem w to samo miejsce zostały rozbite. Głębokość wydrążenia po pierwszym strzale wynosiła około 10 cm, kąt uderzenia 30° .

Ten sam cel i pocisk, $v_k = 345$ m/sek. Głębokość wydrążenia za pierwszym strzałem 7,5 cm, za drugim i trzecim w to samo miejsce — 13.5 cm.

Blok betonowy 3×3 m, grubości 1 m. Kąt uderzenia $= 40^\circ$.

Do prób użyto jeden granat żeliwny 15 cm, potem cztery stalowe, wyżej wymienione. Otrzymano wyłobienie 0,46 m głębokości, 0,22 m długości, 0,6 m szerokości u góry i 2 m przy ziemi.

Przy innej próbie do bloku żelbetowego o grubości 2 m wystrzelono dwa 15 cm granaty stalowe ($G = 41$ kg, $L = 4$ kg, $V_0 = 262$ m/sek. $= V_{2000}$ przy większym ładunku prochowym).



Ryc. 29.

Wyrwę z prawej strony (ryc. 29) spowodował pocisk z zapalnikiem dennym bez zwłoki, wyrwę z lewej strony — pocisk z zapalnikiem głowicowym również bez zwłoki.

Skutki działania pocisków na beton według doświadczeń francuskich w Verdun¹⁾.

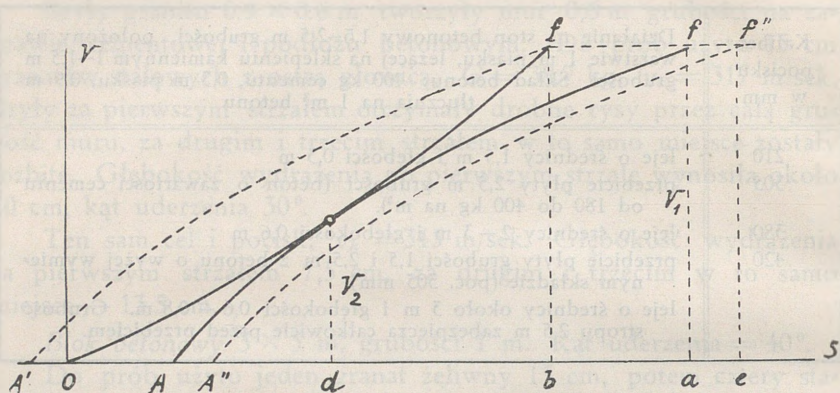
Kaliber pocisku w mm	Działanie na stop betonowy 1,5–2,5 m grubości, położony na warstwie 1 m piasku, leżącej na sklepieniu kamiennym 1–1,5 m grubości. Skład betonu: 400 kg cementu, 0,3 m piasku, 0,9 m tłucznia na 1 m ³ betonu
210	leje o średnicy 1,5 m i głębokości 0,3 m
305	przebite płyty 2,5 m grubości (beton o zawartości cementu od 180 do 400 kg na m ³).
380	leje o średnicy 2–3 m i głębokości 0,6 m
420	przebite płyty grubości 1,5 i 2,5 m z betonu o wyżej wymienym składzie (poc. 305 mm). leje o średnicy około 3 m i głębokości 0,6–0,8 m. Grubość stropu 2,5 m zabezpiecza całkowicie przed przebicciem.

Skutki działania pocisków na żelazobeton (80 kg żelaza na 1 m³).

Pocisk			Działanie na płyty stropowe o grubości w metrach				
d mm	G kg	L kg	1,25	1,50	1,60	1,65	1,75
210	120	18,3	rysy i leje nieznacznej głębokości				
305	380	37	leje o $\varnothing$ 0,5 m $l=0,3-0,4$ m wygięcia i odpryski od spodu				
380	750	67	przebita	prawie że przebita	leje o $\varnothing$ 1,8 m $l=0,6-0,8$ wygięcia i odpryski od spodu		
420	931	105	przebita przez uderze- nie	p r z e b i t e		prawie że prze- bita	nieprzebita, wytrzymałość graniczna, leje o $\varnothing$ 0,7 m, $l=0,6-0,7$ m. Poniżej leja komora, w której beton jest sproszkowany, a żelazo zniszczone w promieniu 0,75–0,9 m. Nieznaczne wygięcia ostatnich warstw

¹⁾ Patrz Revue de Génie, r. 1929 i 30, Gen. Birchler oraz Przegl. W. i Techn. z r. 1933, kpt. Kleczke.

Dla celów praktycznych zamiast obliczeń można posługiwać się wykresem, wykonanym podług następującego schematu (ryc. 30).



Ryc. 30.

Z wykresu można znaleźć zdolność przebicia przy danej szybkości lub szybkość konieczną do osiągnięcia danego przebicia.

Na przykład, jeżeli grubość przeszkody wynosi Oa , to potrzebna szybkość równa się v_1 . Pocisk na drodze $a d$ będzie wykonywał wnikanie, na drodze zaś $d O$ — rozbijanie (wyłamanie). Wyłamanie to można osiągnąć także przy szybkości v_2 i grubości $d O$. Droga dokonanego wnikania i przebicia, przy szybkości v_1 jest większa od osiągalnej głębokości wnikania $a A$ oraz większa od osiągalnej głębokości przebicia, mierzonej odcinkiem $b O$.

Jeżeli grubość muru wynosi $O e$, to płaszczyzna trafienia przesunie się z fa do $f''e$, krzywa zaś Af do $A''f''$. Pocisk wtedy zagłębi się na długość $e A''$, lecz muru nie przebije.

Jeżeli zaś grubość muru wynosi $O b$, to przebicie przedstawi się w postaci wylomu.

Przytoczona niżej tabela podaje wielkości przebicia w odniesieniu do pocisków austriackich, obliczone przez N. di Giorgiego dla betonu i muru.

Przy obliczeniach ciężar pocisku G przyjęto za równy wielkości δd^3 .

Wartość δ wynosi 0,0123 dla pocisków nowoczesnych do dział o krótkiej lufie i 0,015 do dział o długiej lufie.

Zdolność przebijania w cm.

Materiał przeszkody	Szybkość przy uderzeniu	$\delta = 0.0123$				$\delta = 0.0148$	
		kaliber w cm					
		7,2	10,5	15	24	7,6	10,5
		ciężar pocisku					
		4,6	14,3	41,6	170	6,5	17,1
Beton ($\alpha = 0,4$ $A = 0,2$)	400	56	81	116	186	67	92
	350	50	72	103	165	59	82
	300	44	63	91	146	52	73
	250	38	56	79	128	44	62
	230	36	53	75	121	—	—
	200 ¹⁾	33	48	68	111	38	51
	180 ¹⁾	—	—	—	—	35	49
	150	27	40	57	91	33	43
	100	21	30	43	69	24	33
	60	15	22	31	50	17	23
Cegła ($\alpha = 1$ $A = 0,5$)	400	110	159	228	364	135	186
	350	94	136	195	312	116	160
	300	80	116	166	265	97	134
	250	64	94	135	216	79	106
	200	51	76	108	173	62	86
	150	40	57	82	131	46	63
	100	28	41	59	94	32	44
	90 ¹⁾	26	38	55	88	—	—
	75 ¹⁾	—	—	—	—	26	36
	60	20	29	42	67	22	30

Ponieważ zdolność wnikania jest proporcjonalna do kalibru, więc dla pocisków innych kalibrów przy szybkościach wymienionych w tabeli można ją określić ze wzoru:

$$l' = \frac{d'}{d} \cdot l$$

¹⁾ Przy tych szybkościach lub mniejszych otrzymuje się tylko wyłom.

Dalsze uproszczenia obliczeń można przeprowadzić na podstawie następujących rozważań.

Mocny mur z cegły oraz beton.

Wartości podane w tabeli przy $\delta = 0,0123$ i z uwzględnieniem tylko wnikania, są większe od tych, które otrzymuje się za pomocą wzoru na rozbijanie muru, na przykład:

przy $v_k = 400$ m/sek. o 5,5%,

„ 350 „ „ 3%.

Granica działania łamiącego znajduje się przy $v_k = 230$ m/sek lub wyżej, jeżeli współczynnik ciężaru δ jest mniejszy niż 0.0123.

Na przykład dla $\delta = 0,0096$ przy $v_k = 290$ i 400 m/sek. wyżej wymieniona różnica w obliczeniach wynosi tylko 0,12%.

Jeżeli jednak $\delta = 0,015$, to wymieniona różnica przy $v_k = 300$ m/sek. stanowi 5%, zaś przy $v_k = 400$ m/sek. — 13%.

Im mniejsze jest obciążenie przekroju poprzecznego pocisku, tym większa jest możliwość rozbicia muru i mniejsza zdolność wnikania.

Wobec powyższego należy używać wzoru na rozbijanie przy mocnym murze i małym obciążeniu pocisku, jeżeli szybkość końcowa wynosi mniej niż 400 m/sek., oraz przy pociskach o dużym obciążeniu przekroju poprzecznego, jeżeli ta szybkość wynosi mniej niż 300 m/sek.

Słaby mur. W słabym materiale granica działania łamiącego leży głęboko, przeto przeważa działanie przebijające w postaci głębszego wnikania.

Obliczanie tego działania przy pomocy wzoru na rozbijanie możliwe jest jedynie przy dużych szybkościach. Albowiem przy zastosowaniu wzoru na wnikanie pocisku otrzymuje się wynik mniejszy od rzeczywistego:

przy $\delta = 0,0123$ i $v_k = 400$ m/sek. o 14%

„ 350 „ „ 16%

„ 300 „ „ 20%

$\delta = 0,0148$ i $v_k = 400$ „ „ 11%

„ 350 „ „ 12,5%

„ 300 „ „ 15,5%

Wobec tego wzorem na wnikanie można się posługiwać bez większych błędów tylko przy szybkościach większych ponad 400 m i przy znacznym obciążeniu przekroju poprzecznego pocisków.

Wystarczy w tym celu zastosować tabelę, a dla innych kalibrów równanie, przytoczone na str. 8, w innych zaś wypadkach wykres przedstawiony na ryc. 30.

Rozbicie muru przy ostrzeliwaniu schronów i budynków zawsze powoduje większe skutki niż wnikanie. Pociski w tym wypadku, wybuchając przy skruszeniu muru, wyrzucają odłamki muru i skośrupy wewnątrz pomieszczenia. Pomieszczenia zamknięte ulegają przy tym zupełnemu zniszczeniu.

Jeżeli pojedynczy pocisk jest za słaby do przebicia pewnej grubości materiału, to całkowite przebicie da się osiągnąć za pomocą większej ilości pocisków, zgrupowanych w tym samym miejscu.

Przy pewnym doświadczeniu za pomocą 200 trafień z angielskiego kb. wz. 89 z odległości 183 m ($v_k = 450$ m/sek.) otrzymano otwór 61×38 cm w murze z cegły 23 cm grubości. Jednak w murze 35,6 cm grubości otrzymano za pomocą 1028 strzałów mniejszy otwór.

Ciężar zużytych w tym wypadku pocisków wynosił okrągło 15 kg, natomiast granat o ciężarze 2,7 kg przy $v_k = 280$ z łatwością przebija mur 50 cm grubości.

Do muru z kamienia 2,5 m grubości strzelano 15 cm granatami ($G = 27,5$ kg; $v_k = 272$ m). Przy gęstości trafienia 30 szt/m², głębokość leja osiągniętego po 11 strzałach wynosiła 1,72 m. Ciężar zużytej amunicji 302,5 kg.

W tym wypadku okazało się o wiele praktyczniejsze zastosowanie cięższego pocisku, gdyż za pomocą jednego granatu 21 cm o ciężarze 120 kg przy $v_k = 390$ m uzyskano przebicie muru.

Jak widzimy, przy obalaniu muru najlepsze wyniki osiąga się przez zastosowanie pocisków większych kalibrów o dużej szybkości końcowej. Poza tym jednoczesne trafienie w mur kilku pocisków daje lepszy wynik niż kolejne trafienia.

Często pocisk nie jest w możności przebić przeszkody, powodując jedynie rysy lub pęknięcia. Dla poszczególnych wypadków współczynnik oporu A można obliczyć za pomocą równania: $h^3 = AGv^2$ (patrz str. 22).

Przy murze z cegły otrzymuje się rysy, jeśli $A = 3$, przy murze z kamienia — jeżeli $A = 0,4 - 0,5$ i drobne pęknięcia przy $A = 1,5$. Beton daje rysy, jeżeli A jest mniejsze od 0,5. Z tegoż wzoru można znaleźć współczynniki bezpieczeństwa. Ażeby przebić warstwę betonu 1,2 — 1,35 m grubości należy na powierzchni 0,8 — 1,6 m² mieć 6 — 8 trafnych strzałów ciężkich pocisków burzących. Według Wieliczki dla rosyjskiego moździerza 21 cm ($G = 139$ kg, $X = 3000$ m, $\omega = 60^\circ$, $v_k = 147$ m/sek.), A wynosi 0,57 — 0,82.

Uwzględniając ten współczynnik, grubość warstwy betonu, która byłaby przebita tą samą ilością pocisków, tak samo rozmieszczonych, przy tym samym kącie padania, jednak przy $v_k = 250$ m, powinna wynosić 155 — 175 cm.

Wymagane grubości schronów przed ogniem artylerii (według danych francuskich):

Kaliber	Sklepienie betonowe	Płyta żelbetowa	Schrony ziemne		
			ze sklepieniem murowanym	pokryte warstwą piasku lub szutru	ze sklepieniem żelbetowym
75 mm	1 m	0,6 m	1 m	1 m	0,3 m
105—120 „	1,3 „	0,8 „	1 „	1 „	0,6 „
155 mm	1,5 „	1 „	1 „	1 „	0,6 „
210 „	1,5 „	1 „	1 „	1 „	0,75 „
380 „	2 „	1,5 „	1 „	1 „	1 „
420 „	2 „	1,75 „	1 „	1 „	1,5 „

9. Wyniki badań działania uderzeniowego pocisków w drzewie.

Drzewo miękkie.

Średnia głębokość wnikania lotek z twardego ołowiu w cm:

v_k	Ciężar lotek w gramach			
	9	10	13	16
160	3,0	3,1	3,4	3,7
200	3,9	4,0	4,4	4,7
240	5,1	5,3	5,8	6,2
280	6,8	7,0	7,7	8,2
320	8,7	9,0	9,8	10,5
360	11,0	11,3	12,4	13,3
400	13,4	13,8	15,1	16,2

Małą głębokość wnikania otrzymuje się zazwyczaj wskutek zbyt małego obciążenia przekroju poprzecznego lotki.

Największa głębokość wnikania jest 1,4 razy większa od głębokości średniej.

Pociski karabinowe.

Średnie głębokości wnikania (w cm) 6,5 — 8 mm pocisków z płaszczem stalowym i owalnym ostrołukiem np. austriackich wz. 88 przy $P_s = 30 \text{ g/cm}^2$ wynoszą:

V_k	drzewo		V_k	drzewo		V_k	drzewo	
	miękkie	twarde		miękkie	twarde		miękkie	twarde
160	11,7	6,3	340	37,8	23,4	520	83,7	55,5
180	13,2	7,5	360	42,3	26,4	540	90,0	58,5
200	15,0	9,0	380	46,8	29,7	560	96,6	61,5
220	17,1	10,5	400	51,6	33,3	580	103	64,0
240	19,8	12,3	420	56,4	37,2	600	109	67
260	22,8	14,1	440	61,5	41,1	620	116	69
280	26,1	16,2	460	66,6	45,0	640	122	71
300	29,7	18,3	480	72,0	48,6	660	128	72
320	3,36	20,7	500	77,8	52,2	680	134	74
						700	140	75

Dla miękkiego drzewa stosunek — minimum: średnia: maximum = 0,76: 1: 1,44.

Pociski karabinowe typu D lub S.

Wernike podaje w „Zeitschrift für das gesammte Schiess- und Sprengstoffwesen” (r. 1910) następujące wyniki badań 7,92 mm pocisków niemieckich „S”:

głębokość wnikania w cm

V_k	sosna	b u k	V_k	sosna	b u k
98	11,5	4,0	579	79,2	41,6
170	13,1	5,7	685	102,7	—
240	16,8	7,9	710	—	65,0
289	21,8	10,2	736	—	70,7
330	27,4	12,7	762	120	76,7
392	38,0	—	788	—	40,7
448	50,0	—	815	131,8	34,7
473	55,6	26,5	870	144	29,7

Przy wnikaniu do sosny pocisk nie ulegał żadnym zmianom. Przy wnikaniu do drzewa twardego już przy $V_k = 720$ zaczyna się

wyciskanie łożowiu z płaszcza, przy zwiększeniu szybkości następuje coraz większe zniekształcenie pocisku; przy $V_k = 788$ m płaszcze miały szerokie pęknięcia.

Poniższa tabelka podaje dane, dotyczące wnikania 7,92 mm pocisków niemieckich w drzewo miękkie (M) i twarde (T) w cm. $P_s = 20,4$ g/cm².

V_k	M	T	V_k	M	T	V_k	M	T	V_k	M	T
100	11,5	4,0	300	23	11	500	62	30	700	107	62
120	11,8	4,4	320	25	12	520	67	33	720	111	67
140	12,2	4,8	340	28	13	540	72	35	740	115	71
160	12,5	5,2	360	32	15	560	77	38	760	120	76,6
180	13,2	5,7	380	36	17	580	82	41	780	124	49
200	14,0	6,4	400	40	18	600	86	44	800	129	38
220	11,5	7,1	420	44	20	620	90	47	820	133	33
240	16,8	7,9	440	48	23	640	94	51	840	137	31
260	18,7	8,8	460	53	25	660	98	54	860	142	30
280	20,6	9,7	480	57	27	680	102	58	870	144	29,7

Porównyując głębokości wnikania, osiągnięte przez pociski „S” z głębokościami wnikania pocisków karabinowych z owalnym ostro-
łukiem musimy przyjść do wniosku, że są one mniejsze od tych ostatnich. Pociski „S” mają lepszy kształt ($i = 0,88$), jednak wadą ich jest mniejsze obciążenie przekroju poprzecznego.

Pociski artyleryjskie.

9 cm granat austriacki wz. 75 ($G = 6,36$ kg, $P_s = 0,11$ kg/cm², $v_k = 347$ m/sec). Odległość = 750 m.

Płot drewniany 30 cm grubości został przeбит granatem zarówno ostrym jak i ślepym. Granaty ostre wybuchały po przebicciu płotu.

Ściana z belek dębowych 22/22 i 22/24, grubość 1,32 m. Głę-
bokość wnikania granatów ostrych i ślepych wynosiła przeciętnie 1,6 m. W miejscu trafienia powstawały szczeliny; otwór wlotowy, pozostawiony przez granat ślepy był prawie całkowicie zamknięty, utworzony zaś przezeń kanał był wypełniony miazgą drzewną. Gra-
naty ostre powodowały w miejscu wybuchu znaczne rozbicie mate-
riału. Część odłamków zostawała w kanale. Odwrotna strona ściany pozostawała nieuszkodzona.

15 cm granat włoski do armat $A - 99$ ($G = 45$ kg).

Głębokość wnikania w ścianę z belek dębowych:

$x = 1000$ m	$v_h = 620$ m/sek.	$h = 2,86$ m
2000 „	548 „	2,62 „
3000 „	484 „	2,40 „
4000 „	428 „	2,19 „
5000 „	337 „	2,00 „
6000 „	274 „	1,83 „

Lotki szrapnelowe i odłamki granatów.

Lotki i odłamki 10-gramowe nie przebijają desek sosnowych 5 cm grubości. W wojsku niemieckim i austriackim były przyjęte przykrycia drewniane grubości 16 cm, w celu ochrony przed działaniem lotek i odłamków granatów dział polowych.

12% odłamków 15 cm granatu rozpryskowego przebija 10 i 15 cm przykrycia drewniane, zaś 81% przykrycia 5 cm. Do obrony przed ogniem szrapnelowym może wystarczyć zwyczajna furtka lub skrzydło bramy 5 cm grubości.

10. Wnikanie bomb lotniczych.

Wnikanie bomb lotniczych podlega tym samym prawom, które określają działanie uderzeniowe pocisków artyleryjskich. Zależy ono również od:

- 1) stosunku ciężaru bomby do największej średnicy, czyli od obciążenia przekroju poprzecznego,
- 2) od szybkości końcowej,
- 3) od kąta uderzenia i
- 4) od oporu środowiska.

Obciążenie poprzeczne bomb do 100 kg włącznie jest prawie jednakowe np.:

12 kg bomba P. u. W.	posiada	0,19 kg/cm ²
50 „ „ „	„	0,195 „
100 „ „ „	„	0,205 „

Szybkość końcowa w chwili uderzenia jest zależna od wysokości rzutu. Zwiększa się ona do pewnej wysokości, np. dla bomb P. u. W do $h \sim 4000$ m. Dalsze zwiększenie wysokości nie powo-

duże zwiększenia szybkości wskutek równoważenia ciężaru bomby przez opór powietrza. Dlatego największa osiągalna szybkość końcowa dla bomb P. u. W.

$$V_k = g \cdot R \cdot t \text{ lub } V_k = g \cdot R \sqrt{\frac{2h}{g \cdot R}}$$

gdzie g — przyśpieszenie 9,81 m/sek.²

R — współczynnik oporu powietrza = 0,7717 przy największych wysokościach bombardowania,

$$t \text{ — czas lotu bomby w sek.} = \sqrt{\frac{2h}{0,7717 \cdot g}}$$

Wobec tego przy wysokości bombardowania = 4000 m:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 4000}{0,7717 \cdot 9,81}} = \sqrt{\frac{8000}{7,57}} = 32,5 \text{ sek.,}$$

$$V_k = 9,81 \cdot 0,7717 \cdot 42,5 = 246 \text{ m sek.}$$

Znaczenie kąta uderzenia oraz wytrzymałości terenu wyjaśniono wyżej przy obliczaniu wnikania pocisków artyleryjskich.

Obliczając zagłębienie bomb różnych kalibrów w terenie lekkim według wzoru

$$l = \frac{\alpha \cdot G \cdot v_k}{d^2},$$

otrzymamy wyniki następujące:

12 kg bomba lotnicza P. u. W. o średnicy 9 cm przy prostopadłym trafieniu daje zagłębienie

$$l = \frac{11 \cdot 12 \cdot 246}{9^2} = 401 \text{ cm.}$$

50 kg bomba P. u. W. o średnicy 18 cm zagłębí się na

$$l = \frac{11 \cdot 50 \cdot 246}{18^2} = 417 \text{ cm.}$$

Przy 100 kg bombie P. u. W. o średnicy 25 cm

$$l = \frac{11 \cdot 100 \cdot 246}{25^2} = 440 \text{ cm.}$$

Z powyższego wynika, że bomby mające jednakowe obciążenie przekroju poprzecznego wnikają na jednakową głębokość.

Chcąc zwiększyć zdolność przebijania, musimy zwiększyć obciążenie poprzeczne bomby. Jest to jedyna możliwość, ponieważ zwiększanie szybkości końcowej, jak wyżej wspomnieliśmy, ma swoje granice.

Bomby 300 i 1000-kilogramowe P. u. W mają większe obciążenie poprzeczne niż bomby wymienione wyżej. Dlatego też dają większe zagłębienia.

Bomba 300 kg o średnicy 36 cm

$$l = \frac{11 \cdot 300 \cdot 246}{36^2} = 642 \text{ cm.}$$

Bomba 1000 kg o średnicy 55 cm

$$l = \frac{11 \cdot 1000 \cdot 246}{55^2} = 910 \text{ cm.}$$

W poniższej tabeli znajdują się dane dotyczące głębokości wnikania obliczone sposobem Nobile di Giorgiego. Zestawienie obliczeń dla bomb i pocisków artyleryjskich świadczy o wybitnym znaczeniu obciążenia poprzecznego.

Lp.	Kaliber bomb i pocisków	Ciężar w kg	Średnica w cm	Szybkość końcowa m/sek.	Energia uderzenia tm	Obciążenie przekroju poprzecznego kg/cm ²	Głębokość wnikania w lekką ziemię przy prostopadłym trafieniu w m.
1	12 kg b. l.	12	9	250	38	0,19	4,0
2	50 „ „	50	18	250	160	0,195	4,2
3	100 „ „	100	25	250	320	0,205	4,4
4	300 „ „	300	36	250	970	0,295	9,3
5	1000 „ „	1000	55	250	3200	0,42	9,0
6	10,5 cm gran.	15	10,5	350	94	0,175	4,5
7	15 „ „	42	15	350	262	0,24	6,2
8	21 „ „	120	21	350	750	0,35	9,1
9	42 „ „	900	42	350	5600	0,65	17

11. Przebijanie pancerzy.

a. Własności płyt pancernych.

Płyta pancerna powinna mieć jak największą wytrzymałość i jak największe wydłużenie. Własności tych nie da się osiągnąć w tym samym materiale. Kompromisowe rozwiązanie tego zagadnienia znaj-

dujemy w pancerzach, w których warstwy zewnętrzne, o większej zawartości C, przeciwdziałają wnikaniu pocisku, warstwy zaś wewnętrzne, o małej zawartości C, utrudniają rozbitcie pancerza.

Stal przy zawartości C około 0,14% posiada wytrzymałość na rozerwanie $R_r = 40 - 45 \text{ kg/mm}^2$ przy wydłużeniu $A_{10} = 20 - 25\%$.

Płyt z podobnej stali używano w zeszłym stuleciu.

Przy zawartości C od 0,3 do 0,5% posiada stal następujące własności: $R_r = 52 - 72 \text{ kg/mm}^2$, $A_{10} = 18 - 16\%$.

Przez obróbkę termiczną można podnieść własności mechaniczne stali, otrzymując $R_r = 60 - 80 \text{ kg}$, $A_{10} = 16 - 14\%$.

Płyty stalowe hartowane dają duży opór, lecz są skłonne do pękania.

Celem uniknięcia tej wady stosowano płyty złożone (compound) wyrabiane sposobem Cammela (zalewanie płyty stalowej o zawartości $C = 0,4 - 0,7\%$ stalą zlewną) lub sposobem Browna (wlewanie stali zlewnej pomiędzy dwie płyty stalowe o mniejszej i większej wytrzymałości na rozerwanie). Następnie płyty podlegały walcowaniu.

Płyty złożone posiadały wytrzymałość o 25% większą od płyt wyżej wymienionych.

Stal niklowa. Zastosowanie stali niklowej pozwoliło osiągnąć dużą wytrzymałość przy małej zawartości węgla i duże wydłużenie.

Np.:

stal węglista $C = 0,22\%$	posiada $R_r = 48 \text{ kg/mm}^2$, $A = 23\%$,
„ niklowa $C = 0,22\%$, $Ni = 4,7\%$	„ $R_r = 64$ „ $A = 23\%$,
„ „ $C = 0,60\%$, $Ni = 3\%$	„ $R_r = 81$ „ $A = 10\%$.

Przez walcowanie i wyżarzanie można podnieść własności stali niklowej; np. stal niklowa o zawartości $C = 0,35\%$, $Ni = 3\%$ posiada

$R_r = 55 \text{ kg}$, $A = 2,5\%$ w bloku,

$R_r = 80$ „ $A = 20\%$ po walcowaniu,

$R_r = 76$ „ $A = 19\%$ „ i wyżarzeniu.

Płyty ze stali niklowej (4% Ni) mają wytrzymałość na przebicie o 25% większą niż płyty złożone.

Płyty pancerne nawęglane (cementowane).

Stal w styczności z substancjami zawierającym C przy wysokiej temperaturze ulega nawęglaniu, które polega częściowo na łączeniu się węgla z żelazem, częściowo zaś na przejściu węgla do roztworu żelaza. Nawęglanie idzie od powierzchni w głąb materiału. Po dłuż-

szej obróbce (około 2 tygodni) otrzymuje się płytę, która ma od strony nawęglania warstwę od 50 — 70 mm grubości o zawartości węgla od 1% do 0,35% w zależności od głębokości.

Nawęglanie po raz pierwszy zastosował Harvey ok. 1890 r. w Ameryce. Sposób ten został ulepszony przez Kruppa.

Według Harveya nawęglanie odbywało się za pomocą węgla, zaś według Kruppa — za pomocą gazu świetlnego.

Płyty ze stali Harveya zawierały $C = 0,20\%$, $Mn = 0,60\%$, $Ni = 3,25 - 3,50\%$. Wytrzymałość tych płyt była o 15 — 20% większa niż płyt ze stali niklowej.

Płyty nawęglane Kruppa (KC) składają się z dwóch warstw, z których jedna jest czynna (twarda, nawęglana), druga zaś bierna (miękką). Pomiędzy tymi warstwami znajduje się warstwa pośrednia. Płyty po nawęglaniu są hartowane. Twardość strony czynnej $\sim 600 H_B$ ($3000/10/30 \text{ kg mm}^2$). Twardość strony biernej 200 — 400 w zależności od grubości płyty.

Warstwa czynna

(30—40% grub.) zawiera $C=0,80-1,0$, $Ni=3,0$, $Mn=0,29$, $Cr=1,6\%$.

Warstwa bierna

(70—60% „ „ $C=0,30$, $Ni=3,5$, $Mn=0,30$, $Cr=1,9\%$.

Pierwsza posiada na zewnętrznej powierzchni $R_r = 140 - 200 \text{ kg mm}^2$.

Druga zaś $R_r \sim 70 \text{ kg/mm}^2$ i $A_5 = 22\%$.

Nowoczesne płyty KC zawierają: $C = 0,35$, $Ni = 3,9$, $Cr = 2$, $Mn = 0,35$, $Si = 0,07$, $P = 0,025$, $S = 0,02$.

Po stopieniu w piecu i odlaniu form materiał idzie do kucia i wyważenia. Potem odbywa się nawęglanie, ponowna obróbka termiczna, obróbka mechaniczna, ogrzewanie twardej powierzchni, hartowanie za pomocą natrysku wody i ostateczna obróbka mechaniczna.

W Rosji używano płyt o następującym składzie stali: $C=0,60-0,75\%$; $Cr = 1,8 - 2,0\%$; $Ni - 2,6 - 2,8\%$; $Mn = 0,45 - 0,50\%$; $Si = 0,15 - 0,20\%$; S i $P \leq 0,04\%$. Wytrzymałość tych płyt nie była niższa od cementowanych płyt Kruppa.

Płyty Kruppa KNC .

Istnieją jeszcze płyty Kruppa KNC (niecementowane). Nie posiadają one powierzchni nawęglonej, zawierają natomiast większy % C i Cr w porównaniu do płyt KC . Skład chemiczny płyt KNC jest następujący: $C = 0,5$, $Ni = 3,5$, $Cr = 2,3 - 2,5\%$. Płyty KNC mają jednakową wytrzymałość na przebijanie z płytami KC .

Własności wytrzymałościowe stali węglistych i stopowych w/g P. Goerensa (Stahl und Eisen, nr 44/24, str. 1645).

Skład chemiczny %						Moduł norm. spręży- stości E kg/mm ²	Wyżarzona				Uszlachet- niona				Hartowana			
C	Si	Mn	Ni	Cr	W		Gran. płynności Qr kg/mm ²	Rr kg/mm ²	A %	U kgm/cm ²	Qr	Rr	A	U	Qr	Rr	A	U
0,05	—	—	—	—	—	20.700	20	31	42	30	—	—	—	—	—	—	—	—
0,10	—	—	—	—	—		26	39	34	20	—	—	—	—	35	55	24	20
0,20	—	—	—	—	—		28	45	30	16	—	—	—	—	40	60	20	16
0,30	—	—	—	—	—		30	50	26	11	32	56	26	14	—	—	—	—
0,40	—	—	—	—	—		32	56	23	8	36	64	23	11	—	—	—	—
0,50	—	—	—	—	—		34	63	20	6	40	70	20	8	—	—	—	—
0,60	—	—	—	—	—		37	70	17	4	43	78	17	6	—	—	—	—
0,70	—	—	—	—	—		40	78	14	3	46	85	15	4	—	—	—	—
0,80	—	—	—	—	—	20.300	42	85	12	2	48	92	13	3	—	—	—	—
0,40	1,5	—	—	—	—		—	—	—	—	50	78	20	7	—	—	—	—
0,50	1,5	—	—	—	—		—	—	—	—	55	85	16	5	—	—	—	—
0,70	1,5	—	—	—	—	20.300	—	—	—	—	125	140	7	2	—	—	—	—
0,20	—	1,0	—	—	—	20.800	33	50	27	12	35	56	26	16	—	—	—	—
0,30	—	1,0	—	—	—		—	—	—	—	40	63	23	13	—	—	—	—
0,40	—	1,5	—	—	—		—	—	—	—	52	78	19	10	—	—	—	—
0,40	—	1,0	—	—	—		—	—	—	—	85	115	7	3	—	—	—	—
0,50	—	1,0	—	—	—		—	—	—	—	85	115	7	3	—	—	—	—
1,20	—	12,0	—	—	—	20.400	—	—	—	—	35	100	50	30	—	—	—	—
0,40	0,5	1,5	—	—	—		—	—	—	—	55	80	20	9	—	—	—	—
0,40	1,5	1,5	—	—	—		—	—	—	—	60	85	18	8	—	—	—	—
0,20	—	—	1,0	—	—		32	50	27	18	35	56	26	20	—	—	—	—
0,30	—	—	1,0	—	—		35	56	25	12	38	63	24	15	—	—	—	—
0,40	—	—	1,0	—	—		37	63	22	9	42	70	22	11	—	—	—	—
0,50	—	—	1,0	—	—		39	70	19	5	45	78	20	8	—	—	—	—
0,60	—	—	1,0	—	—		—	—	—	—	48	85	17	5	—	—	—	—
0,10	—	—	3,0	—	—	18.200	30	50	28	20	35	56	28	25	50	70	18	18
0,20	—	—	3,0	—	—		—	—	—	—	40	63	24	22	—	—	—	—
0,10	—	—	4,5	—	—		35	50	28	25	40	56	28	30	55	80	15	18
0,20	—	—	4,5	—	—		—	—	—	—	48	65	22	25	—	—	—	—
0,30	—	—	4,5	—	—		—	—	—	—	51	70	20	20	—	—	—	—
0,12	—	—	25,0	—	—	15,600	30	63	38	30	—	—	—	—	—	—	—	—
0,30	—	—	30,0	—	—		34	65	36	30	—	—	—	—	—	—	—	—
0,30	—	—	36,0	—	—		38	65	34	30	—	—	—	—	—	—	—	—
0,15	—	—	—	0,75	—	20.700	30	50	26	15	—	—	—	—	50	75	16	8
0,25	—	—	—	1,25	—		—	—	—	—	40	63	20	15	—	—	—	—
0,40	—	—	—	1,50	—		—	—	—	—	72	92	15	10	—	—	—	—
0,80	—	—	—	1,50	—		—	—	—	—	85	115	8	4	—	—	—	—
											95	125	6	3	—	—	—	—

Skład chemiczny %						Moduł norm. spręży- stości E kg mm ²	Wyżarzona					Uszlachet- niona				Hartowana			
C	Si	Mn	Ni	Cr	W		Gran. płynności Qr kg/mm ²	Rr kg/mm ²	A %	U kgm/cm ²	Qr	Rr	A	U	Qr	Rr	A	U	
0,25	—	—	2,0	1,0	—	20.400	—	—	—	—	45	65	22	17	—	—	—	—	
0,20	—	—	1,0	1,5	—		—	—	—	—	50	65	22	19	—	—	—	—	
0,30	—	—	2,0	1,0	—		—	—	—	—	50	70	21	16	—	—	—	—	
0,30	—	—	1,0	1,5	—		—	—	—	—	55	75	20	16	—	—	—	—	
0,35	—	—	2,0	1,0	—		—	—	—	—	55	75	20	16	—	—	—	—	
0,40	—	—	1,0	1,5	—		—	—	—	—	72	92	17	12	—	—	—	—	
0,13	—	—	2,75	0,7	—		35	55	24	20	48	63	24	22	75	100	13	13	
0,40	—	—	2,0	0,8	—		—	—	—	—	65	80	18	14	—	—	—	—	
0,20	—	—	3,0	0,6	—	20.400	—	—	—	—	50	65	22	21	—	—	—	—	
0,50	—	—	3,0	1,5	—		—	—	—	—	55	75	20	20	—	—	—	—	
											75	95	16	15	—	—	—	—	
											95	115	12	8	—	—	—	—	
0,15	—	—	3,5	0,8	—	20.400	40	65	22	18	115	140	8	5	—	—	—	—	
											60	75	22	22	100	120	12	10	
											70	85	18	20	140	160	8	5	
0,20	—	—	4,0	1,2	—	20.400	45	70	20	16	90	105	12	14	—	—	—	—	
0,30	—	—	4,5	1,5	—		50	75	18	14	85	100	14	16	150	175	6	4	
0,35	—	—	4	1,5	1,0	—	—	—	—	—	110	125	12	10	—	—	—	—	
						—	—	—	—	—	130	140	10	6	—	—	—	—	
0,10	—	—	1,5	15,0	—	—	—	—	—	—	65	80	18	20	100	135	10	6	
0,10	—	—	0,5	15,0	—	21.700	—	—	—	—	52	70	22	22	—	—	—	—	
0,15	—	—	7,0	20,0	—	19.900	—	—	—	—	45	80	40	30	—	—	—	—	
0,60	—	5,0	15,0	3,0	—	19.600	30	65	50	30	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,50	—	5,0	12,0	—	—		55	80	30	20	—	—	—	—	—	—	—	—	
							35	70	45	30	—	—	—	—	—	—	—	—	
							65	85	25	15	—	—	—	—	—	—	—	—	

b. Przebijalność pancerza.

Przebijanie pancerza pociskiem może mieć charakter wnikanía lub rozbicia (wyłamania).

Pocisk, przeznaczony do przebijania płyt pancernych, w zależności od termicznej obróbki skorupy, cech wytrzymałościowych płyty oraz własnej szybkości końcowej, może:

- przechodzić przez płytę,
- rozbijać się na płycie, pozostawiając w niej wgłębienie lub dając częściowe przebicie (wnikanie) lub też nie naruszając powierzchni płyty;
- rozbijać się na płycie, wyrzucając z płyty jej część, tak zwany „korek”, o średnicy mniejszej od kalibru pocisku.

Istnieje cały szereg teorii o przebijałości pancerza, które da się podzielić na trzy grupy:

1) teorie oparte na twierdzeniu, że zdolność przebicia jest proporcjonalna do przekroju poprzecznego pocisku, ponieważ pocisk porusza się w płycie, jak w każdym innym środowisku o mniejszej wytrzymałości, rozsuwając materiał, znajdujący się na jego drodze;

2) teorie mające za podstawę twierdzenie, że zdolność przebicia jest proporcjonalna do obwodu zgrubienia środkującego pocisku, ponieważ pocisk przy przebijaniu płyty pancernej działa jako tłocznik, ścinając materiał płyty wzdłuż obwodu walcowatej części;

3) teorie oparte na założeniu, że zdolność przebicia jest proporcjonalna do przekroju poprzecznego pocisku i do obwodu zgrubienia środkującego.

Według Tressiddera¹⁾ zdolność przebijania pancerza można uzależnić od istnienia trzech szybkości krytycznych: v_k' , v_k'' i v_k''' .

Jeżeli szybkość końcowa pocisku nie przekracza granicznej szybkości v_k' , to przy prostopadłym uderzeniu pocisku o powierzchnię pancerza otrzymuje się na wierzchołku ostrołuku pewne ciśnienie, które pocisk wytrzymuje. Energia pocisku zostaje przekazana prawie całkowicie płycie pancernej, która w zależności od grubości i rodzaju materiału ulega przebiciu, pęknięciu lub tylko zarysowaniu. W każdym wypadku pocisk pozostaje cały.

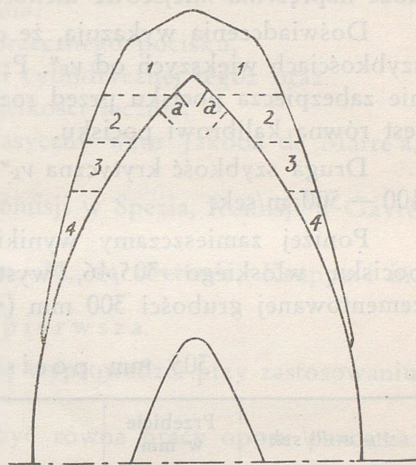
Zwiększenie szybkości końcowej w granicach $v_k' - v_k''$ powoduje pęknięcie wierzchołka ostrołuku pocisku, a następnie rozbitcie skorupy pocisku na większe lub drobniejsze odłamki w zależności od mniejszej lub większej szybkości końcowej. Energię uderzenia częściowo pochłania praca rozbitcia pocisku, częściowo zaś praca przebijania płyty, które najczęściej przedstawia się w postaci rozbitcia (wyłamania), mającego kształt stożka z otworem wlotowym, zbliżonym do kalibru pocisku. A zatem szybkość v_k'' jest szybkością minimalnego przebicia płyty przy pocisku pękniętym.

Przy zwiększeniu szybkości końcowej do wielkości v_k''' otrzymuje się wnikanie pocisku, dające walcowaty otwór z lejkowatym zakończeniem z obydwu stron. Pocisk w tym wypadku nie ulega rozbitciu. Zjawisko to należy zawdzięczać wpływowi molekularnej bezwładności. Energia uderzenia prawie całkowicie zużywa się na pracę wnikania.

Istnienie trzeciej szybkości krytycznej v_k''' potwierdzają badania H. Gerlicha, przytoczone w jednym z poprzednich rozdziałów.

¹⁾ E. Ravelli, *Costr. d'artiglieria*. Wyd. Mainardi. 1932.

Pękanie skorupy pocisku przy szybkościach końcowych, zawartych w granicach $v_k' - v_k'''$, ma przebieg następujący: przy uderzeniu, prostopadłym o odporną powierzchnię płyty otrzymuje się prawie natychmiastowy spadek szybkości pocisku. Powstające na wierzchołku ostrołuku, nie okrytego czepcem, niezwykle duże ciśnienie powoduje pierwsze pęknięcie tegoż ostrołuku według płaszczyzn aa (ryc. 31). Oderwany od wierzchołka ostrołuku odłamek w kształcie podwójnego stożka wtłacza się z wielką siłą do wnętrza pocisku. Odłamek ten, działając jako klin, wywołuje dalsze pęknięcia w innych płaszczyznach, równoległych do pierwszych, powodując zupełne rozbicie ostrołuku, a nawet i części cylindrycznej pocisku.



Ryc. 31.

Powyższe założenie doskonale tłumaczy znaczenie czepca przy pociskach przeciwpancernych. Jeżeli wierzchołek ostrołuku pocisku, który najpierw ulega zniszczeniu, zaopatrzymy w pierścień ochronny (ryc. 31, 1 — 1), okrywający zupełnie ten wierzchołek, to otrzymamy przy uderzeniu pocisku znacznie mniejsze ciśnienie jednostkowe na ostrołuku z powodu powiększenia płaszczyzny, przyjmującej uderzenie. Poza tym pierścień obsuwając się na ostrołuku przeciwdziała promieniowemu wydłużaniu się tegoż, zwiększając jego wytrzymałość na ściskanie przy jednoczesnym zmniejszeniu naprężenia jednostkowego.

Gdybyśmy ograniczyli zabezpieczenie ostrołuku do pokrycia go tylko pierścieniem 1 — 1, to początkowy stożek rozerwania pocisku utworzyłby się pod tym pierścieniem według innych płaszczyzn rozerwania. Ażeby uniknąć tego, daje się drugi pierścień 2 — 2, trzeci 3 — 3 itd. Ponieważ przekrój ostrołuku, na który się rozkłada ciśnienie osiowe, stale wzrasta, przeto naprężenie jednostkowe staje się coraz mniejsze, a zatem i szerokość pierścieni zabezpieczających ostrołuk powinna być odpowiednio mniejsza. Łącząc te pierścienie otrzymamy czepiec o właściwym kształcie.

Poza ochroną ostrołuku pocisku czepiec ma za zadanie zniszczenie utwardzonej warstwy pancerzy cementowanych, ułatwiając dalsze

wnikanie pocisku do warstwy mniej odpornej. Oprócz tego czepiec nie tylko działa na warstwę utwardzoną, lecz przenosząc uderzenie na płytę wywołuje prawdopodobnie w niej drgania, powodujące duże naprężenia miejscowe niekorzystne dla wytrzymałości płyty

Doświadczenia wykazują, że czepiec spełnia swoje zadanie przy szybkościach większych od v_k ". Przy mniejszych szybkościach czepiec nie zabezpiecza pocisku przed rozbiciem o pancerz, którego grubość jest równa kalibrowi pocisku.

Druga szybkość krytyczna v_k " na ogół znajduje się w granicach 400 — 500 m/sek.

Poniżej zamieszczamy wyniki badań, dotyczących jednolitego pocisku włoskiego 305/46, wystrzelonego prostopadle do płyty cementowanej grubości 300 mm (według Bertagna).

305 mm pocisk bez czepca.

v_k w m/sek	Przebiecie w mm	U w a g i
584	180	Pocisk rozbity.
606	190	" "
630	Całkowite	Pocisk złamany, ostrołuk wyrzucony naprzód poza płytę, skorupa wbita w płytę.
646	"	Pocisk złamany, wszystkie odłamki poza płytą.

305 mm pocisk z czepcem.

v_k w m/sek	Przebite w mm	U w a g i
378	Wnikanie niecałkowite	Pocisk złamany.
395	Wnikanie całkowite	Pocisk cały, wbity w płytę.
407	"	" " wyrzucony poza płytę.

Należy nadmienić, że czepiec ochronny powoduje duże zmniejszenie szybkości końcowej pocisku. Pocisk zaopatrzony w czepiec osiąga szybkość o 25% mniejszą w porównaniu z pociskiem nie posiadającym czepca. Natomiast pocisk z czepcem osiąga o 34% większą głębokość wnikania przy szybkościach jednakowych z pociskiem bez czepca.

c. Wzory na przebijanie pancerzy.

Stosownie do istniejących teorii używane dotychczas wzory na przebijanie pancerzy można również podzielić na trzy grupy, wyrażające zależność zdolności przebijania:

- 1) od wielkości przekroju poprzecznego pocisku,
- 2) od wielkości obwodu części cylindrycznej tegoż oraz
- 3) od wymienionych wyżej wielkości łącznie.

Do pierwszej grupy należy klasyczny wzór Jakóba de Marre'a, Kruppa, Tressiddera i in.

Do drugiej — H. W. Nobla, Komisji w Spezia, Komisji w Gâvre Muggiano i in.

Do trzeciej — N. di Giorgiego, M. de Brettes'a, Kruppa i in.

1. Grupa pierwsza.

Wzory pierwszej grupy dają się wyprowadzić przy zastosowaniu następnego rozumowania.

Siła żywa pocisku powinna być równa pracy oporu pancerza.

$$\text{Siła żywa pocisku} = \frac{Gv_k^2}{2g}.$$

Praca oporu $R \cdot h$ (R — siła oporu, h — głębokość wnikania)

Wobec tego możemy napisać równanie prac:

$$\frac{Gv_k^2}{2g} = R \cdot h$$

Ponieważ R jest proporcjonalne do przekroju poprzecznego pocisku, więc

$$R = \sigma \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot f\left(\frac{h}{d}\right),$$

gdzie σ — współczynnik wytrzymałości pancerza,

d — kaliber pocisku,

$f\left(\frac{h}{d}\right)$ — funkcja stosunku wielkości zagłębienia do wielkości ka-

libru, gdyż opór pancerza zależy od stosunku $\frac{h}{d}$.

Wobec powyższego praca pancerza przy przebijaniu

$$Rh = \sigma \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot f\left(\frac{h}{d}\right) \cdot h.$$

Podstawiając w równaniu prac Rh otrzymamy

$$Gv_k^2 = \sigma \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot f\left(\frac{h}{d}\right) \cdot h \cdot 2g = \alpha \cdot hd^2 f\left(\frac{h}{d}\right),$$

gdzie

$$\alpha = \frac{\sigma \pi \cdot 2g}{4};$$

funkcję $f\left(\frac{h}{d}\right)$ można przedstawić jako $\left(\frac{h}{d}\right)^n$. Wykładnik n oraz współczynniki σ i α należy określić drogą doświadczenia.

$$\text{Ostatecznie} \quad Gv^2 = \alpha \cdot hd^2 \left(\frac{h}{d}\right)^n.$$

Przy pociskach działowych n wynosi zwykle $1/2$ dla płyt pancernych, wobec czego

$$Gv_k^2 = \alpha hd^2 \left(\frac{h}{d}\right)^{1/2} = \alpha h^{3/2} d^{3/2}.$$

Z powyższego równania określamy głębokość przebicia h :

$$h^{3/2} = \frac{Gv_k^2}{\alpha \cdot d^{3/2}}$$

$$h = \frac{G^{2/3} v_k^{4/3}}{\alpha_1 \cdot d}$$

oraz szybkość końcową, niezbędną do przebicia pancerza,

$$v_k = \frac{\sigma_1 \cdot h^{3/2} d^{3/2}}{G^{1/2}} \quad (\text{wzór J. de Marre'a}).$$

a) Wzoru *de Marre'a* używa się zwykle w postaci następującej:

$$v_k = \alpha \frac{d^{0,75}}{G^{0,5}} h^{0,7} \quad \text{skąd} \quad h = \sqrt[0,7]{\frac{v_k \cdot G^{0,5}}{\alpha \cdot d^{0,75}}}$$

gdzie v_k — szybkość końcowa w sek,

α — współczynnik, zależny od własności płyty i pocisku,

d — kaliber pocisku w dm,

G — ciężar „ „ kg,

h — grubość przebicia w dm.

Przy pociskach nie ulegających rozbiciu otrzymuje się następujące wartości α :

1530 dla stali miękkiej i pocisku bez czepca,

2450 „ płyty K. C. Kruppa i pocisku bez czepca,

1900 „ „ „ „ „ „ z czepcem,

2425 „ stali o wytrzymałości $R_r = 100 \text{ kg/mm}^2$ i pocisku do 150 mm bez czepca,

2350 dla stali o wytrzymałości $R_r = 100 \text{ kg/mm}^2$ i pocisku ponad 150 mm bez czepca,

2850 dla stali o wytrzymałości $R_r = 100 \text{ kg/mm}^2$ i pociskach z ładunkiem kruszącym.

Kralupper na zasadzie licznych prób i obliczeń ustalił następujące współczynniki α :

1900 — dla płyt ze stali węglistej różnego pochodzenia,

a także dla stali niklowej niehartowanej,

2100 — dla płyt N. C. Kruppa,

2200 — dla płyt Kruppa starego wyrobu nawęglanych i hartowanych.

Natomiast E. Ravelli, zmieniając wzór de Marre'a w sposób poniższy

$$v_k = 1530 K \frac{d^{0,75}}{G^{0,5}} h^{0,7}$$

podaje następujące wartości K :

- 1 — dla pocisków bez czepca i pancerzy ze stali miękkiej,
- 1,05 — 1,1 — dla pocisków bez czepca i pancerzy ze stali niklowej niecementowanej,
- 1,15 — 1,2 — dla pocisków bez czepca i pancerzy ze stali chromoniklowej niecementowej,
- 1,15 — 1,25 — dla pocisków z czepcem i pancerzy ze stali chromoniklowej cementowanej,
- 1,3 — 1,45 — dla pocisków bez czepca i pancerzy ze stali chromoniklowej cementowanej.

Wzór de Marre'a wymaga długich obliczeń, wobec czego używa się do tych obliczeń albo specjalnych suwaków, stosowanych w zakładach Kruppa i Vickersa, albo odpowiednich wykresów.

Celem ułatwienia sporządzenia takiego wykresu E. Ravelli zaproponował następujące zmiany.

Ponieważ ciężar pocisku $G = \delta d^3$, to wyżej przytoczony wzór może mieć postać następującą:

$$v_k = 1530 K \frac{d^{0,75}}{\delta^{0,5} d^{1,5}} h^{0,7}$$

czyli w wypadku uderzenia prostopadłego:

$$v_k = \frac{1}{d^{0,05}} \left[K \frac{1530}{\delta^{0,5}} \left(\frac{h}{d} \right)^{0,7} \right].$$

Iloczyn $\frac{1}{d^{0,05}}$ bardzo bliski jedności odnośnie wartości normalnej d , zawartej między 0,5 a 4 dm, ma tylko znaczenie czynnika poprawczego. A zatem można napisać z dostateczną dokładnością:

$$\frac{1}{d^{0,05}} \sim 1,06 - 5,045 d.$$

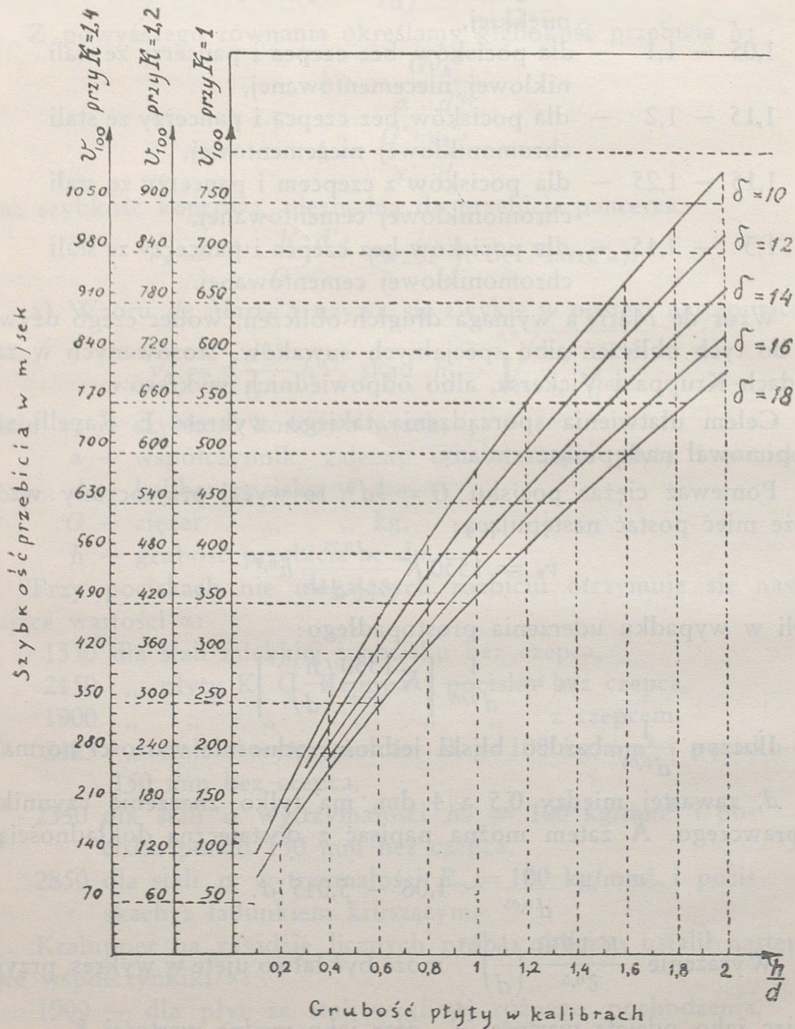
Wyrażenie $\frac{K 1530}{\delta^{0,5}} \left(\frac{h}{d} \right)^{0,7}$ może być łącznie ujęte w wykres, przyjmując jako odciętą wartości $\frac{h}{d}$, oraz jako rzędną wartości K .

Załączony wykres (ryc. 32) podaje wyżej wymienione wartości dla pocisku 100 mm przy uderzeniu prostopadłym, przy czym możemy ustalić następujący związek

$$v_x = \sim (1,06 - 0,045 d) v_{k100},$$

gdzie kaliber d będzie wyrażony w dm, a v_x i v_{k100} w m/sek.

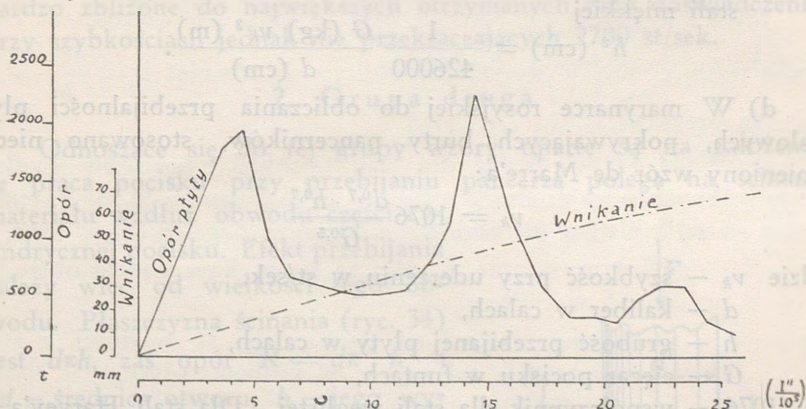
Szybkości przebicia dla kalibru 100 mm



Ryc. 32.

Wykres uwzględnia współczynniki K o wartości 1; 1,2 i 1,4 najbardziej znamienne dla płyt pancernych.

Należy nadmienić, że wartość oporu płyty podczas przebijania nie jest jednakowa, jak o tym świadczy wykres, wykonany na podstawie pewnego doświadczenia (ryc. 33).



Ryc. 33.

b) W zakładach Kruppa i we Francji do obliczenia przebiecia płyt ze stali kutej stosowano również wzory następujące:

$$z = 100 \cdot h \sqrt[3]{\frac{h}{d}} \quad \text{lub} \quad e = 150 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^{1/4}$$

gdzie z jest pracą pocisku w kgm na 1 cm^2 przekroju poprzecznego $= \frac{Gv^2}{2g} : \pi r^2$, zaś e jest ta sama praca na 1 cm^3 objętości kuli o promieniu równym promieniowi przekroju pocisku. Przy uderzeniu pocisku w płytę pod kątem ω

$$z = \frac{100}{\sin^2 \omega} \cdot h \cdot \sqrt[3]{\frac{h}{d}}$$

We wzorach wyżej podanych h oznacza się w cm, kaliber d w cm, ciężar pocisku G w kg, szybkość w chwili uderzenia V_k w m/sek.

Na zasadzie doświadczeń ustalono następujący wzór do przebijania płyt stalowych:

$$h = \alpha \cdot \sqrt[4]{\frac{Gv_k^2 \cdot \sqrt[3]{d}}{200g \pi r^2}}$$

gdzie h — grubość przebijanej płyty w cm,

α — współczynnik równy 1 dla stali miękkiej i 0,4 dla stali o wytrzymałości $R_r = 100 \text{ kg/mm}^2$,

- G — ciężar pocisku w kg,
 V_k — szybkość pocisku przy uderzeniu w m/sek,
 d — kaliber pocisku cm,
 r — promień przekroju poprzecznego pocisku w cm.

c) Tressidder podaje następujący wzór na przebijanie płyty ze stali miękkiej

$$h^2 \text{ (cm)} = \frac{1}{426000} \frac{G \text{ (kg)} \cdot v_k^2 \text{ (m)}}{d \text{ (cm)}}.$$

d) W marynarce rosyjskiej do obliczania przebijalności płyt stalowych, pokrywających burty pancerników, stosowano nieco zmieniony wzór de Marre'a:

$$v_k = 1076 \frac{d^{0,7} \cdot h^{0,7}}{G^{0,5}}$$

gdzie v_k — szybkość przy uderzeniu w st/sek,

d — kaliber w calach,

h — grubość przebijanej płyty w calach,

G — ciężar pocisku w funtach,

1076 — współczynnik dla stali węglistej. Dla stali Harvey'a — 1186, dla stali Kruppa — 1512.

Do obliczania grubości płyt pokładowych stosowano wzór następujący:

$$v_k = 1720 \sqrt{\frac{d}{G} \cdot h^{3/2}} \quad \text{stad} \quad h^{3/2} = \frac{1}{1720} \cdot \frac{G^{1/2}}{d^{1/2}}.$$

Poniższa tabela zawiera porównanie obliczeń z wynikami doświadczeń na morskim poligonie:

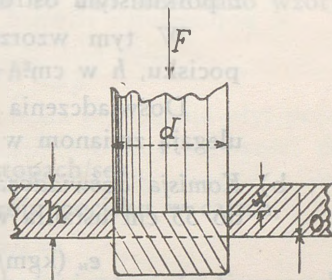
Rodzaje dział		6 calowa armata Caneta: $G = 96,75 \text{ f}$				10 calowa $G = 536 \text{ f}$
Grubość płyty ze stali Kruppa w calach:		5	6,75	9	10	12
V_k w st/sek	Ustalone doświadczenia w st sek.	1820—2184	2236—2684	2734—3280	2942—3520	2088—2505
	Obliczone według wzorów: $V_k = 1512$ $\frac{d^{0,8} \cdot h^{0,7}}{G^{0,5}}$	1993	2459	3008	3238	2347
	$h = 0,4$ $\frac{V_k \cdot d}{1000}$	2080	2810	3750	4140	2400

Wyniki doświadczeń wskazują, że różnica w szybkościach potrzebnych do przebicia płyt z tego samego materiału może dochodzić do 20% ze względu na jakość płyty.

Należy nadmienić, że wzór pierwszy przytoczony w tabeli określa przeciętne wyniki doświadczeń, drugi natomiast określa wielkości bardzo zbliżone do największych otrzymanych przy doświadczeniu, przy szybkościach jednak nie przekraczających 2700 st/sek.

2. Grupa druga.

Odnoszące się do tej grupy wzory oparte są na założeniu, że praca pocisku przy przebijaniu pancerza polega na ścinaniu materiału wzdłuż obwodu części cylindrycznej pocisku. Efekt przebijania zależy więc od wielkości tego obwodu. Płaszczyzna ścinania (ryc. 34) jest $d\pi h$, zaś opór $R = d\pi \cdot h \cdot \sigma$ (d — średnica otworu, h — jego wysokość). Gdyby to założenie było prawidłowe pod każdym względem i strata pracy byłaby wyłączona, to współczynnik σ równałby się oporowi ścinania na jednostkę powierzchni bocznej otworu. W rzeczywistości wielkość σ da się ustalić tylko za pomocą strzelania.



Ryc. 34.

Z równania

$$\frac{G}{g} v \Delta v = - R \Delta x = - d\pi \cdot \sigma \cdot h \cdot \Delta h$$

wynika, że

$$\frac{Gv_k^2}{2g} = d\pi \cdot h^2 \frac{\sigma}{2}$$

skąd

$$h^2 = \frac{Gv_k^2}{gd\pi\sigma}$$

przy czym h jest minimalna grubość płyty, po przebicu której szybkość pocisku równa się zeru.

Oznaczając energię uderzenia $\frac{Gv_k^2}{2g}$ przez E , mamy

$$E = \frac{\sigma \cdot d\pi h^2}{2}.$$

Jeżeli energię uderzenia, przypadającą na jednostkę obwodu części cylindrycznej pocisku, oznaczmy jako $e_u = \frac{E}{d\pi}$, to otrzymamy równanie:

$$e_u = ch^2.$$

Jeżeli na podstawie szeregu prób określi się wartości e_u i h , o dla poszczególnych wypadków obliczy się również $c = \frac{le_u}{h^2}$.

Na przykład:

- a) Wzór *H. W. Nobla* dla stali miękkiej i pocisków wydłużonych z owalnym ostrołukiem e_u (kgm/cm) = $23,54 \cdot h^2$ (cm); z półkulistym ostrołukiem e_u (kgm/cm) = $26,16 \cdot h^2$ (cm).

W tym wzorze e_u oblicza się w kgm na cm obwodu pocisku, h w cm.

Doświadczenia jednak stwierdzają, że wartości c i h ulegają zmianom w zależności od grubości płyty.

- b) Komisja doświadczalna w Spezia dla grubości płyty od 30 do 55 cm ustaliła wzór:

$$e_u \text{ (kgm/cm)} = 34,98 \cdot h^{1,868} \text{ (cm)}.$$

- c) W marynarce angielskiej stosowano wzór *Nobla* dla grubości płyt od 25 do 50 cm:

$$e_u \text{ (kgm cm)} = 15,72 \cdot h^{2,035} \text{ (cm)},$$

dla grubości zaś od 10 do 25 cm:

$$e_u \text{ (kgm/cm)} = 56,33 \cdot h^{1,645} \text{ (cm)}.$$

- d) *Hélie* znalazł, że dla h wykładnik $\frac{4}{3}$ jest najbardziej odpowiedni. To samo stwierdza wzór Komisji Doświadczalnej w Gâvre:

$$e_u \text{ (kgm/cm)} = 207,5 \cdot h^{\frac{4}{3}} \text{ (cm)}.$$

- e) *Muggiano* opracował następujący wzór na przebijanie płyt pancernych:

$$h^2 = \frac{Gv_k^2}{\alpha \cdot 2000 \text{ g} \cdot \pi \cdot d}$$

gdzie h — głębokość przebiccia w cm,

G — ciężar pocisku w kg,

v_k — szybkość końcowa w m/sek,

d — kaliber w cm,

α — współczynnik dla $\left\{ \begin{array}{l} 0,016 \text{ dla pocisków stalowych} \\ \text{płyt ze stali miękkiej} \left\{ \begin{array}{l} 0,041 \text{ dla pocisków żeliwno-stali-} \\ \text{stych;} \end{array} \right. \end{array} \right.$

dla płyt stalowych: 0,020 dla pocisków stalowych du-
żych kalibrów,

0,025 dla pocisków stalowych śred-
nich kalibrów,

0,05 dla pocisków żeliwno-stali-
stych dużych kalibrów.

f) W Rosji do przybliżonego obliczania przebijania płyt ze stali miękkiej o grubości ponad 10 cali stosowano wzory następujące:

$$\frac{G v_k^2}{2g} = \alpha \cdot 2\pi r h^2,$$

gdzie G — ciężar pocisku w funtach,

V_k — szybkość przy uderzeniu w stopach/sek.,

r — promień poprzecznego przekroju pocisku w calach,

h — grubość płyty w calach,

α — współczynnik, zależny od grubości i własności fizycznych płyty, od kształtu ostrołuku pocisku i jednostek, które służą do określenia podanych w równaniu wielkości. Według obliczeń G. L. Mayewskiego $\alpha = 65,88$, jeśli energia pocisku określa się w pudo-stopach, r i h w calach, g w stopach i h nie jest mniejsza od 10 cali, płyta zaś nie posiada podkładki drewnianej. Wobec tego

$$\alpha = \frac{G v^2}{2g 2\pi r h^2}.$$

Na zasadzie powyższego wzoru możemy napisać równanie

$$h^2 = \frac{G v_k^2}{\alpha 2g 2\pi r}.$$

Ponieważ ciężar pocisku podłużnego może być oznaczony iloczynem stałego współczynnika β (zależnego od kształtu pocisku i materiału skorupy przez promień przekroju poprzecznego pocisku do sześciannu, tj. $G = \beta r^3$, możemy nadać powyższemu równaniu postać następującą:

$$h^2 = \frac{\beta r^3 v_k^2}{\alpha 2g 2\pi r} = \gamma r^2 v_k^2,$$

gdzie γ jest stałym współczynnikiem.

Z przytoczonego równania określamy

$$h = v_k r \sqrt{\gamma} = \eta \cdot v_k \cdot 2r$$

skąd

$$\eta = \frac{1}{2} \sqrt{\gamma}.$$

Jeżeli przyjmiemy, że ciężar pocisku przeciwpancernego jest równy ciężarowi trzech kul żeliwnych tej samej średnicy, to

$$G = 3 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot 0,0071$$

gdzie 0,0071 jest ciężar 1 cala sześciennego w pudach.

Z poprzednich równań określa się η w sposób następujący:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 0,0071}{3 \cdot 55,88 \cdot 2g \cdot 2\pi}} \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0,0071}{55,88 \cdot 32,2}} \\ &= 0,00099 \text{ czyli prawie } \frac{1}{1000}. \end{aligned}$$

Wobec tego wzór się ostatecznie przedstawia jak następuje:

$$h = \frac{v_k \cdot d}{1000}$$

przy czym h i d określa się w calach, zaś v_k — w stopach. Stąd wynika, że grubość przebijanej płyty jest proporcjonalna do szybkości końcowej i do kalibru pocisku.

Przykład. 11-calowy pocisk przeciwpancerne wz. 1877, o wadze 610 *f* i długości 2,5 kalibra, wystrzelony z szybkością 1500 st/sek, przy wylocie może przebić 16,5-calową płytę ze stali miękkiej

$$h = \frac{1500 \cdot 11}{1000} = 16,5 \text{ cali.}$$

Na dalszej odległości przy $v_k = 1000$ st/sek przebija 11 cali = d . Przykład. 11-calowy pocisk przeciwpancerne wz. 1887 o wadze 840 *f* i długości 3,5 kalibra, wystrzelony z szybkością 1900 st/sek przy wylocie przebija 26-calową płytę ze stali miękkiej:

$$h = 1,25 \cdot \frac{1900 \cdot 11}{1000}.$$

Do obliczenia grubości przebijanej płyty, wykonanej z innego materiału, używano tego samego wzoru, stosując współczynniki następujące:

przy płytach stalowo-żeliwnych	7/8
„ „ ze stali miękkiej	3/4
„ „ „ niklowej	2/3
„ „ „ Harweya	0,5
„ „ „ Kruppa	0,4.

Przykład. 11-calowy pocisk przeciwpancerny wz. 1887 przy zachowaniu wyżej wymienionych warunków przebija płytę stalową Kruppa o grubości

$$h = 0,4 \cdot 1,25 \cdot \frac{1900 \cdot 11}{1000} = 10,4 \text{ cali.}$$

g) Do przybliżonego obliczania zdolności przebijania płyt przez pociski o długości około 3,5 kalibra i przy szybkości do 900 — 1000 m/sek można też posługiwać się wzorem następującym:

$$h = \alpha v_k d$$

gdzie h — grubość przebijanej płyty w cm,

α — współczynnik, który dla stali miękkiej wynosi 0,00417, zaś dla stali Kruppa — 0,00167,

v_k — szybkość w chwili uderzenia w m/sek,

d — kaliber pocisku w cm.

Przykład. Jeżeli weźmiemy pocisk 152 mm, stosowany przy poprzednich obliczeniach, to dla płyty ze stali miękkiej wypadnie

$$h = 0,00417 \cdot 987 \cdot 15,2 = 62,5 \text{ cm,}$$

dla płyty stalowej

$$h = 0,00167 \cdot 987 \cdot 15,2 = 25 \text{ cm.}$$

Dla przybliżonego obliczenia szybkości, potrzebnej do przebicia płyty, również można zastosować wzór powyższy, na którego zasadzie

$$v_k = \frac{h}{\alpha d}.$$

3. Grupa trzecia.

Praktyka wykazuje, że ani wzory uwzględniające obwód pocisku, ani wzory uwzględniające przekrój tegoż nie są zupełnie miarodajne.

Są dwie możliwości, które prowadzą do racjonalnego sposobu obliczania zdolności przebijania pancerza:

1) ustalenie wzoru, w którym byłyby uwzględniona zarówno praca na obwodzie jak i praca na przekroju poprzecznym;

2) przyjęcie jednoczłonowych wzorów z odpowiednio określonymi wykładnikami potęgi.

Ad 1). We wzorach drugiej grupy energia uderzenia

$$E = \frac{\sigma d \pi h^2}{2}$$

we wzorach zaś pierwszej grupy

$$E = k \frac{\pi d^2}{4} h,$$

gdyż R przyjmuje się równym

$$k \frac{\pi d^2}{4},$$

przy czym k jest współczynnikiem oporu środowiska wnikania. Zatem najogólniejsza postać dwuczłonowych wzorów powinna być następująca:

$$E = a \frac{\sigma \pi h^2}{2} + b \frac{\pi d^2}{4} k h.$$

Czynniki a i b odpowiadają wielkościom pracy na obwodzie i na przekroju poprzecznym. Suma ich powinna być $= 1$ lub ~ 1 , wobec czego, o ile $a = 0$ powinno $b = 1$, zaś przy $b = 0$ powinno $a = 1$.

Ponieważ uzależnienie działania przebijania od przekroju poprzecznego pocisku jest najważniejsze, przeto „ b ” musi być zbliżone do 1, zaś „ a ” do 0.

Według M. de Brettesa $a = 0,247$, $b = 0,73$, $a + b = 0,977$

„ Kruppa $a = 0,222$, $b = 0,76$, $a + b = 0,982$

Powyższemu wzorowi można nadać bardziej praktyczną postać, wprowadzając grubość płyty w kalibrach pocisku

$$h_d = \frac{h}{d}$$

Energia przypadająca na objętość kuli odpowiadającej kalibrowi

$$e_v = \frac{E}{\frac{\pi d^3}{6}}$$

Na zasadzie powyższego równania

$$e_v = 3a \frac{\sigma h^2}{d^2} + \frac{3}{2} bk \frac{h}{d}$$

co można wyrazić wzorem ogólnym

$$e_v = A h d^2 + B h d.$$

Przykłady: wzór M. de Brettesa:

$$e_v = 40 h^2 d + 110 h d,$$

wzór Kruppa:

$$e_v = 36 h^2 d + 114 h d.$$

Ad 2. W równaniach prac, które uwzględniają obwód pocisku, wykładnik potęgi przy h równa się 2, zaś przy d — 1; natomiast w równaniach, które uwzględniają przekrój poprzeczny, wykładniki przedstawiają się w porządku odwrotnym.

Jednak w każdym wypadku suma wykładników = 3.

Z powyższego wynika, że można zastosować wzór jednoczłonowy, w którym wielkości wspomnianych wykładników znajdują się pomiędzy 1 i 2, a których suma wynosi 3.

Ponieważ wzór, który uwzględnia przekrój poprzeczny uważa się za bardziej trafny, przeto wykładnik przy d musi być zbliżony do 2, zaś wykładnik przy h zbliżony do 1.

Hélie ustalił dla h wykładnik potęgi $4/3$, wobec tego wykładnik dla $d = 3 - 4/3 = 5/3$.

Zmieniony na zasadzie powyższych rozważań wzór będzie miał postać następującą:

$$E = \frac{G v^2}{2g} = a d^{5/3} h^{4/3}$$

lub

$$v = C \frac{d^{5/6}}{G^{1/2}} h^{2/3} = C \frac{d^{0,83}}{G^{0,5}} h^{0,6}$$

Przykłady: wzór Kruppa dla stali miękkiej:

$$\frac{G v^2}{2g \pi d^2} = 100 h \left(\frac{h}{d} \right)^{1/3}$$

może być stosowany w postaci równania:

$$E = \frac{100 \pi}{4} d^{5/3} h^{4/3}.$$

Suma wykładników potęgi, jak widzimy, równa się też 3.

Jeżeli h i d przyjąć w dm, wzór Kruppa można przedstawić w postaci równania:

$$\nu_k = 1241 \frac{d^{0,83}_{(dm)}}{G^{0,5}_{(kg)}} h^{0,6}_{(dm)}.$$

Firma Kruppa dla stali niklowej z hartowaną warstwą czynną stosowała wzór:

$$h^2_{(cm)} = \frac{G_{(kg)} \nu_k^2}{5800 d_{(cm)}}$$

lub

$$V_{k(m)} = 2408 \frac{d^{0,5}_{(dm)}}{G^{0,5}_{(kg)}} h_{(dm)}.$$

W równaniu pierwszym suma wykładników potęgi również = 3.

Wzór ten jest bardzo wygodny, ponieważ nie wymaga logarytmowania.

c. Wzory na przebijanie pancerzy z twardego żeliwa.

Twarde żeliwo zawiera C od 3 — 3,5% i ma wytrzymałość na rozerwanie od 20 do 28 kg.

Wnikanie pocisku w twarde żeliwo jest stosunkowo nieznaczne i nieregularne. Zwykle otrzymuje się przy uderzeniu odpryski materiału, ześlizgnięcia pocisku, rysy i pęknięcia, które umożliwiają w końcu rozbić płytę.

Działanie poszczególnych strzałów zależy od całkowitej energii w chwili uderzenia i może być obliczone ze wzoru

$$h_{(cm)} = 0,8 \sqrt[2]{E_{(tm)}}.$$

Na podstawie badań ustalono, jaką ilość trafień o znanej energii uderzenia może wytrzymać płyta określonej grubości bez narażenia na rozbić.

Zakłady Grusona (Grusonwerk) ustaliły wzór, pozwalający obliczać grubość płyty, wymaganą dla danego obiektu opancerzonego:

$$h_{(cm)} = C \sqrt[4]{E_{(tm)}};$$

E jest całkowita energia pocisku w chwili uderzenia.

Wartości C dla:

Płyty z otworami pancerzy nadbrzeżnych $C = 12$

Płyt bocznych pancerzy nadbrzeżnych . . $C = 11$

Płyt pancernych zabezpieczonych nasypem
ziemnym $C = 9$

Płyt pancernych z przedmurzem granito-
wym $C = 8$

Przy fortyfikacjach lądowych wymienione wielkości należy zwiększyć o 10%.

Przy granatach przeciwpancernych i półpancernych należy $C = 11$ do 12 powiększyć do 15.

W wyniku doświadczeń amerykańskich i angielskich ustalono następujące względne współczynniki mocy płyt:

płyta ze stali miękkiej, przebijana pociskiem
niehartowanym 1,0

płyta stalowa Harvey'a, przebijana pociskiem
hartowanym 2,0

płyta stalowa K. C., przebijana pociskiem
hartowanym 2,5

płyta stalowa Harvey'a, przebijana pociskiem
hartowanym z czepcem 1,5

płyta stalowa K. C., przebijana pociskiem harto-
wanym z czepcem 2,0

d. Wpływ kąta uderzenia.

Przy skośnym uderzeniu o pancerz pocisk początkowo dąży do ześlizgnięcia, szczególnie jeżeli chodzi o płytę cementowaną, potem zaś wskutek zagłębienia się ostrołuku wyprostowuje się, zbliżając się do pozycji prostopadłej względem powierzchni płyty.

W czasie tego wyprostowania się dno pocisku opóźnia się w stosunku do ostrołuku, skąd pochodzą siły gnące, zmierzające do złamania pocisku. Właściwość ta wymaga zastosowania dla części cylindrycznej metalu dostatecznie ciągliwego, który dzięki swemu wydłużeniu może zapobiec złamaniu pocisku. Wobec powyższego każdy pocisk przeciwpancerny powinien mieć bardzo twardy ostrołuk do przebijania, cylindryczną zaś część — stosunkowo miękką i nie zanadto wydłużoną, celem uchronienia pocisku przed złamaniem przy uderzeniu skośnym. E. Ravelli podaje, że złamanie pocisku

zwykle następuje na wysokości denka¹⁾. Aby temu zapobiec obtacza się tylną część skorupy i zamiast usuniętego metalu daje się pierścień z metalu miękkiego.

Doświadczenia natomiast wykazują, że złamanie pocisku następuje zazwyczaj między zgrubieniem środkującym a pierścieniem wiodącym, zapewne wskutek zbyt gwałtownego przejścia w budowie metalu od utwardzonego ostrołuku do miękkiej części cylindrycznej.

Przy małych kątach uderzenia, kiedy wierzchołek ostrołuku nie dotyka powierzchni płyty, wnikanie jest niemożliwe i utrzymuje się tylko działanie miażdżące, dające wgłębienie lub rozbitcie płyty na pewnej powierzchni. W tym wypadku działanie skuteczne pocisku zależy przede wszystkim od szybkości końcowej pocisku i kąta uderzenia, jak o tym świadczą badania, przeprowadzone przez Jacoba z 65 mm pociskiem i płytą stalową grubości 15 mm.

Kaliber	Kąt uderzenia	Grubość pancerza w mm	Szybkość końcowa w m/sek.
65	7° 30'	15	495
65	15°	15	363
65	30°	15	241

Jeżeli zaś kąt uderzenia pocisku jest mniejszy od 75 — 70°, to przy przebijaniu płyt pancernych o grubości równej kalibrowi pocisku prawie zawsze następuje rozbitcie się tegoż. Na dowód powyższego można przytoczyć wyniki doświadczeń mjra Bertagna, dotyczące przebijania 300 mm płyt cementowanych przeciwpancernym pociskiem 305/46 o ciężarze 452 kg przy kącie uderzenia 70°.

v_k w m/sek	Głębokość przebicia w mm	U w a g i
379	10	Żadnego wgniecenia, pocisk złamany
443	55	Wgniecenie 480 × 560, „ „
508	69	„ 440 × 830, „ „
569	Przebicie całkowite	Otwór 330 × 350, „ „

¹⁾ E. Ravelli. Costruzioni d'artiglieria, wyd. G. Mainardi. 1932.



Granaty przeciwpancerne zwykle ześlizgują się, jeżeli kąt padania wynosi około 30° . Granica ta się obniża, jeżeli materiał płyty jest miękkiej, płyta zaś sama jest odpowiednio cienka i podatna. Granica wyżej wymieniona się podwyższa, jeżeli płyta nie jest podatna i ma twardą warstwę zewnętrzną. Przy równych kątach padania pociski ześlizgują się z powierzchni wypukłej łatwiej niż z równej.

Przy obliczeniu zdolności przebijania pocisku należy stosować we wzorze albo grubość płyty h_ω , mierzoną w kierunku trafienia, a więc $h_\omega = \frac{h}{\sin \omega}$ lub normalne składowe szybkości w chwili uderzenia $v = v_k \cdot \sin \omega$.

Przy tym założeniu i zastosowaniu wzoru de Marre'a otrzymuje się grubość przebijanej płyty h_ω według równania:

$$V_k \cdot \sin \omega = \alpha \frac{d^{0,75}}{G^{0,5}} h_\omega^{0,7}.$$

Przy trafieniach zaś prostopadłych wystarczy wzór:

$$V_k = \alpha \frac{d^{0,75}}{G^{0,5}} h.$$

Z powyższych dwóch równań wynika, że

$$\sin \omega = \left(\frac{h_\omega}{h} \right)^{0,7}$$

lub

$$h_\omega = h (\sin \omega)^{\frac{1}{0,7}}.$$

Ten wzór, aczkolwiek nieuzasadniony teoretycznie, daje wyniki zbliżone do wyników doświadczalnych.

Jest on bardzo wygodny, gdyż wymaga tylko pomnożenia h przez wartość $(\sin \omega)^{\frac{1}{0,7}}$. Przy tym obliczeniu musi być znana oczywiście wielkość h .

Wartości $(\sin \omega)^{\frac{1}{0,7}}$.

Dla $\omega = 90^\circ$ 1,00

„ $\omega = 85^\circ$ 0,99

„ $\omega = 80^\circ$ 0,98

„ $\omega = 75^\circ$ 0,95

„ $\omega = 70^\circ$ 0,92

„ $\omega = 65^\circ$ 0,87

Dla $\omega = 60^\circ$ 0,81

„ $\omega = 55^\circ$ 0,75

„ $\omega = 50^\circ$ 0,68

„ $\omega = 45^\circ$ 0,61.

Brassays (Naval annual, 1905) podaje następujący wzór do obliczania działania strzałów skośnych:

$$v = v_k \sin \left(\frac{\omega}{2} + 45^\circ \right),$$

gdzie v_k jest szybkość, która potrzebna do przebicia płyty grubości h przy prostopadłym trafieniu, v — szybkość do przebijania płyty grubości h przy trafieniu pod kątem ω .

Weaver (Journal of the U. S. Artillery) w wyniku badań ustalił następujący wzór do obliczania przebijania płyt ze stali niklowej Harvey'a (260 mm płyty, mające 75 mm warstwę cementowaną, zawierającą 1% C z zewnątrz i 0,35% wewnątrz):

$$E_{(\text{kgm})} = 13,82 n^2 d^2_{(\text{cm})} h_{(\text{cm})}$$

przy czym

$$n = 3,125 + 0,043307 (h - d).$$

Jeżeli kąt podania wynosi $< 30^\circ$, to pociski, jak zaznaczyliśmy wyżej, się odbijają, przez to grubość przebijanej płyty = 0.

Przyjmując, że zdolność przebijania znajduje się w prostej proporcji do wielkości kąta padania, przyjdziemy do wniosku, że strata zdolności przebijania na każdy stopień pomiędzy 90° a 30° wynosi $1/60 = 0,017$.

Jeżeli ω jest kąt padania, który tworzy oś pocisku z powierzchnią płyty, to grubość przebijanej płyty, równa się

$$h - 0,017 (90^\circ - \omega) h,$$

wobec czego

$$E = 13,82 n^2 d^2 h [1 - 0,017 (90^\circ - \omega)],$$

potrzebna zaś energia do przebicia płyty grubości h

$$E_\omega = \frac{13,82 n^2 d^2 h}{1 - 0,017 (90 - \omega)}.$$

Cirié przeprowadzał próby z 28 cm haubicą. Strzelano do poziomej płyty ze stali miękkiej 10 cm grubości granatami L/2, 6 z owalnym ostrołukiem ($G = 216$ kg). Przy kącie strzału 45° otrzymuje się przebijanie, jeżeli $x = 6000$ m, zaś szybkość w chwili uderzenia $v_k = 220$ m/sec. Przy kącie strzału 60° osiąga się przebijanie już z 2000 m, przy $v_k = 160$ m/sec.

Zastosowanie czepca powoduje zmniejszenie kąta odbicia się pocisku.

Wpływ czepca na zdolność przebijania pocisków przeciwpancernych najlepiej charakteryzują wyniki badań amerykańskich.

20,3 cm granat przeciwpancerny, $G = 144$ kg, $v_k = 326$ m/sek. Kąt padania 30° . Granat z czepcem przebił hartowaną płytę ze stali niklowej grubości 89 mm. Granat bez czepca odbił się, pozostawiając po sobie wgłębienie 13 mm głębokości.

30,5 cm granat przeciwpancerny, $G = 471$ kg, $v_k = 217$ m/sek. Kąt padania 50° . Granat z czepcem przebił płytę ze stali niklowej 114 mm grubości. Granat bez czepca odbił się, pozostawiając wgłębienie głębokości 45 mm.

5,3 cm granat ($G = 2$ kg, $v_k = 627$ m, $v_{500} = 510$ m) z odległości 500 m przy prostopadłym trafieniu przebił 9,8 cm płyty ze stali miękkiej.

Cienkie płyty, które się wyginają pod wpływem uderzenia pocisku, nie są przebijane przy bardzo małych kątach padania.

e. Uwagi krytyczne, dotyczące wzorów na przebijanie płyt pancernych.

Przytoczone wyżej wzory są uzyskane przeważnie w drodze doświadczeń. Należy je uważać za matematyczne określenie wyników przeprowadzonych przez autorów strzelań. Wyjątek stanowi wzór Kruppa, który według Ehrensbergera¹⁾ wyprowadzono na podstawie teoretycznych obliczeń.

Sprawdzenie wzorów jest rzeczą niemożliwą, ponieważ warunki, w jakich się odbywa próba strzelania, nie pozwalają na ścisłe zachowanie ani tej samej szybkości uderzenia, ani tego samego kąta uderzenia, ani identycznych własności pocisków i płyt, użytych do badań. Niejednokowe własności pocisków i płyt tłumaczy się niemożnością utrzymania dla poszczególnych partii identycznych warunków fabrykacji.

W każdym razie wzory, które zdolność przebijania uzależniają zarówno od wielkości obwodu jak i przekroju poprzecznego pocisku — należy uznać za najbardziej słuszne. Ponieważ praca ścinania metalu na obwodzie pocisku jest mniejsza w porównaniu z pracą, odniesioną do przekroju poprzecznego tegoż, należy uważać za miarodajne również wzory zaliczone przez nas do grupy pierwszej.

¹⁾ E. Ravelli. Costruzioni d'artiglieria. Wyd. Mainardi 1932.

Jeżeli obliczymy głębokości przebiecia, stosując wzory należące do trzech różnych grup, to dla pocisku 152 mm o ciężarze 38,7 kg i szybkości końcowej 987 m/sek otrzymamy wyniki następujące:

a) dla płyty stalowej hartowanej ($R_r \sim 100 \text{ kg/mm}^2$)

I.

Według wzoru J. de Marre'a

$$h = \sqrt[0,7]{\frac{987 \cdot 38,7^{0,5}}{2350 \cdot 1,52^{0,75}}} = 2,5 \text{ dm} = \underline{25 \text{ cm.}}$$

Według wzoru używanego w zakładach Kruppa i zakładach francuskich

$$h = 0,4 \sqrt[3]{\frac{38,7 \cdot 987^2 \cdot \sqrt{15,2}}{200 \cdot 9,81 \cdot 3,14 \cdot 7,6^2}} = \underline{24,4 \text{ cm.}}$$

II.

Według wzoru Muggiano

$$h = \sqrt[2]{\frac{38,7 \cdot 987^2}{0,025 \cdot 2000 \cdot 9,81 \cdot 3,41 \cdot 15,2}} \sim \underline{40 \text{ cm.}}$$

Według wzoru $h = \alpha \cdot v_k \cdot d$ $h = 0,00167 \cdot 987 \cdot 15,2 = \underline{25 \text{ cm}}$

III.

Według wzoru Kruppa

$$h = \sqrt[2]{\frac{38,7 \cdot 987^2}{5800 \cdot 15,2}} = \underline{20,6 \text{ cm.}}$$

b) dla płyty ze stali miękkiej ($R_r \sim 40 \text{ kg/mm}^2$):

I.

Według wzoru J. de Marre'a

$$h = \sqrt[0,7]{\frac{987 \cdot 38,7^{0,5}}{1530 \cdot 1,52^{0,75}}} = \underline{46,46 \text{ cm.}}$$

Według wzoru używanego w zakładach Kruppa i zakładach francuskich:

$$h = 1 \sqrt[3]{\frac{38,7 \cdot 987^2 \cdot \sqrt{15,2}}{200 \cdot 9,81 \cdot 3,14 \cdot 7,6^2}} = \underline{61 \text{ cm}}$$

II.

Według wzoru Muggiano

$$h = \sqrt[2]{\frac{38,7 \cdot 987^2}{0,016 \cdot 2000 \cdot 9,81 \cdot 3,14 \cdot 15,2}} = \underline{48,13} \text{ cm.}$$

Według wzoru $h = \alpha \nu_k d$ $h = 0,00417 \cdot 987 \cdot 15,2 = \underline{62,5} \text{ cm.}$

III.

Według wzoru Kruppa

$$h = \sqrt[1/3]{\frac{38,7 \cdot 987^2 \cdot 4}{2 \cdot 9,81 \cdot 100 \cdot 3,14 \cdot 15,2^{5/3}}} = \underline{61} \text{ cm.}$$

O ile wyniki obliczeń dla płyt stalowych hartowanych różnią się nieznacznie (Muggiano prawdopodobnie używał do prób płyty mniej odpornej), o tyle wyniki obliczeń dla płyt ze stali miękkiej nie są zgodne. Przyczyny należy szukać w niedokładnym określeniu materiału płyty przy ustalaniu współczynników oporu. Można stwierdzić, że wzory J. de Marre'a i Muggiano dotyczą w tym wypadku płyt stalowych o wytrzymałości na rozerwanie $R_r \sim 45 \text{ kg/mm}^2$, natomiast inne wzory odnoszą się do płyt stalowych o wytrzymałości $R_r \sim 35 \text{ kg/mm}^2$.

f. Wyniki badań działania uderzeniowego pocisków na konstrukcje stalowe.

Lotki szrapnelowe i odłamki granatów.

Lotki nie są zdolne do przebicia tarczy ochronnej z hartowanej blachy stalowej 4 — 5 mm grubości, nawet przy jednoczesnym trafieniu większej ilości lotek. Lotki z twardego ołowiu rozbijają się lub spłaszczają i padają na ziemię. Natomiast duże odłamki granatów, skorupy, zapalniki i krążek wyrzutowy szrapnela przebijają tarczę na wylot.

W Szwecji badano tarcze ochronne ze stali twardej i miękkiej 4 mm grubości. W płycie z miękkiej stali lotki spowodowały wgłębienia z jednej strony, z drugiej zaś wydęcia.

Wąski stożek szrapnela, który wybuchł przed tarczą, spowodował wyrzucenie całej tarczy.

Odłamki granatów tworzą w miękkiej płycie większe otwory niż w twardej, od której lotki się odbijają, nie pozostawiając znacznych wgłębień. Zawiasy i nity przy płytach twardych są więcej wytrzymałe niż przy miękkich.

Pociski karabinowe.

Płyty żelazne niehartowane były przebijane:

8-milimetrowe przez 8 mm pociski austriackie wz. 88 z płaszczem stalowym ($x = 150$ m, $v_k = 485$ m);

7-milimetrowe przez 7,92 mm pociski S niemieckie ($x = 350$ m, $v_k = 670$ m);

20-milimetrowe przez 8 mm pociski z rdzeniem stalowym z bardzo małych odległości.

Płyty stalowe miękkie:

5-milimetrowe przez 8 mm pociski austriackie wz. 88 ($x = 150$ m, $v_k = 485$ m);

7,92 mm pociski S na bardzo małej odległości przy $v_k = 850$ m spowodowały w płycie 9,5 mm tylko wgłębienia;

8 mm pociski z płaszczem miedzianym ($G = 15,5$ g, $v_k = 512$ m), które przy wgłębianiu się mocno się zniekształcały, przebijały płytę 6 mm.

Płyty stalowe hartowane:

8 mm pociski z płaszczem stalowym nie przebijały 4 — 5 mm płyty z bardzo bliskich odległości, natomiast przebiły z 300 m płytę grubości 3 mm.

8 mm pociski z rdzeniem stalowym ($x = 350$, $v_k = 400$ m) przebiły płytę 6 mm.

8 mm pociski z rdzeniem stalowym ($x = 1000$, $v_k = 280$ m) przebiły płytę 3 mm.

7,92 mm pociski S ($x = 300$, $v_k = 673$) przebiły 4 mm płytę ze stali niklowej.

7,92 mm pociski S ($x = 500$, $v_k = 638$) przebiły 3 mm płytę ze stali niklowej.

Załączona tabelka podaje zdolność przebijania płyty hartowanej ze stali z domieszką 25% niklu (Ardaillon):

8 mm pocisk francuski wz. 1886 D.

Odległość w m	h dla kb.	h dla kbk.	h dla kbk. (płyta żelazna)
10	7 mm		
15	7 "		
50	6,6 "	4 mm	9 mm
100	6,0 "	1 "	4 "
200	5,2 "		
300	4,4 "		
400	3,6 "		
500	3,1 "		
600	2,8 "		
700	2,5 "		
800	2,3 "		
900	2,1 "		
1000	1,8 "		

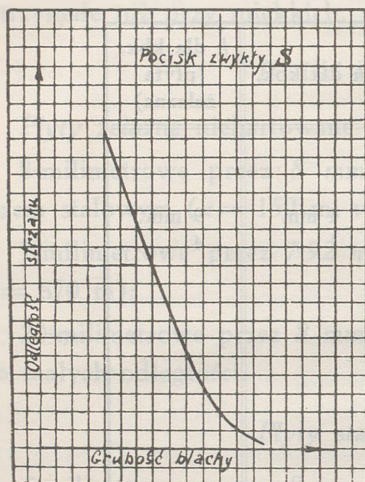
7,92 mm pocisk niemiecki S.

Odległość w m	h dla płyty żelaznej	h dla płyty stalowej
25		7 mm
50		
150		5 mm
200		
350	8 mm	

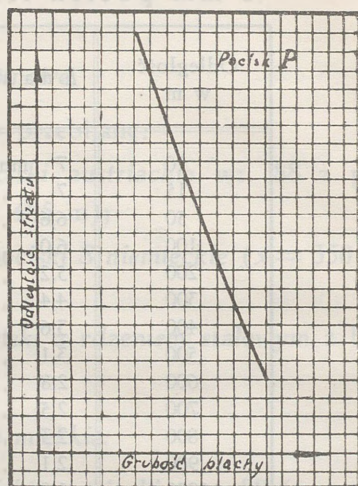
7,92 mm pocisk niemiecki S. M. K.

Odległość w m	h dla płyty żelaznej	h dla płyty stalowej
50		15 mm
30		8,5 "

Niżej podane przez J. Obrębskiego wykresy (ryc. 35 i 36) charakteryzują odporność płyt stalowych na działanie polskich pocisków S i P.



Ryc. 35.



Ryc. 36.

Pociski artyleryjskie.

Wyniki badań balistycznych umożliwiają wyprowadzenie wzoru na przebijanie płyt pancernych. Strzelanie przy tym odbywa się z małych odległości, przy prostych kątach trafienia.

Poniżej są umieszczone tabele dla granatów przeciwpancernych Kruppa do armaty morskiej C/06. Liczby górne szpał poziomych przedstawiają szybkości na danych odległościach, liczby dolne — zdolność przebijania pocisku w mm.

Jeżeli ma się inną szybkość początkową niż w tabelach, to należy ją przyjąć jako szybkość na odległości 0 i odtąd liczyć żadaną odległość: np. mamy granat 28 cm, $G = 345$ kg, $v_0 = 700$ m/sek. Granat przeciwpancerny z czepcem. Jaka jest zdolność przebicia pocisku przy płycie K. C. z odległości 3 km?

W tabeli 2 znajdziemy 703 m na odległości 4 km. W założeniu mamy $v_0 = 700$ na odległości 0. Żadana odległość 3 km odpowiada odległości 7 km w tabeli. W ten sposób znajdziemy niezbędną do przebijania szybkość $v_k = 588$ m/sek. i $h = 405$ mm.

Doświadczenia jednak wykazują, że przy przebijaniu pancerza nie jest obojętne, z jaką szybkością pocisk opuszcza lufę. Ten sam

granat 28 cm, jak wynika z załączonej tabeli, przy szybkości $v_0 = 878$ m/sek na odległości 7 km i przy szybkości $v_0 = 700$ m/sek na odległości 3 km ma jednakową szybkość końcową $v_k = 588$ m/sek, a zatem i jednakową zdolność przebijania, równą 405 mm. Tak jednak nie jest, albowiem pocisk przy mniejszej szybkości początkowej będzie posiadał zupełnie inną stabilizację na torze oraz w chwili uderzenia, będzie wywrotniejszy wskutek mniejszej szybkości obrotowej a zatem i jego zdolność przebijania będzie mniejsza, niż przy szybkości początkowej $v_0 = 878$ m/sek. Powyższe spostrzeżenie ma szczególne znaczenie przy zwalczaniu szybko poruszających się celów opancerzonych (czołgów, samochodów pancernych itp.).

1. Zdolność przebijania granatów przeciwpancernych.
Stal niehartowana.

Kaliber w cm	G kg		O d l e g ł o ś c i w km									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	
7,5	5,2	V m/sek.	991	768	581	433						
		h mm	238	165	111	73						
	6,6	V m/sek.	880	714	572	453						
		h mm	238	176	129	92						
10,5	14	V m/sek.	1000	833	685	556	449	367				
		h mm	341	262	198	147	109	81				
	18	V m/sek.	883	761	652	553	469	398				
		h mm	341	276	221	175	138	109				
12	21	V m/sek.	998	852	720	603	500	416				
		h mm	393	313	247	191	146	113				
	27	V m/sek.	880	774	676	588	509	440				
		h mm	393	327	270	221	180	146				
15	41	V m/sek.	989	873	766	667	578	499	431	375	336	
		h mm	496	415	344	282	230	187	152	124	106	
	51	V m sek.	887	799	717	641	571	507	450	401	361	
		h mm	496	427	366	312	264	223	188	160	137	
19	85	V m/sek.	988	896	810	729	654	585	521	464	414	
		h mm	644	559	484	416	356	304	285	219	186	
	107	V m/sek.	881	813	748	687	629	575	525	479	437	
		h mm	644	574	510	451	398	350	307	269	237	

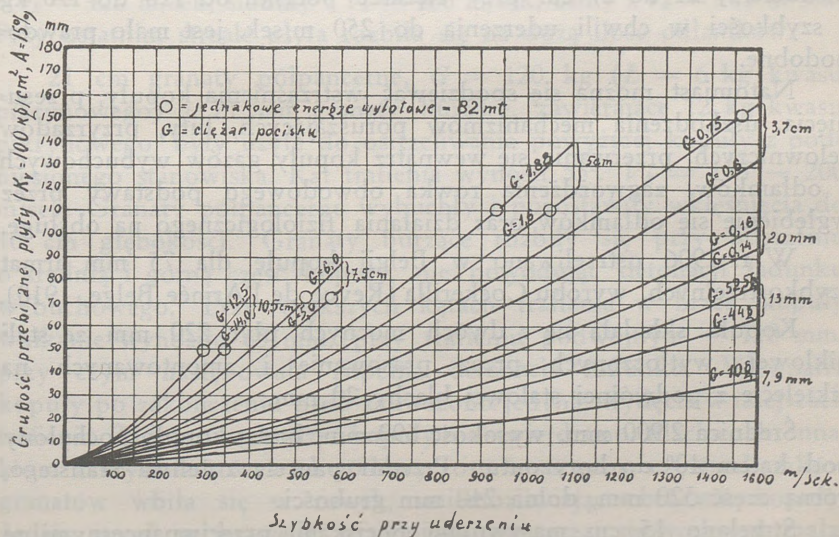
Kaliber w cm	G kg		O d l e g ł o ś ć w km								
			0	1	2	3	4	5	6	7	8
24	170	V m/sek.	992	918	848	781	718	658	602	548	501
		h mm	826	740	661	588	521	460	405	355	311
	215	V m/sek.	882	827	775	725	677	632	588	547	509
		h mm	826	753	686	624	566	513	463	417	376
28	270	V m/sek.	992	929	868	809	754	700	650	602	557
		h mm	974	887	805	728	657	592	532	477	427
	345	V m/sek.	878	832	787	744	703	663	624	588	553
		h mm	974	902	834	769	708	652	599	550	504
30,5	350	V m/sek.	991	933	877	823	771	722	675	629	586
		h mm	1069	981	898	820	747	680	617	559	505
	445	V m/sek.	879	836	795	755	717	679	644	609	576
		h mm	1069	995	925	860	798	740	685	633	585

2. Zdolność przebijania pocisków przeciwpancernych z czepcem.
Hartowana stal niklowa Kruppa.

Kaliber w cm	G kg		O d l e g ł o ś c i w km								
			0	1	2	3	4	5	6	7	8
10,5	14	V m/sek.	1000	833	685	556	449	367			
		h mm	250	190	145	110	80	60			
	18	V m/sek.	883	761	652	553	469	398			
		h mm	250	205	160	130	100	80			
12	21	V m/sek.	998	852	720	603	500	416			
		h mm	290	230	180	140	105	85			
	27	V m/sek.	880	774	676	588	509	440			
		h mm	290	240	200	160	130	105			
15	41	V m/sek.	989	873	766	667	578	499	431	375	336
		h mm	365	305	255	205	170	135	110	90	80
	51	V m/sek.	887	799	717	641	571	507	450	401	361
		h mm	365	315	270	230	195	165	140	115	100

Kaliber w cm	G kg		O d l e g ł o ś ć w km									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	
19	85	V m/sek. h mm	988 475	896 410	810 355	729 305	654 260	585 225	521 190	464 160	414 135	
	107	V m/sek. h mm	881 475	813 420	748 375	687 330	629 290	575 255	525 225	479 195	437 175	
24	170	V m/sek. h mm	992 605	918 545	848 485	781 430	718 380	658 340	602 295	548 260	501 230	
	215	V m/sek. h mm	882 605	827 555	775 505	725 460	677 415	632 375	588 340	547 305	509 275	
28	270	V m/sek. h mm	992 715	929 650	868 590	809 535	754 480	700 435	650 390	602 350	557 215	
	345	V m/sek. h mm	878 715	832 660	787 610	744 565	703 520	663 480	624 440	588 405	553 370	
30,5	350	V m/sek. h mm	991 785	933 720	877 660	823 600	771 550	722 500	675 455	629 410	586 370	
	445	V m/sek. h mm	879 785	836 730	795 680	755 630	717 585	679 545	644 505	609 465	576 430	

Poniżej zamieszczamy wykres działania przebijającego pocisków różnych kalibrów (ryc. 37).



Ryc 37.

Działanie uderzeniowe pocisków na kopuły.

Kopuły wież ochronnych różnego rodzaju ze względu na małe stosunkowo wymiary stanowią cel trudny do trafienia, ze względu zaś na trwałość konstrukcji — trudny do zniszczenia.

Kopuły pancerne składają się częściowo z twardych, częściowo zaś z miękkich materiałów.

Często się daje pierwszeństwo miękkim metalom. Uzasadnia się to tym, że kopuły fortecznych umocnień lądowych przy systematycznym ostrzeliwaniu są narażone na liczne trafienia, które z łatwością może wytrzymać metal miękki. Natomiast kopuły z twardego metalu w tym wypadku mogą dawać niebezpieczne rysy i pęknięcia, mogące spowodować rozbicie kopuły.

Do zwalczania dział, znajdujących się w takich kopułach, używa się zarówno armat o płaskim torze jak i dział stromotorowych.

Doświadczenia wykazują, że 24 cm granat przeciwpancerny o ciężarze $G = 140$ kg przebija niehartowaną płytę stali niklowej 200 mm grubości przy prostopadłym trafieniu z szybkością 500 m/sek. Jeżeli ten sam granat uderzy z szybkością 250 m/sek., to przebije 81 mm wyżej wymienionej płyty. Z powyższego wynika, że granaty 24 cm nie przebijają kopuł 200 mm grubości, jeśli $v_k < 500$ m/sek i jeśli materiał kopuły nie pęka pod wpływem uderzenia pocisku. Należy stwierdzić, że rozbicie kopuł o grubości 200 mm za pomocą moździerzy 21 do 27 cm przy ciężarze pocisku od 120 do 170 kg i szybkości w chwili uderzenia do 250 m/sek. jest mało prawdopodobne.

Natomiast można się spodziewać wstrząśnienia kopuły, przesunięcia, uszkodzenia mechanizmów poruszających, lufy, przyrządów celowniczych, przerwania się wewnątrz kopuły gazów wybuchowych i odłamków, zagwożdżenia rowka obwodowego podstawy przez wgłębienie się odłamków oraz działania fizjologicznego na obsługę.

W r. 1906 ostrzeliwano w Belgii kopułę dla 75 mm armat szybkostrzelnych, wyrobu Cockerilla (Revue de l'Armée Belge, 1910).

Kopuła składała się z dwóch mocnych płyt 220 mm ze stali niklowej, wytłoczonych przez prasowanie i zmontowanych na szkieletie z podwójnej stalowej blachy 20 mm.

Średnica 2.900 mm, wysokość 690 mm, brzeg kopuły pochylony pod kątem 40° do horyzontu. Przedni pancerz z żeliwa stalistego, górna część 320 mm, dolna 240 mm grubości.

Strzelano 15 cm masywnymi pociskami przeciwpancernymi ze stali chromowej, z przytępionym cokolwiek owalnym ostrołukiem,

$G = 39$ kg. Kąt padania $1^{\circ}30'$, kąt przy trafieniu w kopułę $41^{\circ}30'$, $v_k = 421$ m/sek. Granaty pozostawiły bruzdy 350 mm długości, 140 mm szerokości i do 40 mm głębokości w pobliżu brzegu kopuły. Pociski, które trafiły wyżej, ześlizgnęły się.

Podwójne strzały nie dały szczególnego efektu. Wszystkie granaty zostały rozbite.

15 cm granaty (szczegółowe dane jak wyżej) z ostrym wierzchołkiem zagłębiły się na 20 mm i wybuchły po odbiciu się. Żadnego działania odłamkowego nie zaobserwowano. Kopuła składała się z płyt ze stali niklowej niehartowanej 200 mm grubości. Przy tej próbie 15 cm granat przy prostopadłym trafieniu i

przy $v_k = 520 - 540$ przebił płytę,

przy $v_k = 500 - 510$ zagłębił się na długość ostrołuku, część cylindryczna zaś wystawała,

przy $v_k = 420 - 460$ spowodował odbicie materiału z odwrotnej strony płyty.

Następnie przedni pancerz położono na beton 1 m grubości i ostrzelano. Granaty dały mniejsze lub większe wklęsnięcia. Poprzednie badania 200 mm płyty pancerza przedniego z żeliwa stalistego miały przebieg następujący: do rogu kwadratu o boku 25 cm, wystrzelono z początku 5 granatów z $v_k = 375$ m/sek, szósty z $v_k = 420$ m/sek, siódmy z $v_k = 460$ m/sek, ósmy z $v_k = 485$ m/sek. Przy ostatnim strzale płyta rozbiła się na dużą ilość odłamków.

21 cm granaty półpancerne, $G = 120$ kg ($\text{Ł} = 6$ kg kwasu pikrynowego) i 21 cm granaty burzące, zawierające 12 kg kwasu pikrynowego, były użyte do ostrzeliwania powyższej kopuły z podniesionego stanowiska. Kąt trafienia wynosił 55° . $V_k = 175 - 200$ m/sek. Granaty półpancerne wybuchły i pozostawiły wklęsnięcia do 40 cm głębokości. Granaty burzące rozbiły się przy uderzeniu o średnią i górną część kopuły, nie powodując detonacji ładunku wybuchowego. Przy większych kątach trafienia w brzeg kopuły wnikanie wynosiło 65 mm, przy trafieniu podwójnym — 110 mm, przy czym następowała zupełna detonacja ładunku. Wewnątrz kopuły po zakończeniu prób zauważono jedynie wydęcia w miejscach trafienia. Żadnych uszkodzeń kopuły nie stwierdzono. Blacha ochronna, która zakrywała rowek obwodowy została zerwana; część odłamków granatów wbiła się w rowek, uniemożliwiając obracanie kopuły. Jeden strzał w krawędź przedniego pancerza spowodował małą cienką szczelinę, która nie przeszkadzała obracaniu kopuły.

Petardy wybuchowe po 27 kg trotylu, 870 mm długości i 215 mm średnicy były zdetonowane na wierzchu kopuły, w pobliżu otworu i na pancerzu przednim, bez żadnego skutku.

Dawniej używane kopuły składały się z 200 mm walców żelaznych, zabezpieczonych przez przedni pancerz z twardego żeliwa. Kopuły musiały wytrzymać 5 strzałów 15 cm armaty ($G = 39$ kg, $v_k = 329$ m/sec), wymierzonych w kwadrat o boku = 25 cm. Kopuły 12 cm o średnicy 5 m musiały wytrzymać działanie 220 względnie 270 mm granatów z ładunkiem wybuchowym = 33 względnie 60 kg przy $v_k = 180$ m/sec (G 220 mm = 140 kg, G 270 mm = 230 kg).

Zakłady Kruppa ostrzeliwały kopuły z hartowanej stali niklowej, o średnicy 2412 mm, wysokości 685 mm, grubości 200 mm. Otrzymano wyniki następujące:

15 cm granat pancerny stalowy, $G = 45,5$ kg, $v_k = 753$, $\omega = 45^\circ$: wnikanie = 30 mm, żadnego pęknięcia nie zaobserwowano, pocisk rozbity.

21 cm granat pancerny stalowy, $G = 94,4$ kg, $v_k = 521$ m/sec., $\omega = 55^\circ$: wnikanie = 30 mm, żadnych pęknięć, pocisk rozbity.

Te same granaty, $v_k = 307$ m/sec, $\omega = 90^\circ$. Żadnych pęknięć, bardzo nieznaczne wklęsnięcia, pocisk rozbity.

Na tej samej kopule położono i zdetonowano 25,4 cm granat stalowy, $G = 270$ kg ($L = 31$ kg kwasu pikrynowego). Żadnych pęknięć nie zaobserwowano. Pozostało wklęsnięcie 5–8 mm głębokości.

Według danych francuskich podczas badań kopuł do haubic granat 27 cm moździerza $G = 170$ kg ($L = 41$ kg melinitu) przy trafieniu wybuchł normalnie. Kopusła została przesunięta, lecz nienaruszona i miała tylko nieznaczne wklęsnięcie.

Pancerz z twardego żeliwa.

Poszczególne płyty, 80-tonowe, z których składa się pancerz wieży nadbrzeżnej Grusona, wytrzymują działanie znacznej ilości pocisków stalowych o ciężarze 1000 kg.

Kopuły wież moździerzowych o ciężarze 6 t po 5 trafieniach 21 cm granatów nie wykazywały najmniejszych uszkodzeń.

Granaty pancerne stalowe wnikały do twardego żeliwa na nieznaczną głębokość oraz powodowały odbicie materiału w miejscu uderzenia i pęknięcia, które się powiększały przy strzałach następnych.

149 mm granaty stalowe włoskie ($G = 39$ kg, $x = 1500$ m), dały wyniki następujące:

$v_k = 367$ m.	Kąt padania	90° ,	głębokość wnikania	135 mm,
$v_k = 367$ m.	„	75° ,	„	90 „
$v_k = 367$ m.	„	60° ,	„	15 „

Przy mniejszych kątach stwierdzono ześlizgnięcie i rozbitcie się pocisków.

Na poligonie zakładów Grusona ostrzeliwano płyty z twardego żeliwa, przeznaczonych do nadbrzeżnej wieży pancерnej. Cel składał się z połowy wieży pancерnej, podpartej od strony otwartej pięcioma płytami burtowymi i pokładowymi. Wypukła płyta badana miała 2,4 m wysokości, 2,9 m szerokości i największą grubość 1,16 m. Użyto 30,5 cm granatów stalowych Kruppa $L/3,5$, $G = 445$ kg. Szybkość $v_k = 445$ m/sek, $E = 4490$ tm. Pierwszy strzał, który trafił w płytę prostopadle w środek wierzchołka, spowodował pęknięcie płyty na całej grubości. Odprysk materiału w miejscu trafienia po stronie wewnętrznej wynosił 35 mm głębokości i 48 cm szerokości. Od miejsca trafienia rozchodziły się liczne szczeliny nieznacznej długości. Dwa dalsze strzały, które trafiły pod kątem 51° i 72° w inne miejsca, spowodowały również pęknięcia, jednak nie rozprzestrzeniające się w kierunku krawędzi, oraz odprysk materiału 70 i 50 mm głębokości. Każdy następny strzał powiększał pęknięcie. Czwarty strzał, który pod kątem 75° trafił w miejsce nietknięte, rozbił płytę na 6 części. Wszystkie pociski zostały skruszone.

12. Wytrzymałość skorup pociskowych na uderzenie.

Dążenie do umieszczenia w pociskach burzących jak największego ładunku wybuchowego wymaga skorupy o cienkich ścianach. Z drugiej strony wytrzymałość skorupy na uderzenie wymaga odpowiedniej grubości ścian oraz wzmocnienia ostrołuku pocisku kosztem zmniejszenia ładunku wewnętrznego.

Próby wytrzymałości skorup pocisków artyleryjskich i bomb przeprowadza się przez strzelanie do celu. Poza tym przy badaniu bomb stosuje się rzucanie na cementowy pokład z wysokości 1500 — 2000 m bądź też przez rzucanie z małej wysokości na płytę stalową.

Próby ostatnią można uzasadnić w sposób następujący. Oznaczamy ciężar pocisku G i wysokość rzucania H (10—12 m). W chwili

zderzenia się z płytą pocisk ma szybkość v_k . Energia uderzenia = $\frac{G v^2}{2g}$. Wskutek uderzenia otrzymamy na płycie wgłębienie h_1 mm, zaś ostrołuk pocisku zniekształci się i zostanie skrócony na wielkość h_2 mm, nie ulegając rozbiciu. Otrzymany $h_1 + h_2 = h$, co równa się drodze, na której pocisk stracił swoją energię.

Pracę pocisku i pracę oporu możemy określić równaniem

$$\frac{G v^2}{2g} = R \cdot h,$$

gdzie R — siła oporu, przeniesiona na pocisk.

Z równania wynika, że

$$R = \frac{G v^2}{2g \cdot h}.$$

Przez rzucanie z różnych wysokości można określić największe znaczenie R_0 , przy którym skorupa pocisku nie rozbija się i nie zniekształca się.

Obliczając następnie energię uderzenia pocisku przy żądanej szybkości końcowej v_k otrzymamy

$$E = \frac{G v_k^2}{2g}.$$

Jeżeli podzielimy tę wielkość przez R_0 , to otrzymamy głębokość wnikania

$$h = \frac{G v^2}{2g \cdot R_0},$$

którą się otrzyma przy rzeczywistym upadku pocisku i przy której skorupa zostanie cała, ponieważ przeciwdziałanie oporu, przeniesione na pocisk, nie będzie większe od R_0 .

Jeżeli grunt lub przeszkoda pozwalają na zagłębienie h , to pocisk zostanie cały, jeżeli natomiast opór środowiska będzie większy i takie zagłębienie w nim niemożliwe, to energia uderzenia pocisku będzie zużyta prędzej, na krótszej drodze, i siła oporu przekroczy wielkość R_0 , wobec czego skorupa pocisku ulegnie rozbiciu.

Na przykład, energia uderzenia przy próbie

$$\frac{G v^2}{2g} = 1.320 \text{ kgm.}$$

$$h = h_1 + h_2 = 10 \text{ mm; } R_0 = 132 \text{ tony.}$$

Jeżeli pocisk przy $V_k = 200$ m/sek posiada energię uderzenia = 224500 kgm, to jego zagłębienie powinno wynosić

$$h = \frac{224500}{132000} = 1,70 \text{ m.}$$

Jeżeli takie zagłębienie w celu jest niemożliwe, to skorupa pocisku ulegnie rozbiciu.

Skorupy pocisków przeciwpancernych bada się za pomocą strzelania do płyt pancernych. Skorupy w żadnym razie nie powinny się rozbić. Badanie skorup przeprowadza się w ten sposób, że napełnia się je materiałem obojętnym i strzela się do płyt; o ile skorupy ulegają rozbiciu — poddaje się je dalszym ulepszeniom materiału lub też zmienia się ich zarys wewnętrzny.

Materiał wybuchowy, znajdujący się w skorupie, nie powinien samoczynnie wybuchnąć na płycie w chwili uderzenia. Próba ładunku wewnętrznego polega na strzelaniu pociskiem ostrym bez zapalnika.

Naprężenia ściskające, powstające w pocisku przy wnikaniu do środowiska opornego wskutek siły bezwładności, można obliczyć dla danego przekroju ze wzoru:

$$\sigma_c = \frac{G_1 (v_k^2 - v_p^2)}{2 g \cdot l \cdot \pi (R^2 - r^2)}$$

gdzie

σ_c — naprężenie w kg/mm²,

G_1 — ciężar części, znajdującej się ponad danym przekrojem,

l — droga w m,

R — zewnętrzny promień skorupy w mm,

r — wewnętrzny „ „ „ „

Przykład. Przy przebijaniu 10 cm warstwy betonu 200 kg bomba lotnicza ($G = 204$ kg, $G_1 = 150$ kg, ϕ 340 mm, grubość ścian 3 mm, $v_k = 200$ m/sek.) w przekroju niebezpiecznym u podstawy ostrołuku będzie miała naprężenie ściskające

$$\sigma_c = \frac{150 \cdot 43,6^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,053,14 (170^2 - 167^2)} = 87 \text{ kg/mm}^2.$$

Przy tym obliczeniu przyjmujemy szybkość pozostałą v_p równą szybkości końcowej v_k , potrzebnej do przebicia 5 cm warstwy betonu, którą można obliczyć ze wzoru $l = \frac{\alpha G v}{d^2}$. Bierzemy do rachunku połowę grubości ze względu na tworzenie się przy przebijaniu stożka odprysku.

Ponieważ działanie części metalowej i rdzenia materiału wybuchowego jest niejednakowe zamiast całkowitego ciężaru G_1 można wziąć tylko $\frac{2}{3} L_1 + G_2$ (L_1 — część ładunku ponad danym przekrojem, G_2 — część skorupy ponad tymże przekrojem). W tym wypadku otrzymalibyśmy $\sigma_c \sim 62 \text{ kg/mm}^2$.

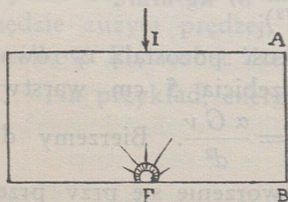
Rdzeń materiału wybuchowego można uważać za amortyzator przy uderzeniu dla części G_2 , na co wskazują wyniki prób. To by upoważniało do przyjęcia ciężaru G_2 zamiast G_1 , o ile chodzi o cele mniej odporne.

Dla powyższego celu otrzymalibyśmy wówczas $\sigma_c = 29 \text{ kg/mm}^2$.

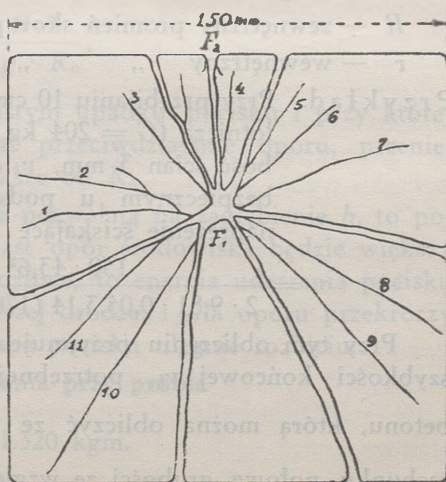
13. Pękanie ciał twardych pod wpływem uderzenia.

Proces pękania ciał twardych jest bardzo złożony. Zależy on od siły uderzenia i wielkości płaszczyzny zaatakowanej, a także od zmian wywołanych w materiale, z którego ciało jest zbudowane. Sam przebieg i kierunek pękania ciała jest nadzwyczaj charakterystyczny.

Przede wszystkim punkt uderzenia i punkt zaczepienia tych sił, które bezpośrednio powodują pękanie, nigdy się nie zbiegają. Fremenville nazywa punkt ostatni ogniskiem pęknięcia. Jeżeli uderzymy młotkiem w środek kwadratowej płyty szklanej, to zauważymy, że ośrodek pęknięcia znajduje się po stronie przeciwnej. Jeżeli płyta jest dostatecznie gruba, to w ośrodku pęknięcia utworzy się szczelina, przenikająca w głąb materiału, lecz nie zawsze na wskroś. Na ryc. 38 — I oznacza punkt uderzenia, zaś F — ognisko pęknięcia; szczeliny numerowane (ryc. 39) nie przecinają płyty na wskroś i nie

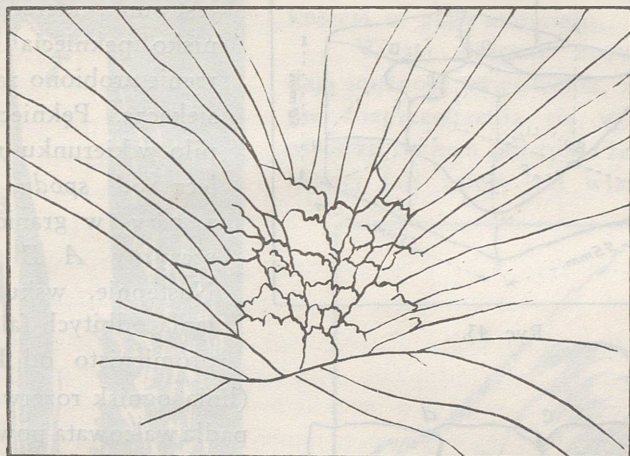


Ryc. 38.



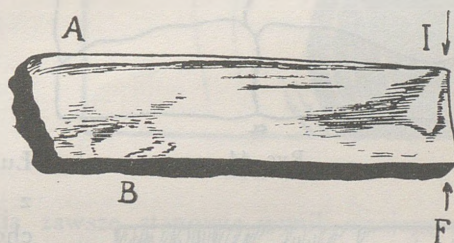
Ryc. 39.

sięgają płaszczyzny uderzenia. Szczególnie wyraźne są ślady szczelin na ryc. 40, która przedstawia sieć szczelin na powierzchni płyty szklanej, 2 mm grubości, od strony przeciwnej uderzeniu.

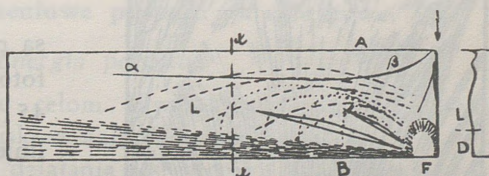


Ryc. 40

Bardzo charakterystyczne jest fotograficzne zdjęcie złomu szklanego bloku 2 cm grubości (ryc. 41). Na zawieszony blok skierowano uderzenie w punkcie I, warstwa zaś wykruszonego szkła znajduje się po stronie przeciwnej między F i B. Pod mikroskopem można było stwierdzić w ośrodku popękania szkła szereg falistych linii, skierowanych do górnej powierzchni bloku (ryc. 42). Najbardziej znanym



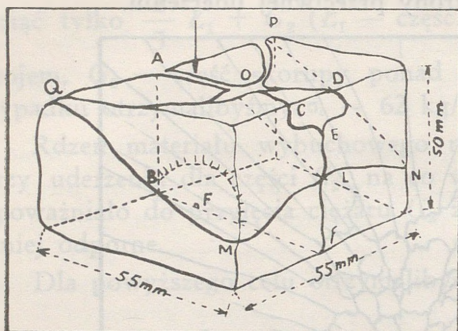
Ryc. 41.



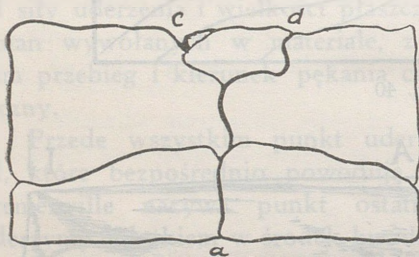
Ryc. 42.

na okazuje się fala powrotna, czyli odbita $\alpha\beta$, która spowodowała utworzenie ostrej krawędzi. Krawędź ta, nadzwyczaj cienka i ostra (patrz przekrój z prawej strony ryc. 42), utworzyła się, rzecz jasna, w końcu całego procesu pękania, inaczej byłaby skruszona przez bezpośrednie działanie uderzenia.

Ryc. 43 i 44 przedstawiają blok palestyńskiego asfaltu rozbitego na kilka kawałków.



Ryc. 43.



Ryc. 44.

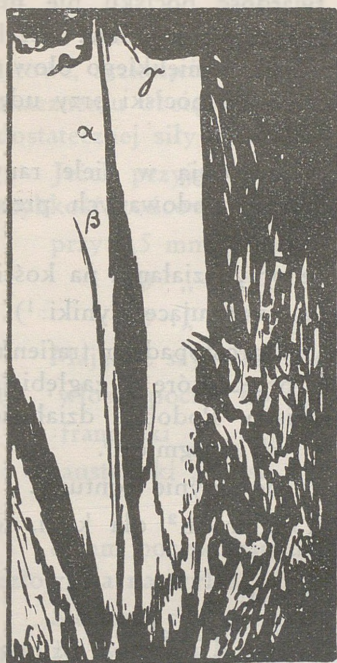


Ryc. 45.

Na ryc. 43 widoczny jest punkt uderzenia *I* i ognisko pęknięcia *F*. Uderzenie zrobiono za pomocą siekacza. Pęknięcie nastąpiło w kierunku uderzenia, lecz od spodu, nie zaś z góry, w granicach płaszczyzny *A B F L O*. Następnie, wskutek działania odbitych fal, idących promienisto od linii *F F* (linia ognisk rozerwania) odpadła walcowata powierzchnia *A P Q L M N*, po czym między punktami *C* i *D* utworzyło się odbite ognisko pęknięcia, które spowodowało utworzenie się nowej walcowatej powierzchni *O C E D*. Łukowate szczeliny *Q O* i *P O* z ośrodkiem w *I* są powierzchowne i nie doprowadziły do głębokiego pęknięcia.

Niemniej charakterystyczne są również powiększone zdjęcia fotograficzne złomu smoły (ryc. 45 i 46). Na ryc. 45 widoczne są linie złomu, rozprzestrzeniające się wachlarzem z ogniska *F*, nie zaś z punktu uderzenia. To samo obserwujemy na ryc. 46, na której łatwo rozpoznać falę odbitą (oznaczoną literami α i β), która spowodowała utworzenie ostrej krawędzi.

Na ryc. 47 widoczny jest charakterystyczny dla szkła złom, który tworzy się w wyniku działania kolejno następujących krótkich fal odbitych, idących z ogniska pęknięcia w głąb materiału.



Ryc. 46.

Wyżej opisanе doświadczenia dają możność twierdzenia, że uderzenie rozprzestrzenia się w twardym ośrodku ruchem falistym i że działanie każdej fali zależy od własności fi-



Ryc. 47.

zycznych materiału. Pęknięcia zawsze stanowią wynik wzajemnego oddziaływania fal pierwotnych i odbitych.

14. Działanie uderzeniowe pocisku na cele żywe.

a. Energia pocisku.

Z działaniem przeciwko celom żywym łączy się zagadnienie stosowania skutecznych pocisków najmniejszych kalibrów.

Teoretyczną miarą tego działania jest iloczyn energii uderzenia przez przekrój pocisku $E_u F$.

Pociski karabinowe, pistoletowe, rewolwerowe i lotki szrapnelowe mają jednakowe następujące własności:

1. kształt tych pocisków nie ma znacznego wpływu na ich działanie,
2. wnikanie w miękkie części ciała zależy jedynie od ilości energii uderzenia E_u , przypadającej na płaszczyznę przekroju pocisku,

3. złamanie twardych kości zależy od całkowitej energii uderzenia, czyli od ciężaru i szybkości końcowej pocisku.

Przy szybkościach poniżej 350 m twardość pocisku nie ma żadnego znaczenia dla działania w miękkich częściach ciała. Jeżeli zaś szybkość przekracza 350 m przy pociskach z miękkiego ołowiu lub 450 m przy pociskach z twardego ołowiu, to pociski przy uderzeniu ulegają zniekształceniu.

Pociski zniekształcone, jak wiadomo, powodują w ciele rany większych rozmiarów, lecz płytsze od ran spowodowanych przez pociski nieznkształcone.

Twardość pocisków ma duże znaczenie przy działaniu na kości. Journée przy doświadczeniach otrzymał następujące wyniki:¹⁾

o ile $E_u > 2,15 \text{ kgm/cm}^2$, to pociski przy prostopadłym trafieniu do nieokrytego ciała ludzkiego przenikają przez skórę i zagłębiają się na kilka centymetrów w miękkich częściach. Podobne działanie przeciwko koniom wymaga co najmniej $E_u = 10 \text{ kgm/cm}^2$.

Przy mniejszej energii uderzenia osiąga się jedynie kontuzję.

Jeżeli $E_u = 5 \text{ kgm/cm}^2$ dla ludzi i 15 kgm/cm^2 dla koni, to pociski wnikają głęboko w części miękkie.

Najmniejsza ilość energii uderzenia wynosi:

- 5 kgm do złamania drobnych kości ludzkich,
- 16 kgm do rozbicia większych kości ludzkich,
- 17 kgm do złamania drobnych kości końskich i
- 35 kgm do rozbicia większych kości końskich.

Okrycie, oporządzenie i inne przesłony osłabiają działanie uderzeniowe pocisków.

Z powyższego wynika, że pewne zranienie osiąga się przy $E_u = 5 \text{ kgm/cm}^2$ dla ciała nieokrytego. Dla okrytego (w ubraniu) wielkość powyższą należy zwiększyć o $\frac{1}{5}$. Jeżeli przyjąć pod uwagę wpływ oporządzenia, które co prawda tylko nieznacznie powierzchnię zajmuje, i grubszego ubrania zimowego, to musimy przyjąć jako najmniejszą energię uderzenia $E_{\min} = E_u + 0,5 E_u = 7,5 \text{ kgm/cm}^2$.

Dla poniższych szybkości końcowych mamy następujące E_u :

6,5 mm pocisku kb	$P_s = 30,0 \text{ g/cm}^2 v_k = 70 \text{ m}$	$E_u = 2,45 \text{ kgm}$
8 „ „ „	$= 30,0$ „ „	70 „ = 3,92 „
8 „ „ „	pistoletowy = 16,0 „ „	96 „ = 3,67 „

¹⁾ Patrz Revue d'artillerie, 1907. Rapport entre la force vive des balles et la gravité des blessures qu'elles peuvent causer.

9	g	lotki szrapnela	=	8,6	g/cm ²	v_k	=	131	m	E_u	=	7,69	kgm
13	"	"	=	9,7	"			123	"	=	9,85	"	
16	"	"	=	10,4	"			119	"	=	11,30	"	

Z zestawienia wynika, że wymienione pociski karabinowe i pistoletowe, aczkolwiek posiadają zdolność głębokiego wnikania dzięki znacznemu obciążeniu przekroju poprzecznego, to jednak nie mają dostatecznej siły żywej do złamania kości ludzkich (5 kgm).

Jeżeli przyjąć $E_{min} = 7,5$ kgm, to w tym wypadku najmniejsza szybkość końcowa powinna wynosić:

przy 6,5 mm pocisku kb = 121 m,

8,0 " " " = 99 m,

8,5 " " " = 137 m.

Mając te szybkości możemy określić z tabel skuteczne odległości:

np. włoski pocisk kb 6,5 mm ma na 2000 m $v_k = 177$ m,

francuski " " 8 " " " $v_k = 160$ m,

austriacki " pist. 8 mm wz. 7 $v_{12} = 300$ m,

" " " " " wz. 98 $v_{12} = 240$ m.

8 mm pocisk francuski przy $V_k = 160$ m/sec przebija pierś człowieka na wylot.

Stosunek siły uderzenia $E_u F$ wymienionych pocisków przy danych poniżej warunkach jest następujący:

6,5 mm pocisk karabinowy $E_u = 7,5$ kgm $E_u F = 2,50$

8,0 " " " = 7,5 " = 3,85

8,0 " " pistoletowy = 7,5 " = 3,85

9 g lotka szrapnela = 7,69 " = 8,15

13 " " " = 9,85 " = 13,10

16 " " " = 11,30 " = 17,40.

Zdolność rażenia przy tym samym kalibrze i pocisku zależy od szybkości końcowej. Bircher podaje dla 12,5 mm lotki szrapnelowej następujące średnice ran:

	przy wlocie	przy wylocie
przy $v_k = 100$ m	1,0 cm = 0,8 kalibru	1,5 cm = 1,2 kalibru
= 200 "	1,7 cm = 1,4 "	2,0 cm = 1,6 "
= 300 "	2,5 cm = 2,0 "	3,0 cm = 2,4 "
= 400 "	3,0 cm = 2,4 "	5,0 cm = 4,0 "

Zwiększenie kalibru przy jednakowej energii uderzenia powoduje większe zranienie.

Zatem zdolność rażenia zależy od kalibru, ciężaru pocisku i jego szybkości końcowej. Jako najmniejszą energię uderzenia dla usunięcia ludzi z szeregu wymagano dla lotek 12,5 g:

w Niemczech 8 kgm,

we Francji 15 kgm/cm²,

w Rosji 24 kgm.

Bircher jako minimum energii dla lotek 12,5 g przyjmuje 6,25 kgm, dowodząc, że lotka ołowiana jest skuteczna przy szybkości 100 m/sek i przekroju 85 mm², a zatem kaliber jej nie powinien być mniejszy od 10 mm.

Do zwalczania koni Francuzi wymagali 19 kgm. Journée obliczał energię uderzenia dla lotek, niezbędną do złamania średniej wielkości kości na 17 kgm. Konie na ogół są mniej czułe na skutki strzału niż człowiek, ponieważ skóra ich jest bardzo odporna na działanie uderzenia. Pociski kb z twardego ołowiu mogą się zagłębiać na 20 cm w miękkich częściach końskich, jeżeli usunąć skórę. Przy zwalczaniu koni, najmniejsze szybkości skuteczne przedstawiają się następująco:

P o c i s k	G	V_k	E_u	E_u
	g	m	kgm	kgm/cm ²
8 mm karabinowy	15	162	20	40
8 „ pistoletowy	8	222	20	40
6,5 „ karabinowy	10	198	20	60
9 g lotka szrapnelowa	9	209	20	18,9
13 „ „	13	185	20,5	17
16 „ „	16	179	20,5	17

Zdolność rażenia pocisków broni małokalibrowej i lotek szrapnelowych może być określana przez porównanie z wnikaniem lub przebijaniem miękkiego drzewa. Delorme de Quesnay stwierdził, że jeżeli pocisk zagłębia się w drzewie jodłowym na 0,8 cm, to taki pocisk w ciele ludzkim powoduje zwykłą kontuzję, zdolny natomiast do zagłębienia na 1,6 cm może powodować już niebezpieczne zranienia. Stara reguła wymaga, żeby skuteczna lotka miała zdolność przebijania calowej deski na wylot.

9 g lotki z twardego ołowiu przy $V_k = 130$ m wnikają w drzewo jodłowe średnio na 2,7 cm.

8 g lotki przy $V_k = 96$ cm wnikają do mocnej deski sosnowej w przybliżeniu na 2 cm.

8 g pocisk rewolwerowy, $V_k = 200$ m, przebija deskę 6 cm z odległości 50 m.

11 mm pocisk rewolwerowy, $V_k = 190$ m ($G = 20$ g) z odległości 50 kroków przebija 10 cm miękkiego drzewa.

b. Zdolność rażenia pocisków karabinowych.

Przy trafieniu lub podczas zagłębienia pocisk pod wpływem sił bocznych zmienia kierunek i idzie dalej drogą skośną lub bokiem. Potrącenie bokiem o kość lub niektóre części ciała jak również strzał przez włosy lub podeszwę powodują uderzenia boczne. Pociski zagłębiające się ukośnie lub bokiem powodują u wylotu zwiększoną ranę rwaną.

Jeżeli pocisk przeszedł przez jedno ciało i trafia następnie w drugie, znajdujące się za nim, to uderza zwykle bokiem, wobec czego otrzymuje się ranę i otwór wylotowy nadzwyczajnych wielkości. Działanie pocisków idących bokiem jest większe na mniejszych odległościach, niż na większych. Uderzenia boczne zdarzały się rzadziej przy pociskach starego wzoru. Jest charakterystyczne, że pocisk z owalnym ostrołukiem (np. austriacki wz. 88) przebija wąsko i gładko dziesięć 8-centymetrowych bali sosnowych, złożonych razem lub umieszczonych w odstępach — z odległości 10 m; natomiast pocisk S przy odstępie 30 cm między balami wychodzi z drugiego bala już skośnie, dając rozerwany wylot, w czwarty zaś trafia bokiem i dalej nie przechodzi. Przyczyny tego zjawiska należy szukać w położeniu środka ciężkości, w mniejszym ciężarze i większej szybkości końcowej.

Włókna gęstych materiałów wełnianych znajdowano zarówno przy wlocie jak i wylocie rany.

Pociski karabinowe 6,5 — 8 mm, oprócz działania uderzeniowego, mają jeszcze działanie hydrodynamiczne, jeżeli przenikają organa wypełnione płynem lub masą ciastowatą. W tym wypadku następuje rozerwanie ścian tych organów. Działanie dynamiczne według Wuicha jest proporcjonalne do iloczynu z szybkości pozo stałej do kwadratu i z kalibru do kwadratu.

Według danych rosyjskich z czasów wojny 1904 r., ustalono następujące zranienia spowodowane 6,5 mm pociskiem japońskim:

Na odległość 200 m. Działanie hydrodynamiczne bardzo znaczne, kości rurkowe zostają rozsadzone, strzały do czaszki są śmiertelne, żołądek i jelita zostają ciężko uszkodzone.

Na odległość 400 — 800 m. Działanie hydrodynamiczne mniejsze i powoli zanikające ze wzrostem odległości. Wszystkie rany są na wylot; wypadki infekcji rzadkie, przebieg leczenia pomyślny. Zranienia żołądka powodują zwykle śmierć.

Na odległość 800 — 1000 m. Rany również na wylot, jednak otwory ran większe. Porwane cząsteczki ubrania powodują zakażenie.

Ponad 1000 m. Dużo pocisków zagłębianych częściowo, nawet nie zniekształconych.

Lekarz japoński Kikuchi zaznacza, że działanie 6,5 mm pocisku obliczone jest na wytrącenie z szeregu nieprzyjaciela na krótki czas przy najmniejszym zranieniu.

Dane statystyczne japońskie podają następujące skutki zranienia: 25% śmiertelnych, 15% ciężkich, 60% lekkich, z tego 85% w części miękkie i 15% w kości.

7,92 mm pocisk niemiecki S według badań Krauzfeldera i Oertla¹⁾ ma następujące własności:

Zdolność rażenia w porównaniu z pociskiem 8 mm z owalnym ostrołukiem jest mniejsza, lecz skuteczne odległości większe (jeszcze na 1350 m zranienia są poważne).

Wnikanie na odległości 800 m ($V_k = 355$ m)	1350 m ($V_k = 243$ m)
w mocnej muskulaturze	do 46 cm do 40 cm
w miękkich częściach ciała	
przy równoczesnym prze-	
biciu słabszych kości	do 60 cm do 38 cm
w mocnej muskulaturze	
przy uderzeniu bocznym	— 13 cm.

Rozerwanie płaszcza i zniekształcenie rdzenia zdarza się tylko przy trafieniu w mocne kości.

	przy odległości	
Zranienia części miękkich powodują:	800 m	1350 m
natychmiastową niezdolność do boju	36,4%	43,8%
niezdolność przez dłuższy czas	27,3%	37,4%

Zranienia części miękkich i kości:		
wypadki śmiertelne	20,8%	11,1%
natychmiastową niezdolność do boju	79,2%	88,9%
z tego niezdolność przez dłuższy czas	75%	88,9%.

¹⁾ Deutsche medizinische Wochenschrift.

Tessler podaje następujące wyniki badań 7,92 mm pocisku.

Odległość 400 m. Włot rany w częściach miękkich jest mniejszy, wylot większy od kalibru (około 12 mm). Miękkie kości były gładko przedziurawione; im twardsze i mocniejsze są kości, tym rana w kości większa i liczniejsze są odłamki. Odległość, na której się obserwuje działanie hydrodynamiczne, wynosi 400 m (przy pociskach starego wzoru tylko 100 m). Koń zaatakowany strzałem z odległości 400 m w kończyny, przy trafieniu w kości przeważnie natychmiast pada.

Odległość 700 m. Włot cokolwiek mniejszy, wylot zaś większy niż na 400 m. Działanie hydrodynamiczne przy trafieniu w organa, zawierające ciecz, jest dość znaczne.

Odległość 1000 m. Wypadki rozsadzania kości i naczyń krwionośnych są rzadsze, natomiast częstsze są wypadki powierzchownego zranienia. Żadne zniekształcenie, nawet przy przebiciu twardych kości, nie następuje.

Odległość 1500 m. Głębokość rany 4 — 5 mm. Przebicia kości rzadkie.

Pocisk S do 1000 m ma zdolność przebijania każdej części ciała ludzkiego nie wyłączając kości.

c. Zdolność rażenia lotek szrapnelowych.

Doświadczenia wykazują, że minimalny ciężar lotek może wynosić około 8 g. Lotki szrapnelowe wywołują lżejsze i mniej niebezpieczne zranienia w porównaniu z pociskami karabinowymi. Tłumaczy się to tym, że szybkość i energia lotek na odległościach skutecznych jest mniejsza niż szybkość i energia pocisków karabinowych.

Odległość	pocisk kb 8 mm	6,5 mm	7,92 mm S
400 m	$V_k = 390 \text{ m}$ $E_u = 116 \text{ kgm}$	$V_k = 450 \text{ m}$ $E_u = 100 \text{ kgm}$	$V_k = 605 \text{ m}$ $E_u = 185 \text{ kgm}$
1000 m	$= 255 \text{ m}$ $= 50 \text{ kgm}$	$= 295 \text{ m}$ $= 44 \text{ kgm}$	$= 300 \text{ m}$ $= 45 \text{ kgm}$
	9 gr lotka (armaty polowej)	13 gr lotka (haubica polowa)	
3000 m	$V_k = 230 \text{ m}$ $E_u = 23 \text{ kgm}$	$V_k = 220 \text{ m}$ $E_u = 31 \text{ kgm}$	
5000 m	$= 185 \text{ m}$ $= 15 \text{ kgm}$	$= 200 \text{ m}$ $= 26 \text{ kgm}$	

Działanie lotek, jak widzimy, jest we wszystkich wypadkach większe ponad minimum. Należy jednak nadmienić, że nie wszystkie lotki biegną z jednakową szybkością z punktu rozprysku. Wobec tego nawet na małych odległościach można zaobserwować lotki słabe które nie przebijają 2 cm deski sosnowej. Następnie szybkość lotek szybko maleje ze wzrostem donośności ze względu na opór powietrza, jak widać z następującego zestawienia:

Donośność	Lotka 9 g	Lotka 13 g
	Szybkość	Szybkość
0 m	300 m/sek	300 m/sek
100 „	215 „	217 „
200 „	157 „	165 „
300 „	124 „	134 „
400 „	103 „	113 „
500 „	89 „	99 „

W końcu zdarza się dużo odskoków, tj. lotek odbitych.

Z przytoczonych danych wynika, że ze względu na rażenie lotki mają masę dostateczną.

Z innych doświadczeń wiadomo, że połowa trafionych lotek 9 g na odległości 4000 m przy najkorzystniejszym rozprysku przebija 5 desek jodłowych 2 cm grubości.

Odległość	Lotka 9 g (normalna)	Lotka 13 g (normalna)
500 m	125 m	125 m
1000 m	100 m	100 m
1500 m	75 m	75 m
2000 m	50 m	50 m
2500 m	25 m	25 m
3000 m	12 m	12 m
3500 m	6 m	6 m
4000 m	3 m	3 m

II. DZIAŁANIE WYBUCHOWE.

1. Charakterystyka ogólna.

Działanie wybuchowe mają pociski zawierające ładunek materiału wybuchowego. Polega ono na działaniu sprężonych gazów, utworzonych z ładunku wewnętrznego pocisku lub jego części składowej.

2. Zjawisko wybuchu.

Gazy wybuchowe powstają w wyniku błyskawicznego rozkładu materiałów wybuchowych z wydzieleniem dużej ilości ciepła, które powoduje zwiększenie prężności gazów do najwyższych granic. Powstające przy tym ciśnienie zużywa się na wykonanie pracy mechanicznej rzucania lub rozsadzania.

Powyższy proces rozkładu materii nosi nazwę *wybuchu*. Reakcja wybuchowa staje się możliwa jedynie:

1. w wypadku tworzenia się gazów,
2. przy wydzielaniu dużej ilości ciepła i
3. przy dużej szybkości rozkładu danego ciała.

O ile wyżej wymienione warunki nie są zachowane, należy uważać proces rozkładu ciała za zwykłe spalanie się. Tak zwane termity, aczkolwiek wytwarzają przy spalaniu temperaturę do 3000° , nie są materiałem wybuchowym, ponieważ wcale nie dają gazów.

Wybuch pod względem chemicznym w zasadzie może być reakcją:

1. syntezy,
2. rozkładu lub
3. wymiany (w praktyce się nie spotyka).

Reakcja wybuchu musi być *egzotermiczna*.

Cząsteczki materiału wybuchowego znajdują się w stanie niestąlej równowagi, dającej możność łatwego zapoczątkowania wybuchowej przemiany za pomocą odpowiedniego bodźca zewnętrznego.

Bodziec zewnętrzny musi być określonego rodzaju i powinien mieć określoną siłę w celu nadania reakcji żadanego kierunku.

Wybuch *pod względem fizycznym* przedstawia szereg przemian energetycznych, w których wyniku powstaje ciśnienie gazów.

Ciśnienie to można podzielić na statyczne i dynamiczne.

Ciśnienie statyczne jest to ciśnienie gazów w danej objętości, powstałe wskutek zmiany równowagi końcowej po wybuchu. Zależy ono od ilości materiału i wielkości objętości komory reakcyjnej, przy tym samym materiale wybuchowym.

Ciśnieniem dynamicznym nazywamy ciśnienie, które powstaje w wyniku ruchu cząsteczek po naruszeniu równowagi początkowej.

3. Proces rozkładu materiału wybuchowego.

Poszczególne okresy procesu:

1. inicjowanie lub pobudzenie,
2. deflagracja i
3. wybuch właściwy.

Wybuch znów może mieć postać:

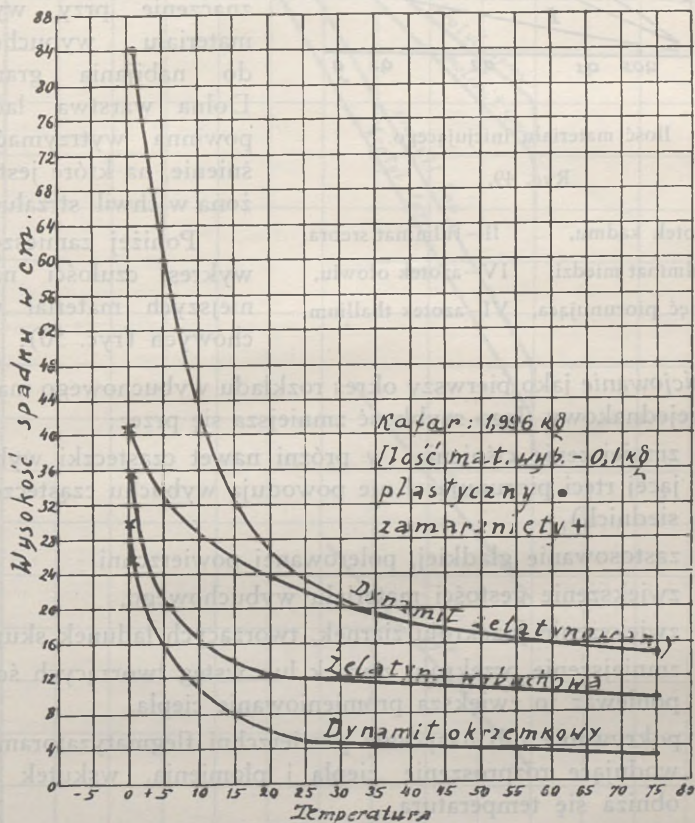
- a) eksplozji lub
- b) detonacji.

Pobudzenie odbywa się przez zastosowanie:

1. czynnika chemicznego, zwykle w postaci kwasu azotowego lub siarkowego,
2. czynnika mechanicznego, powodującego uderzenie,
3. podwyższenia temperatury,
4. działania spłonki,
5. „ „ i pobudzacza, mającego za zadanie wzmocnienie działania spłonki,
6. detonowanie przez działanie fali wybuchowej.

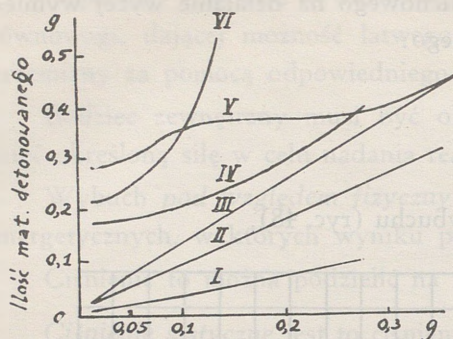
Wrażliwość materiału wybuchowego na działanie wyżej wymienionych czynników zależy od jego:

1. rodzaju,
2. struktury,
3. gęstości,
4. temperatury w chwili wybuchu (ryc. 48),



Ryc. 48.

5. twardości,
6. zdolności przewodzenia ciepła,
7. pojemności cieplnej oraz od
8. ilości materiału inicjującego (ryc. 49).



Ilość materiału inicjującego.

Ryc. 49.

- I—azotek kadmu, II—fulminat srebra,
 III—fulminat miedzi, IV—azotek ołowiu,
 V—rtęć piorunująca, VI—azotek thallium.

Na ogół wrażliwość wzrasta proporcjonalnie do ilości ciepła rozkładu wybuchowego, dlatego związki endotermiczne z powodu dużego ciepła tworzenia się są najbardziej czułe. Czułość ma szczególne znaczenie przy wyborze materiału wybuchowego do nabijania granatów. Dolna warstwa ładunku powinna wytrzymać ciśnienie, na które jest narażona w chwili strzału.

Poniżej zamieszczamy wykres czułości najważniejszych materiałów wybuchowych (ryc. 50).

Inicjowanie jako pierwszy okres rozkładu wybuchowego ma przebieg niejednakowy. Jego szybkość zmniejsza się przez:

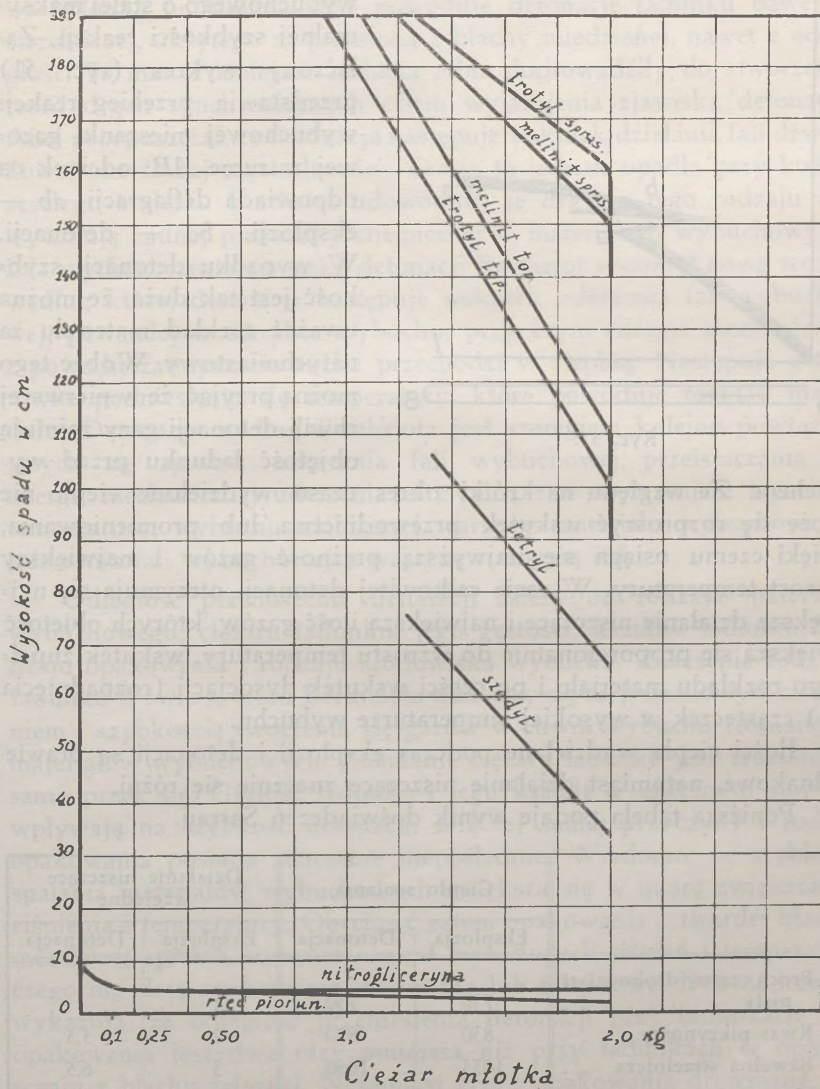
1. zmniejszenie ciśnienia (w próżni nawet cząsteczki wybuchającej rtęci piorunującej nie powodują wybuchu cząsteczek sąsiednich),
2. zastosowanie gładkiej, polerowanej powierzchni,
3. zwiększenie gęstości materiału wybuchowego,
4. zwiększenie przekroju ziarenek, tworzących ładunek skupiony,
5. zmniejszenie przekroju ziarenek lub wstęp tworzących ścieżkę, ponieważ to zwiększa promieniowanie ciepła,
6. pokrywanie lub nasycenie powierzchni flegmatyzatorami, powodujące rozproszenie ciepła i płomienia, wskutek czego obniża się temperatura.

Deflagracja i wybuch również są zależne od kilku czynników. Ich szybkość zmniejsza się przy:

1. zmniejszeniu ciśnienia,
2. zwiększeniu gęstości materiału wybuchowego,
3. dodaniu obojętnych składników,
4. zwiększeniu przekroju ziarn i

5. zwiększeniu promieniowania i przewodzenia ciepła (nić bawełny strzelniczej, owinięta naokoło pręta żelaznego i pobudzona do rozkładu tli się tylko, lecz nie wybuchła).

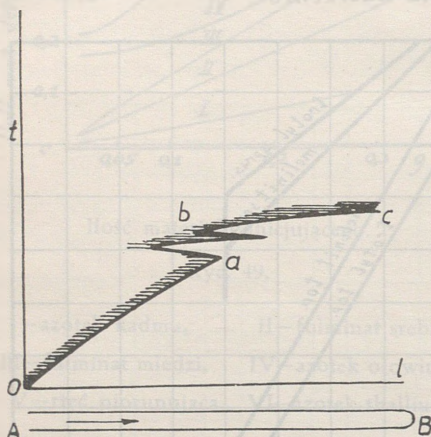
Czułość na uderzenie



Ryc. 50.

4. Eksplozja i detonacja.

Eksplozją nazywa się rozkład materiału wybuchowego, który następuje wskutek *deflagracji* i przebiega z szybkością zmienną. W wyniku eksplozji może nastąpić zjawisko *detonacji*. Mianem tym



Ryc. 51.

określamy rozkład materiału wybuchowego o stałej maksymalnej szybkości reakcji. Załączony wykres (ryc. 51) przedstawia przebieg reakcji wybuchowej mieszanki gazowej w rurze AB: odcinek oa odpowiada deflagracji, ab — eksplozji, bc — detonacji. W wypadku detonacji szybkość jest tak duża, że można uważać rozkład materiału za natychmiastowy. Wobec tego można przyjąć, że w pierwszej chwili detonacji gazy zajmują objętość ładunku przed wy-

buchem. Ze względu na krótki okres czasu wydzielone ciepło nie może się rozproszyć wskutek przewodnictwa lub promieniowania, dzięki czemu osiąga się najwyższą prężność gazów i największy wzrost temperatury. W razie całkowitej detonacji otrzymuje się największe działanie niszczące i największą ilość gazów, których objętość zwiększa się proporcjonalnie do wzrostu temperatury, wskutek zupełnego rozkładu materiału i po części wskutek dysocjacji (rozpadnięcia się) cząsteczek w wysokiej temperaturze wybuchu.

Ilości ciepła wydzielane podczas eksplozji i detonacji są prawie jednakowe, natomiast działanie niszczące znacznie się różni.

Poniższa tabela podaje wynik doświadczeń Sarrau.

	Ciepło spalania		Działanie niszczące względne	
	Eksplozja	Detonacja	Eksplozja	Detonacja
Proch czarny drobnoziarnisty	730	730	1	
Kwas pikrynowy	830	870	2	5,5
Bawełna strzelnicza	1055	1060	3	6,5
Nitrogliceryna	1720	1775	4,8	10,0

5. Przenoszenie detonacji.

Przenoszenie detonacji odkryte przez Nobla w r. 1864, było tłumaczone początkowo wpływem ciepła, które wywiązuje się podczas wybuchu detonatora (pobudzacza). Dalsze doświadczenia wkrótce wykazały niewłaściwość podobnego mniemania, gdyż ustalono, że 2,5 grama spłonka piorunianu rtęci powoduje detonację ładunku bawełny strzelniczej, ukrytego za przesłoną z blachy miedzianej, nawet z odległości 30 mm. Późniejsze badania Abla doprowadziły do stworzenia teorii drgań synchronicznych celem wyjaśnienia zjawiska detonacji. Abel przypuszczał, że detonacja następuje wskutek działania fali dźwiękowej określonej częstotliwości. Teoria ta jednak upadła przy końcu zeszłego stulecia. Berthelot udowodnił, że drgania tego rodzaju nie wywołują żadnej przemiany chemicznej w materiałach wybuchowych. Dla wytłumaczenia zjawiska detonacji Berthelot stworzył nową teorię, według której detonacja następuje wskutek uderzenia fali wybuchowej, powstałej w ośrodku wybuchu, przy czym energia mechaniczna z powodu zatrzymania ruchu przechodzi w ciepłą. Następuje gwałtowne podniesienie się temperatury, która powoduje rozkład materiału. Detonacja według Berthelota jest szeregiem kolejno powtarzających się zjawisk: uderzenia fali wybuchowej, przeistaczania się energii mechanicznej uderzenia w ciepłą z wytworzeniem wysokiej temperatury, wybuchu najbliższej warstwy materiału wybuchowego, uderzenia fali wybuchowej o warstwę następną itd.

Odległość przenoszenia detonacji zależy od rodzaju materiału wybuchowego, ciężaru ładunku, jego gęstości, kształtu ładunku, rodzaju opakowania i rodzaju środowiska wybuchu. Znaczenie rodzaju ładunku w świetle teorii Berthelota tłumaczy się niejednakowym ciśnieniem i szybkością tworzenia się gazów w chwili wybuchu rozmaitych materiałów wybuchowych. Znaczenie ciężaru ładunku jest zrozumiałe samo przez się. Gęstość ładunku i jego kształt w znacznym stopniu wpływają na szybkość detonacji. Dla tej samej przyczyny i rodzaj opakowania posiada znaczenie niepoślednie. Wiadomo, że szybkość spalania materiałów wybuchowych zwiększa się w miarę zwiększania ciśnienia i temperatury. Obecność zatem opakowania z twardej blachy metalowej sprzyja wytworzeniu od razu dużych ciśnień i temperatur, czego nie dają opakowania drewniane lub tekturowe. Doświadczenia wykazują, że odległość przeniesienia detonacji przy ładunkach bez opakowania jest dwa razy mniejsza niż przy ładunkach w opakowaniu z blachy żelaznej. Natomiast grube opakowania drewniane, od 20 do 25 mm, dają wynik przeciwny, to znaczy skracają odległość

przeniesienia detonacji o połowę. Wyjaśnienia powyższe doskonale tłumaczą niepraktyczność stosowania do spłonek, petard wybuchowych lub granatów ręcznych powłoki nietrwałej ze szkła lub tektury.

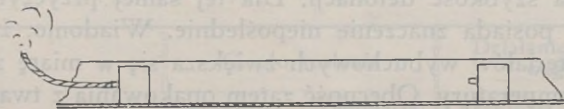
Największe znaczenie praktyczne ma czynnik ostatni: rodzaj środowiska wybuchu i podstawy, przeznaczonej do umieszczenia ładunków. Najlepiej przenoszą detonację ładunki znajdujące się w wodzie, następnie — w rurach żelaznych, potem na podłożu betonowym, drewnianym, na ziemi i najgorzej — w powietrzu. Tego czynnika zwykle się nie uwzględnia przy próbach odbiorczych materiałów wybuchowych, co może spowodować otrzymanie rozbieżnych wyników przy ładunkach zupełnie jednakowych i doprowadzić do wniosków fałszywych.

Znaczenie podstawy dla detonacji nabiera szczególnego znaczenia przy budowie podłogi w składach amunicyjnych, gdzie ze względu na duży ciężar przechowywanej amunicji daje się podłogi mocne i z trwałych materiałów, a które ze względów powyższych stają się czynnikiem ułatwiającym przenoszenie detonacji. Wydaje się praktycznym oparcie podłogi, składającej się z materiałów kruchych i nieściśłych, na konstrukcji z belek stalowych.

Dla wyjaśnienia znaczenia podstawy dla przenoszenia detonacji przeprowadzono następujące próby.

Detonowano z różnej odległości petardy wybuchowe 200-gramowe (kostki A z trójnitratołnolu proszkowanego, o gęstości 1,47) na podstawie żelaznej, na ziemi piaszczystej dobrze udeptanej i w powietrzu. Doświadczenia przeprowadzono przy temperaturze 21,5° C i ciśnieniu barometrycznym 746.

Detonowanie na podstawie żelaznej. Za podstawę użyto szyny stalowej o przekroju U, długości 2 m, szerokości 82 mm, wysokości brzegów 55 mm i grubości 7,5 mm. Ładunki umieszczono w wyżłobieniu szyny w sposób podany na ryc. 52.



Ryc. 52.

Za pierwszym razem, kiedy odległość między nabojem czynnym a nabojem biernym wynosiła 1,5 m, spłonka naboju biernego wybuchła, czego dowiodły cząsteczki mosiądzu wkropione w żelazo, ładunek zaś nie uwiązany do szyny został odrzucony na odległość 1 m.

Za drugim razem, przy zmniejszeniu odległości do 1,45 m, po wybuchu naboju czynnego, spłonki naboju biernego nie znaleziono, ładunek zaś, tym razem uwiązany, został rozbity w kawałki; przednia ściana ładunku i wgłębienie dla spłonki były osmolone.

Za trzecim razem w odległości 1,30 m nastąpiła detonacja zupełna.

Detonowanie na ziemi. Ładunki umieszczono w sposób powyższy.

Za pierwszym razem, przy odległości między nabojami wynoszącej 1 m, spłonki nie znaleziono, ładunek został rozbity, przednia ściana ładunku i wgłębienie dla spłonki były osmolone.

Za drugim razem nastąpiła zupełna detonacja przy odległości 0,90 m.

Detonowanie w powietrzu. Ładunki obwiązane sznurkami zawieszono na drążku drewnianym, przytwierdzonym do poprzeczki między dwoma słupami (ryc. 53). Umieszczenie naboju na samej poprzeczce może dać wynik fałszywy wobec możliwego zderzenia się naboju biernego ze słupem podstawy.

Za pierwszym razem przy odległości 1,3 m nie zdetonował ani ładunek, ani spłonka.

Za drugim razem przy odległości 1 m wynik był jednaki z pierwszym.

Za trzecim razem, przy odległości 0,80 m, spłonki nie znaleziono, ładunek zaś został rozbity w drobne kawałki, jego przednia ściana i wgłębienie dla spłonki były osmolone. Na miejscu ładunku biernego w czasie wybuchu zaobserwowano duży płomień.

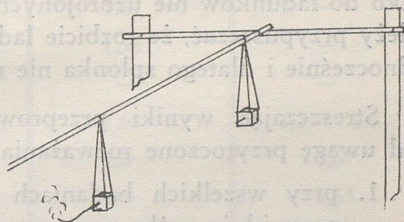
Za czwartym razem, przy odległości 0,60 m, wynik był podobny do poprzedniego.

Dopiero za piątym razem, przy odległości 0,50 m, nastąpiła detonacja zupełna.

Zestawienie wyników przeniesienia detonacji:

na podstawie żelaznej	—	na odległość 1,30 m,
na ziemi	—	„ 0,90 m,
w powietrzu	—	„ 0,50 m.

Wynik doświadczeń stwierdza, że detonacja na podstawie żelaznej sięga 1,5 razy dalej niż na ziemi i 2,3 razy dalej niż w powietrzu.



Ryc. 53.

Jeżeli określimy to zjawisko wzorem ogólnie przyjętym do obliczania odległości przeniesienia detonacji, $R = W \sqrt{L}$ (R — odległość w metrach, W — współczynnik, L — waga ładunku w kg), to stwierdzimy, że dla powietrza współczynnik wyniesie 1,1 dla ziemi — 2, dla podstawy żelaznej 2,9.

Należy zauważyć, że w miarę zwiększania się wagi ładunku, wielkość współczynnika się zmniejsza.

Ciekawy jest fakt znikania przywiązanej do ładunku spłonki przy niektórych doświadczeniach wyżej przytoczonych, podczas których obserwowano płomień i dalsze skruszenie ładunku na drobne kawałki, częściowo osmolone. Wiadomo, że każdy materiał wybuchowy wymaga do detonacji uderzenia fali wybuchowej określonej siły, albowiem słabsze uderzenie powoduje wybuch niepełny, kiedy detonuje tylko część ładunku, reszta zaś rozrzuca się lub spala znacznie wolniej; jeszcze słabsze uderzenie powoduje jedynie rozbićcie ładunku na kawałki. Wyjaśnienie takie jednak można zastosować tylko do ładunków nie uzbrojonych w spłonkę. W naszym wypadku należy przypuszczać, że rozbićcie ładunku i wybuch spłonki następują jednocześnie i dlatego spłonka nie może zdetonować ładunku.

Streszczając wyniki przeprowadzonych doświadczeń i biorąc pod uwagę przytoczone rozważania, można stwierdzić, że:

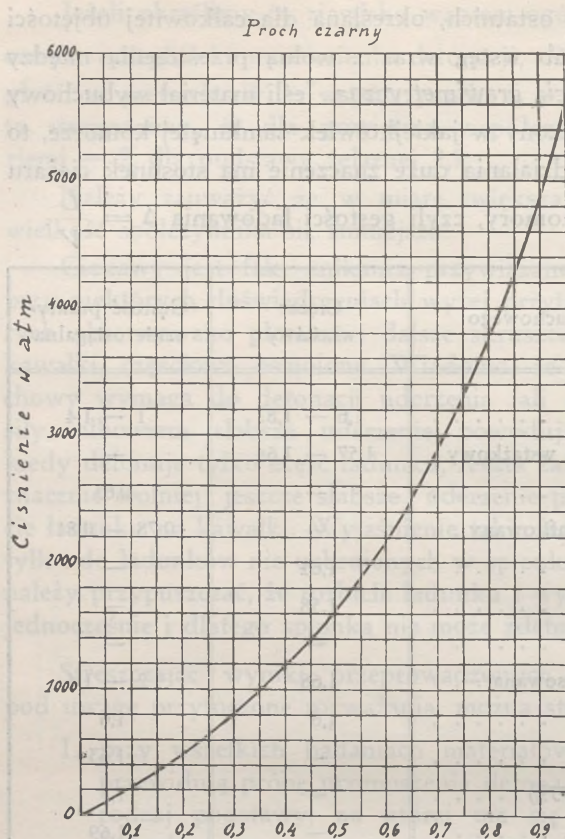
1. przy wszelkich badaniach materiałów wybuchowych, które przewidują próbę przenoszenia detonacji, musi być określony rodzaj podstawy, na której ma się odbywać detonowanie ładunku,
2. budowa betonowych lub kamiennych podłóg w składach i fabrykach amunicji jest szkodliwa, a nawet niebezpieczna i
3. zastosowanie odpowiedniej podstawy dla stosów amunicji daje możliwość zmniejszania bezpiecznych odległości.

6. Gęstość materiału wybuchowego.

Poszczególne materiały wybuchowe mogą się znajdować w stanie gazowym, płynnym i stałym. Przy jednakowych objętościach ciała stałe zawierają większy zapas energii niż gazy lub ciecze. Dlatego największą wartość ma materiał, posiadający największą gęstość. Gęstością praktyczną materiału wybuchowego nazywa się stosunek jego ciężaru do objętości. Gęstość ta na ogół jest mniejsza od ciężaru właściwego danego ciała, szczególnie przy sypkich materiałach wybu-

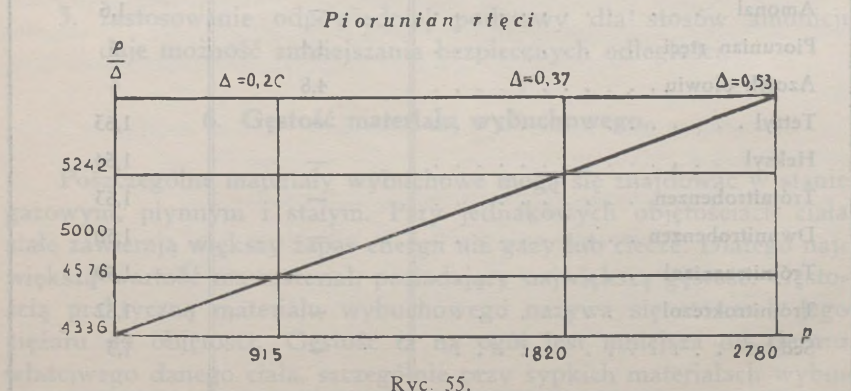
chowych. Gęstość tych ostatnich, określana dla całkowitej objętości poszczególnych ziarn lub wstęp wraz z wolną przestrzenią między nimi, nazywa się *gęstością grawimetryczną*. Jeśli materiał wybuchowy tworzy ładunek umieszczony w jakiegokolwiek zamkniętej komorze, to przy obliczeniach jego działania duże znaczenie ma stosunek ciężaru ładunku do objętości komory, czyli gęstości ładowania $\Delta = \frac{L}{V}$.

Nazwa materiału wybuchowego	Ciężar właściwy	Gęstość praktycznie osiągalna
Proch czarny	1,6 — 1,87	1 — 1,4
Proch bezdymny piroks, wstążkowy .	1,57 — 1,64	—
Proch bezdymny kb.	—	0,65
Proch bezdymny kb. grafitowany . .	—	0,78 — 0,81
Balistyt	1,64	—
Kordyt	1,58	—
Bawełna strzelnicza	—	—
Bawełna strzelnicza sprasowana . . .	1,68	1,2 — 1,4
Nitrogliceryna	1,6	1,6
Żelatyna wyb. (9,15%)	—	1,63
Dynamit okrzemkowy (75%)	—	1,5
Kwas pikrynowy	—	1,69
Trójnitrotoluen	—	1,59
Saletra amonowa	—	1,3
Amonal	—	1,6
Piorunian rtęci	4,4	4
Azotek ołowiu	4,8	4
Tetryl	—	1,63
Heksyl	—	1,64
Trójnitrobenzen	—	1,63
Dwunitrobenzen	—	1,50
Trójnitroanizol	—	1,59
Trójnitrokrezol	—	1,62
Seddyt	—	1,3



Ryc. 54.

Zwiększenie gęstości zmniejsza wrażliwość materiałów wybuchowych na działanie mechaniczne, powoduje natomiast przy pewnej pojemności wzrost ciśnienia statycznego i dynamicznego oraz szybkość detonacji (ryc. 54 i 55).



Ryc. 55.

H. Brunswig podaje następujące dane dotyczące ciśnienia statycznego przy różnych gęstościach ładowania Δ :

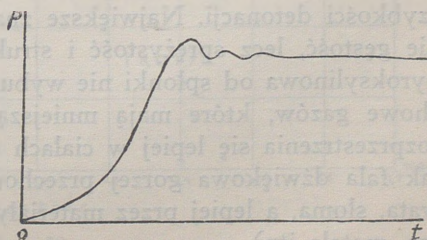
Gęstość ładowania	Proch czarny	Nitrogliceryna	Bawełna strzelnicza	Kwas pikrynowy	Saletra amonowa	Piorunian rtęci
0,1	336	1098	1061	983	542	468
0,2	708	2351	2343	2174	1217	966
0,3	1123	3847	3921	3650	2077	1501
0,4	1587	5640	5912	5523	3211	2072
0,5	2112	7829	8502	7981	4779	2686
0,6	2708	10560	12000	11350	7032	3347
0,7	3393	14060	17020	16240	10800	4068
0,8	4201	21520	24810	24030	17870	4952
0,9	5126	25270	38500	38310	36250	5683
1,0	6236	35010	—	—	—	6602
1,2	9255	—	—	—	—	8726
1,4	14130	—	—	—	—	11320
1,6	29340	—	—	—	—	14560
1,8	—	—	—	—	—	18790
2,0	—	—	—	—	—	24350
2,4	—	—	—	—	—	43970

Gęstość ładowania ma duże znaczenie zarówno przy ustalaniu ładunków miotających broni palnej jak i przy złożeniu ładunków minerskich, używanych do niszczenia obiektów różnego rodzaju.

Na zastosowaniu małych gęstości ładowania opiera się sposób rozsadzania (bez uszkodzenia materiału) małych budynków, studni, zbiorników żelaznych oraz metoda „strzelania z pustą przestrzenią” (Hohlraumschiessen) przy wydobywaniu kruchego materiału w kopalniach, opisana między innymi w Explosive Engineer r. 1923, oraz przez Raucha w Zeitschrift für gesammte Schiess und Sprengstoffwesen, 1927, str 318.

Powyższa zasada stanowi również podstawę wypróżniania pocisków przez rozbijanie skorup pocisków nabitych ładunkiem wybuchowym i rozsadzania skorup próżnych (patrz str. 114 „Rozbrajania i niszczenia amunicji”, M. Tarasowski).

Małe gęstości ładowania mogą się stać przyczyną ciśnienia zmiennego wskutek odbicia się fal wybuchowych, powodujących nadmiar ciśnienia w komorze reakcyjnej (ryc. 56).



Ryc. 56.

W tym wypadku masa gazowa zostaje poddana wahaniom, odbija się od ścian naczynia i wytwarza ciśnienie, które może przewyższać normalne o $\frac{2}{3}$ do $\frac{3}{4}$. Szybkość ruchu masy gazowej w tym wypadku jest również wyższa, np. przy prochu bezdymnym dochodzi do 1200 m. O ile przy pracach minerskich powyższe zjawisko może być z korzyścią wyzyskane, o tyle przy broni palnej jest niebezpieczne i jak wiadomo z praktyki było przyczyną licznych wypadków przy strzelaniu ładunkami podzielnymi, zwłaszcza przy użyciu prochu w postaci małych cylinderków lub płytek mogących się przesuwac i układać nierównomiernie.

Wzrost szybkości detonacji materiałów wybuchowych w zależności od zwiększenia ich gęstości charakteryzują następujące wykresy Dautriche'a, Weiss-Hebenstreita i in. (ryc. 57 — 61, str. 119 i 120).

Dautriche jednak stwierdził, że szedyt i dynamit okrzemkowy stanowią pod tym względem wyjątek, czego dowodem są wyniki jego doświadczeń:

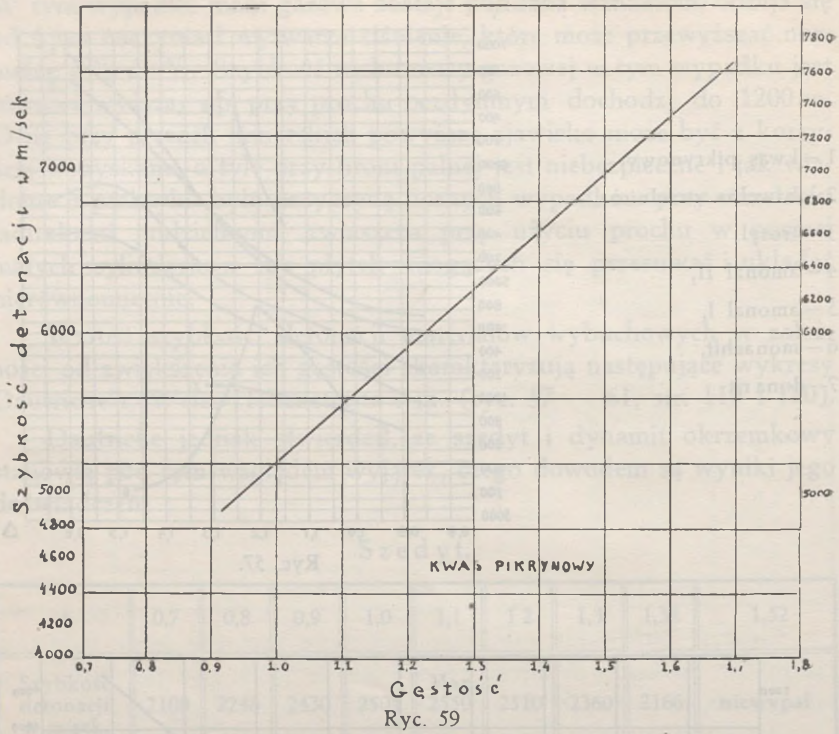
Szedyt.

Δ	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,38	1,52
Szybkość detonacji w m/sek.	2100	2248	2430	2504	Max 2550	2510	2360	2166	niewypał

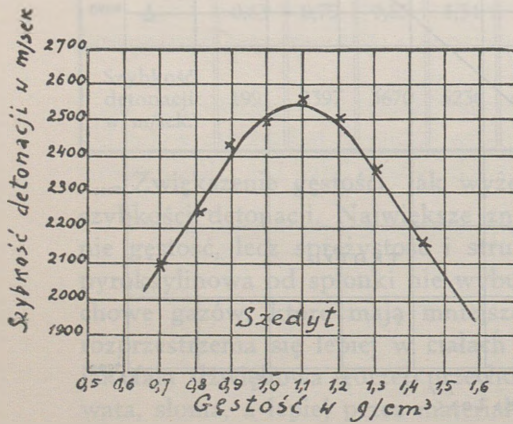
Dynamit 75%.

Δ	0,63	0,79	0,85	1,34	1,54	1,62	1,69	1,71	1,74
Szybkość detonacji w m/sek.	1991	2397	3670	5230	Max 6794	6794	4207	2460	niewypał

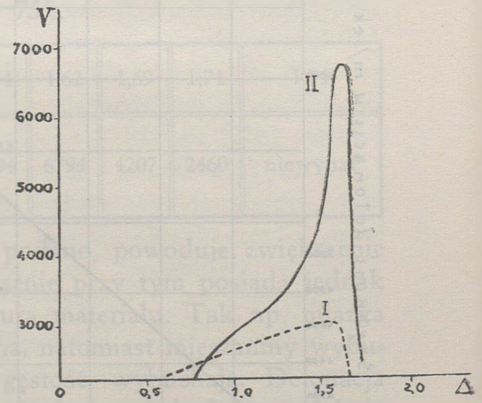
Zwiększenie gęstości, jak wyżej podano, powoduje zwiększenie szybkości detonacji. Największe znaczenie przy tym posiada jednak nie gęstość, lecz sprężystość i struktura materiału. Tak np. miazga pyroksylinowa od spłonki nie wybucha, natomiast mieszaniny wybuchowe gazów, które mają mniejszą gęstość, wybuchają. Detonacja rozprzestrzenia się lepiej w ciałach o strukturze jednolitej, podobnie jak fala dźwiękowa gorzej przechodzi przez takie ciała, jak korek, wata, słoma, a lepiej przez materiały jednolite i sprężyste (gazy, ciecze, metale itp).



Ryc. 59



Ryc. 60.



Ryc. 61.

Wpływ gęstości na szybkość detonacji:
I — szedyt, II — dynamit 25%.

7. Szybkość i przebieg reakcji wybuchu.

Szybkość reakcji wybuchu zwiększa się ze wzrostem:

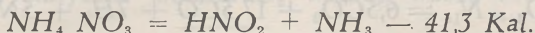
1. temperatury materiału wybuchowego,
2. ciśnienia w komorze reakcyjnej,
3. siły bodźca zewnętrznego i jego rodzaju oraz
4. w obecności katalizatorów.

Zmniejsza się natomiast ze wzrostem: gęstości i stopnia przewodnictwa cieplnego. Przebieg reakcji wybuchu jest zależny od

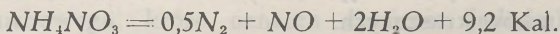
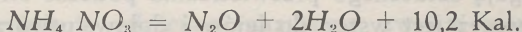
1. rodzaju i siły bodźca,
2. ciśnienia podczas wybuchu,
3. temperatury wybuchu i
4. ilości tlenu w materiale wybuchowym.

Klasyczny przykład takiej zależności stanowi rozkład saletry amonowej:

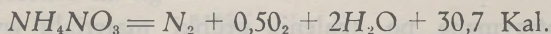
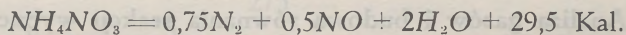
1. Przy słabym ogrzewaniu



- 2 i 3. Przy słabym ogrzewaniu do 200°

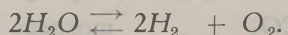
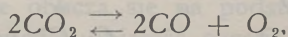


- 4 i 5. Przy szybkim i mocnym ogrzaniu do 400 — 500° — rozkład wybuchowy



Słaby bodziec powoduje zmniejszenie szybkości reakcji wybuchu, a co za tym idzie i mniejsze ciśnienie oraz możliwość powstawania nie-trwałych produktów.

Wysoka temperatura ponad 1000° przy ciśnieniach mniejszych od 100 atmosfer może spowodować rozpadnięcie się produktów reakcji, np.

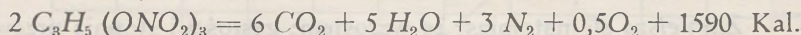


Wysokie ciśnienie (> 100 atm) powstające w wyniku rozkładu wybuchowego uniemożliwia rozpadnięcie się cząsteczek.

Ilość tlenu w cząsteczce materiału wybuchowego wpływa na ilość wydzielanego przy reakcji ciepła i produktów trujących.

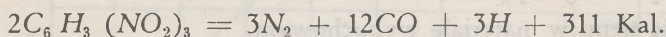
Przy dostatecznej ilości tlenu C i H spala się na CO_2 i H_2O z wydzielaniem dużej ilości ciepła, a N i reszta O zwalnia się, np.

Nitrogliceryna:

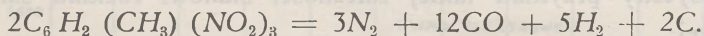


Przy niedostatecznej ilości tlenu w cząsteczce reakcja odbywa się z utworzeniem mniejszej ilości ciepła, przy czym powstają produkty trujące lub utrudniające oddychanie, np. CO i C .

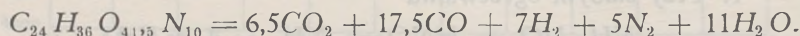
Kwas pikrynowy (melinit):



Trójnitrotoluen (trotyl):



Proch nitrocelulozowy:



Ze względu na trujące własności CO zamknięte strzelnice k. m. i armat wymagają sztucznego przewietrzania podczas strzelania. Niebezpieczny również jest wstęp do lejów i dolów, utworzonych przez wybuch ładunków kruszących.

Trujące pozostałości po wybuchu czynią materiał wybuchowy o podobnych własnościach niebezpiecznym do zastosowania w kopalniach.

8. Analiza gazów i budowa równania reakcji wybuchu.

Gazy, otrzymane po spaleniu próbki materiału wybuchowego w bombie manometrycznej lub kalorymetrycznej (patrz. str. 128 i 133), odprowadzają z gazomierza do biurety dla określenia objętości badanej ilości gazu, a następnie do gazowych pipetek (płuczek), wypełnionych odczynnikami, które służą do pochłaniania poszczególnych gazów znajdujących się w mieszaninie poddanej badaniu.

Do pochłaniania NO używa się roztworu $Fe_2 SO_4$,

„	O	„	„	ługowego pirogalolu,
„	CO	„	$Cu_2 Cl_2$	w roztw. kwasu solnego,
„	CO_2	„		mocnego roztworu KOH .

Po każdym przejściu gazu przez poszczególne pochłaniacze przeprowadza się go znowu do gazowej biurety dla określenia zmniejszenia objętości, która służy za podstawę do obliczenia.

H_2 i CH_4 z braku odpowiednich pochłaniaczy spala się w obecności tlenu na H_2O i CO_2 , które następnie poddaje się analizie.

Reszta gazu przypada na azot, który nie pochłania się odczynnikami.

Otrzymany skład gazu w %% objętości daje możliwość skonstruowania równania reakcji wybuchowej. W tym celu objętość produktów wybuchu, odpowiadająca jednej cząsteczce gramowej badanej substancji, mnoży się przez procentowe ilości poszczególnych gazów i przez ciężar jednostki ich objętości — otrzyma się ciężar poszczególnych gazów; następnie ciężar każdego gazu dzieli się przez jego ciężar cząsteczkowy, przy czym w wyniku otrzymuje się ilość cząsteczek tego gazu w równaniu.

9. Obliczenie ciśnienia statycznego ładunku wybuchowego.

Ciśnienie statyczne oblicza się według wzoru Nobla i Abela

$$p = f \cdot \frac{\Delta}{1 - a \Delta},$$

gdzie f jest ciśnienie właściwe, nazywane zwykle siłą (force) materiału wybuchowego, które oznacza ciśnienie jednostki wagowej w jednostce objętości przy danej temperaturze:

$$f = \frac{p_0 V_0}{273} \cdot T \text{ atm}$$

lub w przeliczeniu na kg

$$f = \frac{1,033 \cdot V_0 \cdot T}{273} \text{ kg/cm}^2;$$

Δ jest gęstość ładowania i

a — kowolumen, który oznacza nieściśliwą objętość cząsteczkową gazów, wynoszącą według Amagata 0,001 V_0 .

10. Ciśnienie właściwe.

Ciśnienie właściwe oblicza się na podstawie reakcji wybuchu, znając ciśnienie początkowe, objętość gazów V_0 i temperaturę bezwzględną wybuchu T .

Według prawa Boyle-Meriotte'a w jednakowej temperaturze iloczyn z ciśnienia ostatecznego przez objętość gazu doskonałego równa się iloczynowi z ciśnienia początkowego przez jego objętość:

$$p V = p_0 V_0 = \text{const.}$$

W temperaturze zmiennej według Gay-Lussaca

$$p = p_0 (1 + \alpha t) \text{ przy stałej } V^1),$$

$$V = V_0 (1 + \alpha t) \text{ przy stałym } p^2),$$

przy czym $\alpha = \frac{1}{273}$ jest współczynnikiem rozszerzalności gazów.

Ogólny stan gazów doskonałych wyraża się wzorem

$$p V = p_0 V_0 \left(1 + \frac{1}{273} t\right),$$

gdzie

p_0 — ciśnienie początkowe, uważane zwykle za równe 1 atm,

V_0 — objętość gazów przy p_0 i 0° ,

t — temperatura

$\left. \begin{matrix} p \\ V \end{matrix} \right\}$ — ciśnienie i objętość przy t .

Po zastąpieniu t temperaturą bezwzględną T , otrzymamy

$$p V = p_0 V_0 \left(1 + \frac{1}{273} T\right) = \frac{p_0 V_0}{273} \cdot T.$$

Ponieważ objętość V_0 dla danego gazu jest stała, współczynnik $1/273$ też stały, zaś p również można przyjąć za stałą, to równanie przyjmie postać

$$p V = R T$$

ustaloną przez Clapeyrona. Z równania wynika, że iloczyn z ciśnienia przez objętość jest proporcjonalny do temperatury.

$$1) \quad \alpha = \frac{p - p_0}{t \cdot p_0}$$

z czego

$$p - p_0 = p_0 \alpha t,$$

$$p = p_0 + p_0 \alpha t,$$

$$p = p_0 (1 + \alpha t)$$

$$2) \quad \alpha = \frac{V - V_0}{t \cdot V_0}$$

z czego

$$V - V_0 = V_0 \alpha t$$

$$V = V_0 + V_0 \alpha t$$

$$V = V_0 (1 + \alpha t)$$

11. Ciśnienie statyczne.

Ze wzoru $pV = RT$ wynika, że

$$p = \frac{RT}{V}.$$

Wprowadzając poprawkę przez zmniejszenie V o wielkość a , otrzymamy

$$p = \frac{RT}{V-a}.$$

Ponieważ gęstość ładowania Δ jest stosunkiem jednostki ciężaru do jednostki objętości

$$\Delta = \frac{1}{V} \text{ to } V = \frac{1}{\Delta}.$$

Podstawiamy V w równaniu powyższym

$$\begin{aligned} p &= \frac{RT}{\frac{1}{\Delta} - a} = \frac{RT}{\frac{1-a\Delta}{\Delta}} = \frac{RT\Delta}{1-a\Delta} = \\ &= \frac{p_0 V_0}{273} \frac{T \cdot \Delta}{(1-a\Delta)} = f \cdot \frac{\Delta}{1-a\Delta}. \end{aligned}$$

Otrzymujemy zasadniczy wzór do obliczenia ciśnienia statycznego ładunku wybuchowego, z którego wynika potrzeba poprzedniego obliczenia:

V_0 — objętości gazów przy p_0 i 0° i

T — temperatury bezwzględnej wybuchu.

12. Określenie objętości gazów wybuchowych.

A. Obliczenia objętości gazów według reakcji wybuchu.

Według Avogadro równe objętości gazów zawierają jednakową ilość cząsteczek przy jednakowej t i jednakowym p .

Na zasadzie tego prawa obliczono, że V jednej cząsteczki gramowej gazu przy temperaturze 0° i $760 \text{ mm} = 22,412 \text{ L}$.

Znając ilość cząsteczek, na które się rozpada jedna cząsteczka materiału wybuchowego, możemy obliczyć łączną objętość tych cząsteczek, a znając ciężar cząsteczki gramowej materiału wybuchowego możemy obliczyć objętość gazów, utworzonych przez wybuch 1 kg.

Na podstawie reakcji wybuchu mamy

$$M = n_1 X + n_2 Y + n_3 Z \dots$$

M — ciężar gramowy cząsteczki materiału wybuchowego,

n — ilość cząsteczek gazów powybuchowych,

X, Y, Z — waga cząsteczek gramowych utworzonych produktów.

Z powyższego równania obliczamy M i Σn .

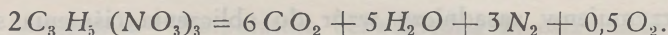
Objętość jednej cząsteczki materiału wybuchowego (przy $t = 0^\circ$ i $p = 760$ mm),

$$V_M = 22,412 (n_1 + n_2 + n_3 \dots).$$

Natomiast objętość gazów powybuchowych dla 1 kg materiału wybuchowego

$$V_{1 \text{ kg}} = \frac{22,412 (n_1 + n_2 + n_3 \dots) \cdot 1000}{M}.$$

Przykład. Reakcja wybuchu nitrogliceryny:



Obliczenie objętości gazów:

$$2M = 6(12 + 32) + 5(2 + 16) + 3 \cdot 28 + 0,5 \cdot 32 = 454,$$

$$M = 227.$$

$$2V_M = \frac{22,412 (6 + 5 + 3 + 0,5)}{227}$$

$$V_M = \frac{22,412 (6 + 5 + 3 + 0,5)}{227 \cdot 2}$$

$$V_{1 \text{ kg}} = \frac{22,412 (6 + 5 + 3 + 0,5)}{454} = 713 \text{ L przy } H_2O$$

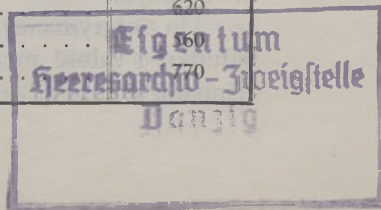
w stanie gazowym.

$$V_{1 \text{ kg}} = \frac{22,412 (6 + 5 + 3 + 0,5)}{454} = 467 \text{ L przy } H_2O$$

w stanie ciekłym.

Tabela objętości gazów wybuchowych, obliczonych dla 1 kg materiału wybuchowego.

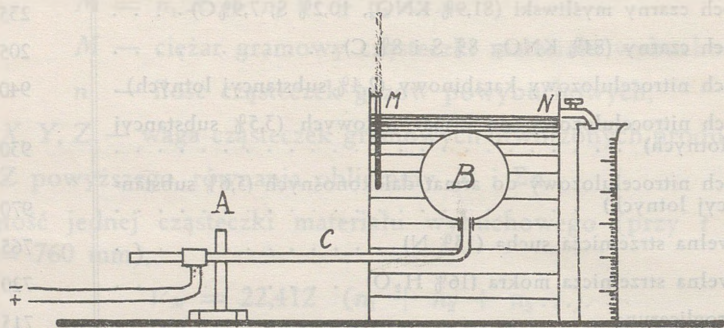
Materiały wybuchowe	V w litrach
Proch czarny (75% KNO_3 , 10% S, 14% C i 1% H_2O)	280
Proch czarny myśliwski (81,9% KNO_3 , 10,2% S, 7,9% C)	235
Proch czarny (84% KNO_3 , 8% S i 8% C)	205
Proch nitrocelulozowy karabinowy (2,4% substancyj lotnych)	940
Proch nitrocelulozowy do armat polowych (3,5% substancyj lotnych)	930
Proch nitrocelulozowy do armat dalekonośnych (5,6% substancyj lotnych)	970
Bawełna strzelnicza sucha (13% N)	765
Bawełna strzelnicza mokra (16% H_2O)	720
Nitrogliceryna	715
Żelatyna wybuchowa (91,5% nitrogliceryny + 8,5% kol. bawełny strzelniczej)	710
Dynamit okrzemkowy (75%)	545
Nitromannit	695
Trójnitrobenzen	670
Kwas pikrynowy	675
Trotyl	690
Panklastyt Turpina (35% CS_2 + 65% N_2O_4)	470
Helhofit (40% dwunitrobenzenu + 60% kw. azotowego)	690
Saletra amonowa	980
Bellit (dwunitrobenzenu 17,5% + saletry amonowej 82,5%)	900
Naftalina (6,5%) z saletrą amonową	925
Sznajderyt (12,5% dwunitronaftalenu + 87,5% sal. amon.)	910
Nitroguanidyna	1075
Amonal (23,5% Al + 72% sal. amon. i 4,5% węgla drzew.)	594
Amonal z 90,5% sal. amon.	977
Dynamon (sal. amon. + 7% C)	905
Oxyliquit:	
Węgiel drzewny (16%) + ciepłe powietrze (50% 0)	620
Węgiel drzewny (22%) + ciepłe powietrze (70% 0)	620
Benzyna (12%) + ciepłe powietrze (70% 0)	620



B. Doświadczalne określenie objętości gazów wybuchowych.

a) Mierzenie V przez spalanie ładunku przy ciśnieniu normalnym.

Do mierzenia przybliżonego objętości można użyć następującego gazomierza (ryc. 62):



Ryc. 62.

przyrząd składa się ze zbiornika blaszanego B , połączonego za pomocą miedzianej rurki C z łuską mosiężną lub miedzianą 20 cm długości o średnicy 6 — 7 mm, wypełnionej sproszkowanym materiałem wybuchowym (10 g). Łuska i koniec rurki C są połączone nakrętką, zawierającą wewnątrz zapłonnik żarowy w postaci drucika miedzianego, połączonego ze źródłem prądu.

Na drugi koniec rurki C założony jest balon gumowy, szczelnie obwiązany.

Po załadowaniu łuski z materiałem wybuchowym, przy czym drucik miedziany musi być w nim zanurzony, nalewa się wody do zbiornika do poziomu MN , oznaczonego na rycinie.

Po włączeniu prądu rozżarzony drucik zapali materiał, który spali się wolno, gazy zaś wypełnią balon gumowy. Poziom wody w zbiorniku B podniesie się i po oziębieniu opadnie.

Po ustaleniu się poziomu należy odczytać temperaturę i spuścić wodę do naczynia miarowego. W ten sposób oznaczamy objętość gazów, uzyskanych po spaleniu 10 g materiału wybuchowego przy temperaturze, jaką wskazuje termometr i przy danym ciśnieniu barometrycznym.

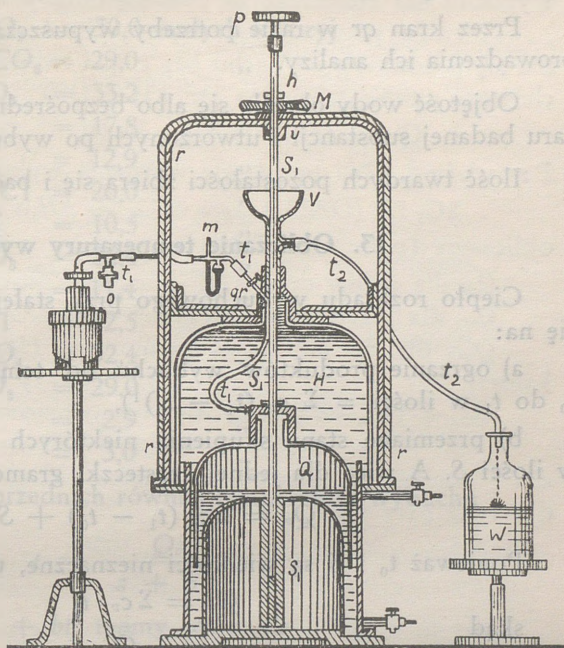
Do otrzymanej objętości należy dodać objętość spalonego ładunku i całość przeliczyć na objętość przy temperaturze 0° i przy ciśnieniu 760 mm.

Zarzut, że przy spaleniu ładunku mogą się tworzyć inne gazy, niż podczas wybuchu, nie ma istotnego znaczenia, gdyż objętość gazów pozostaje ta sama.

b) *Mierzenie V przez spalanie ładunku pod dużym ciśnieniem.*

Ładunek materiału wybuchowego spala się w bombie kalorymetrycznej lub manometrycznej. Utworzone gazy po oziębieniu zbiera się w osobnym gazomierzu rtęciowym dla określenia objętości.

Używany w tym celu gazomierz Viella (ryc. 63) składa się z dwóch cylindrów, połączonych ze sobą. W dolnym cylindrze znajduje się rtęć, przykryta szklanym dzwonem Q (dla zmniejszenia ilości potrzebnej rtęci do dna cylindra przymocowany jest próżny cylinder blaszany, który jednocześnie służy jako prowadzenie dzwonu). Górna część dzwonu łączy się rurką t_1 z bombą, w której się odbywa spalanie próbki. Nad ruchomym dzwonem Q znajduje się nieruchomy dzwon R , zakończony lejkiem V ; w dolnej części lejka znajduje się tubus z rurką t_2 , odprowadzającą wodę do flaszki W .



Ryc. 63.

Do rurki, łączącej dzwon Q z bombą, włączony jest manometr rtęciowy do obserwacji zarówno ciśnienia wprowadzonych gazów jak i ciśnienia gazów zebranych pod dzwonem.

Przed badaniem z dzwonu Q usuwa się powietrze za pomocą pompki ssącej i podnosi poziom znajdującą się w nim rtęci do poziomu kranu qr , który się potem zamyka. Następnie wlewa się do

dzwonu R wodę, zanim nie spłynie do flaszki. Zamiast tej flaszki podstawić inną po uprzednim stwierdzeniu jej ciężaru.

Otwierając kran qr wprowadzamy gazy do dzwonu Q , które przez podniesienie tego dzwonu wyprą z dzwonu R część wody, która przejdzie do flaszki.

Znając ciężar i temperaturę wypartej wody, jak również ciśnienie barometryczne i stan manometru, przelicza się otrzymaną objętość na objętość przy 0° i 760 mm ciśnienia dla 1 kg materiału wybuchowego.

Przez kran qr w razie potrzeby wypuszcza się gazy celem przeprowadzenia ich analizy.

Objętość wody określa się albo bezpośrednio, albo z różnicy ciężaru badanej substancji i utworzonych po wybuchu produktów.

Ilość twardych pozostałości zbiera się i bada osobno.

13. Obliczanie temperatury wybuchu.

Ciepło rozkładu wybuchowego przy stałej objętości Q_v zużywa się na:

a) ogrzanie produktów wybuchu od temperatury początkowej t_0 do t_1 w ilości $= \Sigma c_v (t_1 - t_0)^1$,

b) przemianę stanu skupienia niektórych ciał nowopowstałych w ilości S . A więc dla jednej cząsteczki gramowej

$$Q_v = \Sigma c_v (t_1 - t_0) + S.$$

Ponieważ t_0 i S są wielkości nieznaczące, upraszczamy równanie

$$Q_v = \Sigma c_v \cdot t_1$$

$$t_1 = \frac{Q_v}{\Sigma c_v}$$

czyli temperatura wybuchu przy stałej objętości równa się ciepłu rozkładu wybuchowego, podzielonemu przez sumę ciepła właściwego produktów wybuchu.

E. Mallard i H. le Châtelier stwierdzili, że ciepło właściwe ciał stałych i ciekłych mało się zmienia z wzrostem temperatury, natomiast ciepło właściwe gazów pozostaje w dużej zależności od jej wysokości.

¹⁾ c_v jest ciepło właściwe produktów gazowych przy stałej objętości.

Dla gazów

$$c_v = a + bt,$$

gdzie a i b są stałe charakterystyczne, przy czym według E. Sarrau te stałe przy wysokich temperaturach mają wartości następujące:

	a	b	
dla cząsteczek dwuatomowych	4,8	0,001	małych kaloryj
dla „ trójatomowych	6,2	0,0025	„ „
C_v dla ciał stałych			

$K_2 CO_3 = 30,0$ małych kaloryj

$Na_2 CO_3 = 29,0$ „

$K_2 SO_4 = 33,2$ „

$K_2 S = 17,8$ „

$KCl = 12,9$ „

$NH_4 Cl = 20,0$ „

$KCN = 10,5$ „

$Al_2 O_3 = 22,4$ „

$Si O_2 = 11,4$ „

$Na Cl = 12,5$ „

$Na SO_4 = 32,4$ „

$Cr_2 O_3 = 29,0$ „

$C = 2,9$ „

Dla rtęci Hg = 3,0 „

W myśl dwóch poprzednich równań temperatura wybuchu

$$t = \frac{Q_v}{a + bt}$$

Ponieważ $Q_v = at + bt^2$ mamy równanie

$$bt^2 + at - Q_v = 0$$

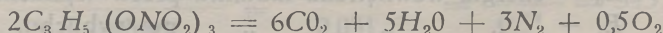
skąd

$$t = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4b \cdot Q_v}}{2b}$$

Do obliczenia t , jak widzimy, należy wpierw wyznaczyć stałe a i b oraz Q_v .

a) Obliczenia stałych a i b .

Przykład. Z równania reakcji wybuchu nitrogliceryny



wynika, że jedna cząsteczka rozpada się na 5,5 cząsteczek trójatomowych i 1,75 cząsteczek dwuatomowych. Wobec czego dla jednej cząsteczki materiału wybuchowego

$$a = (6,2 \cdot 5,5) + (4,8 \cdot 1,75) = 42,5 \text{ małych kaloryj,}$$

$$b = (0,0025 \cdot 5,5) + (0,001 \cdot 1,75) = 0,0155 \text{ małych kaloryj.}$$

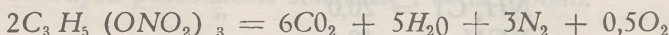
b) *Obliczenie ciepła wybuchu.*

Ciepło wybuchu może być obliczone na podstawie równania wybuchu lub zmierzone za pomocą bomby kalorymetrycznej.

Według prawa Hessa ciepło wybuchu równa się ciepłu tworzenia się produktów wybuchu bez ciepła tworzenia się materiału wybuchowego (patrz tabelę na str. 134 i 148)

$$Q_w = (Q_{m_1} + Q_{m_2} + Q_{m_3} \dots) - Q_M.$$

Przykład. Na podstawie równania wybuchu nitrogliceryny



obliczamy (patrz str. 131):

$$Q_M \text{ dla jednej cząsteczki gramowej nitrogliceryny} = 98 \text{ kaloryj,}$$

$$Q_{m_1} \text{ dla trzech cząsteczek gramowych } CO_2 = 3 \times 94 = 282 \text{ kaloryj,}$$

$$Q_{m_2} \text{ dla 2,5 cząsteczek gramowych } H_2O = 2,5 \times 58,2 = 145,5 \text{ kaloryj,}$$

$$Q_{m_3} + Q_{m_4} = 0 \text{ jako dla jednoatomowych.}$$

$$Q_w = (282 + 145,5) - 98 = 329,5 \text{ kal.}$$

dla 1 cząsteczki gramowej o ciężarze 227 g, natomiast

dla 1 kg przy wodzie ciekłej

$$Q_{w \text{ kg}} = \frac{329,5 \cdot 1000}{227} = 1451 \text{ kal.}$$

Jest to ciepło wybuchu pod stałym ciśnieniem, oznaczane symbolem Q_p . Ponieważ temperaturę oblicza się z ciepła wybuchu przy stałej objętości Q_v , znajdujemy je z równania

$$Q_v = Q_p + 0,54 n$$

(n — ilość cząsteczek gazowych w produktach rozkładu).

Ciepło, wywiązane podczas wybuchu w stałej objętości, równa się stracie energii wewnętrznej materiału wybuchowego:

$$E_0 - E_1 = A Q_v$$

gdzie A — jest to mechaniczny równoważnik ciepła = $\frac{1}{427}$

E_0 — energia wewnętrzna ładunku przed wybuchem,

E_1 — „ „ „ „ po wybuchu.

W razie wybuchu pod stałym ciśnieniem $p = 1,0335 \text{ kg/cm}^2$ przemiana energii wewnętrznej ładunku jest połączona ze zmianą objętości $v_1 - v_0$, przyczem wykonana praca rozprężających się gazów wynosi $p (v_1 - v_0)$.

Wobec tego

$$E_0 - E_1 - A Q_p + p (v_1 - v_0).$$

Z powyższych równań wynika, że

$$Q_v = Q_p + p (v_1 - v_0).$$

Objętość v_0 , jako znikomo małą w porównaniu do v_1 , możemy opuścić, a wtedy przy danej temperaturze wybuchu

$$\begin{aligned} Q_v &= Q_p + \frac{1,0335 \cdot 22,4 \text{ n}}{427} (1 + \alpha t) = \\ &= Q_p + 0,54 \text{ n} + 0,002 \text{ n} \cdot t. \end{aligned}$$

Wielkość $0,002 \text{ n} \cdot t$, jako nieznaczną, często się opuszcza.

Dla nitrogliceryny przy wodzie ciekłej

$$Q_v = 329,5 + 0,54 (3 + 1,5 + 0,25) = 332,065 \text{ kal. małych},$$

$$Q_v \text{ kg} = \frac{332,065 \cdot 1000}{227} = 1462,8 \text{ Kal.}$$

c) Przykład obliczania temperatury wybuchu.

Po ustaleniu stałych a i b oraz ciepła wybuchu przy stałej objętości Q_v oblicza się temperaturę według podanego wyżej wzoru

$$t = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4b Q_v}}{2b}.$$

Zatem dla nitrogliceryny:

$$t = \frac{-42,5 + \sqrt{42,5^2 + (4 \cdot 332,000 \cdot 0,0155)}}{2 \cdot 0,0155} =$$

$$= \frac{-42,5 + \sqrt{1806,25 + (1328000 \cdot 0,0155)}}{0,031} =$$

$$= \frac{-42,5 + \sqrt{22390}}{0,031} = \frac{149,6 - 42,5}{0,031} = \frac{107,1}{0,31} = 345,5^\circ.$$

Tabela ciepła tworzenia się jednej cząsteczki gramowej różnych substancyj pod stałym ciśnieniem (w kaloriach).

Związek	gazowy	ciekły	stały	Związek	gazowy	ciekły	stały
H ₂ O	58,2	69	70,4	Nitrogliceryna . . .	—	98	—
SO ₂	69,2	—	—	Piorunian rtęci . . .	—	—	62,9
CO ₂	94	—	—	Bawełna strzelnicza .	—	—	624,0
CO	25,8	—	—	Nitrobenzen	—	4,2	6,9
NO	21,6	—	—	Dwunitrobenzen . .	—	—	12,7
NO ₂	2,6	1,7	—	Kwas pikrynowy . .	—	—	49,1
N ₂ O	20,6	—	—	Bawełna kolodionowa	—	—	117,5
KCl	—	—	105,0	Gliceryna	—	165,2	169,4
K ₂ S	—	—	102,2	Acetylen	61,4	—	—
KNO ₃	—	—	118,7	Metan	18,5	—	—
K ₂ SO ₄	—	—	342,2	Benzol	10,2	3,2	0,9
K ₂ CO ₃	—	—	277,8	Naftalina	—	—	27,4
KClO ₃	—	—	94,6	Fenol	—	34,5	36,8
KClO ₄	—	—	112,5	Alkohol etylowy . .	60,7	70,5	—
NaNO ₃	—	—	110,6				
NH ₄ NO ₃	—	—	87,9				
Na ₂ CO ₃	—	—	270,2				

14. Mierzenie ciepła wybuchu Q_v za pomocą bomby kalorymetrycznej.

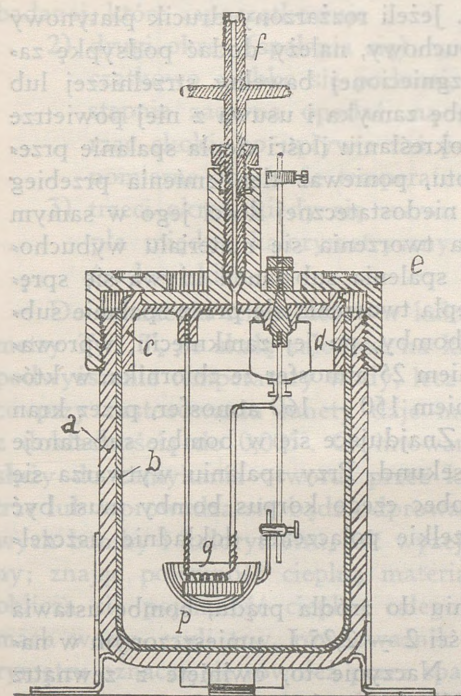
Mierzenie zarówno ciepła wybuchu jak i ciepła tworzenia się materiałów wybuchowych odbywa się w bombie kalorymetrycznej, skonstruowanej przez Berthelota. Bomba również ma zastosowanie przy określaniu objętości gazów i ich analizie, ilościowej i jakościowej.

Przyrząd składa się z bomby i kalorymetru. Bomba składa się z mocnego cylindra stalowego a (ryc. 64), który od zewnątrz jest niklowany, wewnątrz zaś pokryty grubą warstwą platyny b.

Platyna zabezpiecza ściany cylindra przed spalaniem się, które poza zniszczeniem naczynia jednocześnie mogłoby wpływać na ilość badanego ciepła. Bomba zamyka się stożkową przykrywą stalową cd, zabezpieczoną przed częściowym spalaniem się również warstwą platyny. Przykrywa stanowi obsadę osobnego urządzenia, które się składa z kranu f do wypuszczania lub wpuszczania gazów, miareczki platynowej p, zawieszanej pośrodku, i drucika stalowego lub platynowego g, który się rozżarza przy puszczeniu prądu elektrycznego przez korpus bomby, drucik platynowy i izolowany emalią sta-

tyw miseczki. Pokrywa łączy się z korpusem bomby za pomocą nakrętki *e*.

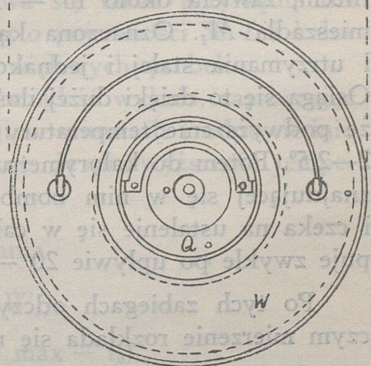
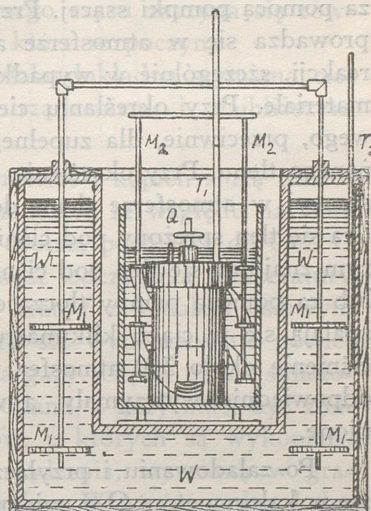
Przeciętna pojemność bomby około 300 cm^3 , największa gęstość ładowania $0,02$.



Ryc. 64.

określoną ilość wody, termometru, mieszadła M_2 , składającego się z kilku helikoidalnych skrzydełek, powodujących równomierne zmieszanie cieczy. Kalorymetr mieści się w naczyniu o podwójnych ściankach W , wypełnionych wodą i zaopatrzonym w mieszadło M_1 i termometr, który musi być tak dokładny i czuły, żeby dawał możliwość mierzenia temperatury z dokładnością do $0,01^\circ$ — $0,02^\circ$. Dla ułatwienia odczytywania temperatury używa się małej lunety, skierowanej na termometr i przytwierdzonej do statywu.

Kalorymetr (ryc. 65) składa się z naczynia mosiężnego Q , do którego wkłada się bombę i nalewa się ściśle



Ryc. 65.

Przed użyciem bomby do mierzenia ciepła należy ustalić pojemność cieplną całego jej urządzenia wraz z kalorymetrem, wyrażoną ilością wody w gramach.

Przy badaniu do miseczki bomby kładzie się próbkę materiału wybuchowego w ilości 2 — 3 g. Jeżeli rozżarzony drucik platynowy g z trudem zapala materiał wybuchowy, należy dodać podsypkę zapłonijącą w postaci 0,02 g rozgniecionej bawełny strzelniczej lub prochu czarnego. Potem się bombę zamyka i usuwa z niej powietrze za pomocą pompki ssącej. Przy określaniu ilości ciepła spalanie przebiega w atmosferze azotu, ponieważ tlen zmienia przebieg reakcji, szczególnie w wypadku niedostatecznej ilości jego w samym materiale. Przy określaniu ciepła tworzenia się materiału wybuchowego, przeciwnie, dla zupełnego spalania substancji używa się sprężonego tlenu. Przy określeniu ciepła tworzenia się przez spalanie substancji w atmosferze tlenu do bomby, po jej zamknięciu, wprowadza się tlen sprężony pod ciśnieniem 25 atmosfer ze zbiornika, w którym znajduje się tlen pod ciśnieniem 150 — 160 atmosfer, przez kran lub za pomocą pompy tłoczącej. Znajdujące się w bombie substancje spalają się w ciągu kilkunastu sekund. Przy spalaniu wytwarza się ciśnienie około 300 atmosfer, wobec czego korpus bomby musi być odpowiednio wytrzymały, a wszelkie połączenia dokładnie uszczelnione.

Po załadowaniu i przyłączeniu do źródła prądu, bombę ustawia się w kalorymetrze Q o pojemności 2 — 2,25 L, umieszczonym w naczyniu o podwójnych ścianach. Naczynie to, owinięte z zewnątrz filcem, zawiera około 15 — 20 litrów wody, mieszanej za pomocą mieszadła M_1 . Oznaczona kąpiel jest przeznaczona do utworzenia i utrzymania stałej i jednakowej w każdym punkcie temperatury. Osiąga się to dzięki dużej ilości wody w naczyniu W , tym bardziej, że podwyższenie temperatury wody w kalorymetrze nie przekracza 2—2,5°. Potem do kalorymetru nalewa się wody, dopóki nie pokryje znajdującą się w nim bombę, następnie uruchamia się mieszadła i czeka na ustalenie się w całym urządzeniu temperatury, co następuje zwykle po upływie 20 — 30 minut.

Po tych zabiegach odczytuje się temperaturę co minutę, przy czym mierzenie rozkłada się na trzy okresy:

- 1) okres wstępny stanowi dokładne ustalenie wymiany ciepła pomiędzy kalorymetrycznym urządzeniem i otaczającym środowiskiem. Wymiana ciepła w zależności od warunków badania może mieć przebieg trojaki, przy czym temperatura

- a) albo pozostaje niezmienną,
- b) albo jednostajnie się zwiększa (ok. $0,005^{\circ}$ — $0,01^{\circ}$ na min.),
- c) albo jednostajnie się obniża (w tym samym stopniu).

Po upływie 5 — 10 minut przeprowadza się zapalenie substancji badanej, które zapoczątkowuje

- 2) drugi okres (spalania się), w czasie którego temperatura początkowo szybko się podnosi, dochodzi do maksimum, a następnie zaczyna opadać, na początku niejednostajnie, tworząc skoki, po upływie zaś pewnego czasu zaczyna się równomierne obniżenie temperatury, które rozpoczyna
- 3) trzeci okres, kiedy się znowu ustala dokładna wymiana ciepła między kalorymetrycznym urządzeniem i najbliższym środowiskiem.

Do mierzenia temperatury w kalorymetrze i kąpeli służą termometry T_1 i T_2 ze skalą zaledwie na kilka stopni ze względu na małe podwyższenie temperatury wody, lecz z drobną podziałką do $0,02^{\circ}$ C co przy zastosowaniu lunety daje możliwość odczytania temperatury z dokładnością do $0,005^{\circ}$. Gwintowany kran f z kanałem osiowym służy do zamykania otworu, przez który się wypompowuje powietrze lub wprowadza się bądź odprowadza gazy. Ciężar części składowych bomby i kalorymetru, jak wyżej podano, z góry musi być znany; znając pojemność cieplną materiałów, z których są wykonane, oblicza się pojemność cieplną całego urządzenia, wyrażaną w gramach wody, czyli tzw. równoważnik wodny. Wartość wodną kalorymetru oznacza się również przez spalanie substancji wzorowej.

Do mierzenia ciepła wybuchu używa się także przyrządu Bichela, składającego się z bomby stalowej o pojemności 30 L i kalorymetru, który daje możliwość spalania większych próbek.

Po ukończeniu badania możemy sporządzić wykres, zaznaczając na osiach współrzędnych czas obserwacji w minutach i odpowiednie temperatury (ryc. 66). Wykres wskazuje, że podwyższenie temperatury określa różnica rzędnych.

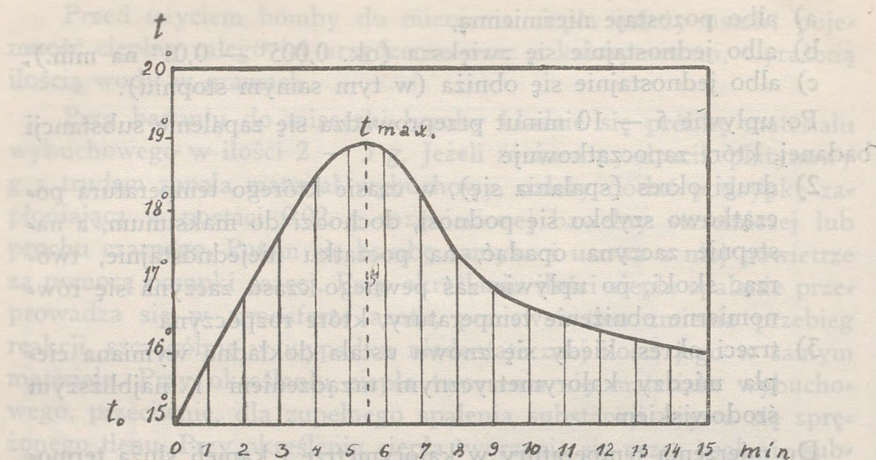
Ilość ciepła Q_v znajdziemy z równania

$$Q_v = \vartheta (W_1 + W_2),$$

gdzie ϑ — podwyższenie temperatury ($t_{\max} - t_0$),

W_1 — ilość wody w kalorymetrze i

W_2 — pojemność cieplna bomby i kalometru, wyrażona ciężarem wody w gramach.



Ryc. 66.

Określona ilość ciepła Q_v wymaga jednak poprawki ze względu na wpływ:

1. ciepła spalania drucika, który służy do zapłonienia,
2. ciepła spłonki,
3. ciepła spalania dodatkowego materiału, jeśli został użyty do zapłonienia substancji badanej, a także
4. ciepła tworzenia się kwasu azotowego przy spalaniu związków azotowych wobec tlenu, przy określaniu ciepła tworzenia się różnych ciał,
5. ciepła skraplania się cieczy itp.

Po ukończeniu badania gazy znajdujące się w bombie można wypuścić w powietrze przez otwarcie kranu lub odprowadzić w razie potrzeby do osobnego gazomierza, po czym całe urządzenie należy dokładnie oczyścić i wymyć.

Przykład. Obliczenie ciepła wybuchu dla 1 km amonkarbonitu I ($NH_4 NO_3$ 80,3%, KNO_3 5%, nitrogliceryna 4%, bawełna kolodionowa 0,2%, mąka lub skrobia 4,5% i miął prochowy 6%).

70 g po spalaniu spowodowało podwyższenie temperatury w kalorymtrze o 1,05° (po uwzględnieniu poprawki na wpływ temperatury pokojowej).

Ogólną pojemność cieplną wody ($W_1 + W_2$) obliczono na 71,719 kaloryj. Zatem ogólne ciepło wybuchu $Q_v = \vartheta (W_1 + W_2)$

wynosi $1,05 \times 71,719 = 75,205$ kaloryj. Z ogólnej ilości należy odjąć 1,381 kaloryj, przypadające na spłonkę. Pozostaje 73,824 kaloryj, wobec czego

$$Q_v \text{ dla } 1 \text{ kg} = \frac{73,824 \cdot 1000}{70} = 1055 \text{ kaloryj.}$$

Na podstawie badania gazów powybuchowych wiadomo, że przy wybuchu 1 kg ammonkarbonitu tworzy się 341,5 g wody, przy której skraplaniu zwalnia się 202 kal.

Pozostaje $1055 - 202 = 853$ kaloryj.

Jednak w chwili wybuchu nie tylko woda znajduje się w stanie gazowym, lecz i CO_2 . Przy oziębieniu CO_2 powoduje tworzenie się dwuwęglanów, wobec czego zwalnia się jeszcze 3,2 kaloryj, które należy odjąć. Ostatecznie

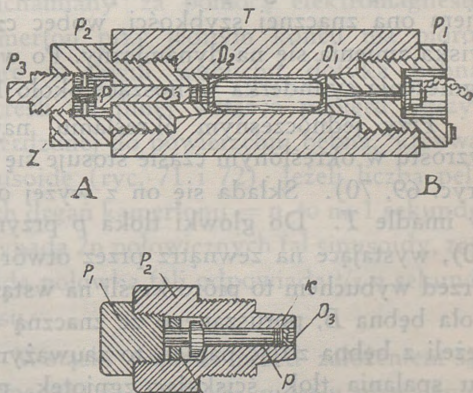
$$Q_v = 853 - 3,2 = 849,8 \text{ kaloryj.}$$

15. Mierzenie ciśnienia statycznego.

Kończąc rozdział o obliczaniu ciśnienia statycznego należy zaznaczyć, że istnieją również sposoby mierzenia tego ciśnienia.

a) W tym celu używa się bomby manometrycznej Vielle i Sarrau (ryc. 67), o pojemności 22 — 24 cm^3 , która się składa z mocnego walca stalowego T , zamykanego dwiema śrubami P_1P_2 .

Dla zapewnienia szczelności daje się miedziane pierścienie O_1O_2 . Zapłonienie następuje za pomocą zapłonniczka elektrycznego. Ciśnienie, wywołane przez wybuch, przechodzi na tłok p ze stali hartowanej o przekroju 1 cm^2 , który ciśnię na miedziany zgniotek, wałek (13 mm wysokości $\varnothing$ 8 mm). Zgnieciecie walca stanowi miarę wielkości ciśnienia, które odczytuje się podług osobnej tabeli.

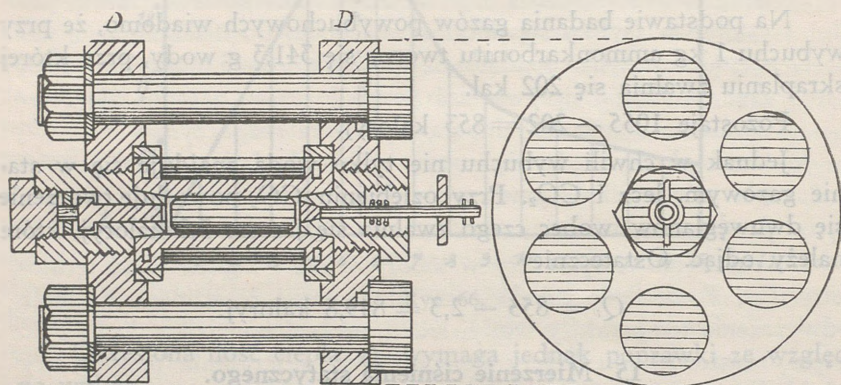


Ryc. 67.

Do podparcia walca używa się gumowego pierścienia z , celem lepszego zaś uszczelnienia gazów między tłokiem a wewnętrzną komorą

rą śruby P_2 wkłada się miedziany pierścień O_2 w odpowiednie rowki, znajdujące się na tłoku.

Bomba wytrzymuje ciśnienie do 3000 atmosfer. Przy mierzeniu większych ciśnień do 7000 atmosfer bombę wzmacnia się za pomocą pancerza, do którego się wkręca śruby P_1P_2 (ryc. 68).

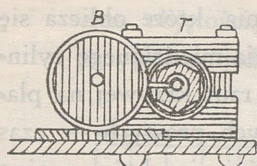


Ryc. 68.

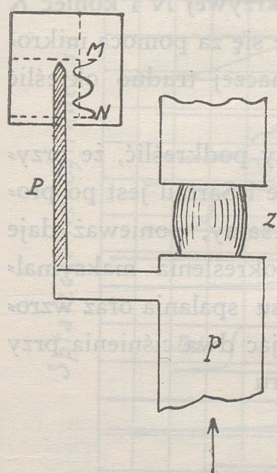
Zgniotek przed badaniem należy poddać ciśnieniu około 1100 — 1200 atmosfer w celu otrzymania dokładniejszych wyników. Zgniotki nieobciśnięte dają nadmierne zgniecenia, wobec czego zwiększa się objętość bomby, a przez to staje się zmienna gęstość ładowania; oprócz tego przy zwiększeniu drogi przesunięcia tłoku nabiera ona znacznej szybkości, wobec czego charakter statyczny zjawiska zmienia się na dynamiczny. Po wybuchu zwykle otrzymuje się zgniecenia cylinderka wynoszące około 1 mm.

Przy jednoczesnym określaniu największego ciśnienia i jego wzrostu w określonym czasie stosuje się inny przyrząd Vielle i Sarrau (ryc. 69, 70). Składa się on z wyżej opisanej bomby, umieszczonej w imadle T . Do główki tłoka p przymocowane jest pióro P , (ryc. 70), wystające na zewnątrz przez otwór, znajdujący się w śrubie P_2 . Przed wybuchem to pióro kreśli na wstążce papierowej owiniętej dookoła bębna B , poruszanego ze znaczną szybkością, koło I (ryc. 73). Jeżeli z bębna zdjąć papier, to zauważymy tylko linię prostą. W ciągu spalania tłok, ściskając zgniotek, przesuwa się wraz z piórem wzdłuż bębna i po wybuchu zacznie zakreślać koło II . Przejście z prostej koła I na prostą koła II , w zależności od szybkości obrotu bębna oraz szybkości spalania, zaznaczy się krzywą łączącą obie linie, która charakteryzuje wzrost ciśnienia. Ażeby związać krzywą wzrostu ciśnienia

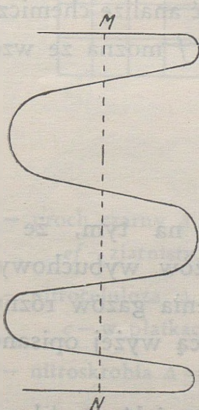
nia z czasem, określają równolegle szybkość obrotu bębna za pomocą następującego przyrządu chronograficznego. Kamerton K (ryc. 70)



Ryc. 69.

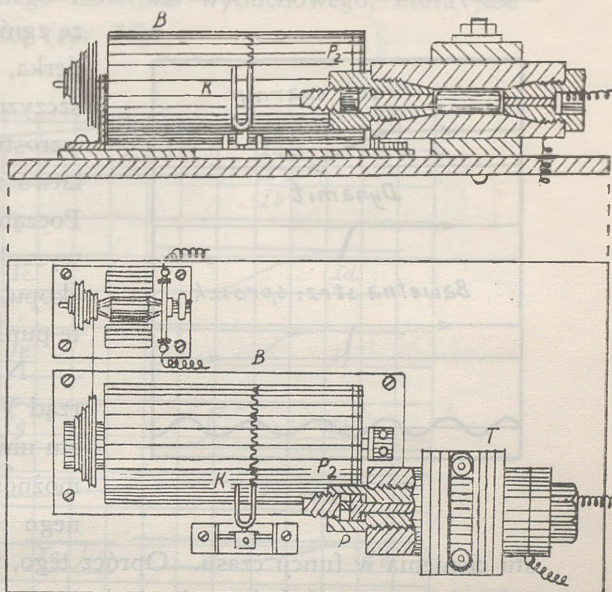


Ryc. 71.



Ryc. 72.

Droga pióra P.

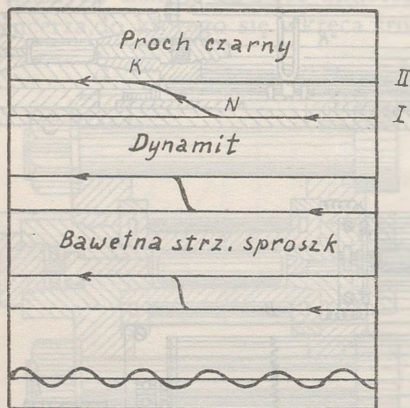


Ryc. 70.

o oznaczonej uprzednio liczbie drgań jest uruchamiany za pomocą elektromagnesu. Kamerton przy jednym końcu ma pióro, które w chwili wybuchu dotyka bębna i kreśli na innej wstążce papieru, przytwierdzonej do powierzchni bębna, krzywą sinusoidę (ryc. 71 i 72). Jeżeli liczba pełnych drgań kamertonu $= n$, to na 1 sekundę przypada $2n$ połowicznych fal sinusoidy, zaś każda połówka fali odpowiada $\frac{1}{2} n$ sekund czasu.

Wstążki papieru przed założeniem są okopcone, po badaniu w celu utrwalenia nakreślonych linii zanurza się je w roztoczynie szellaku w spirytusie i potem się suszy.

Na ryc. 73 są widoczne krzywe ciśnień dla trzech substancji oraz ich sinusoida. Strzałki wskazują względny ruch pióra. Odległość między liniami I i II wskazuje wielkość ciśnienia, które oblicza się



Ryc. 73.

ze zgniecenia miedzianego cylindra, zaś rzut krzywej na płaszczyznę tych prostych — czas wzrostu ciśnienia, który można łatwo znaleźć według sinusoidy. Początek krzywej *N* i koniec *K* wyszukuje się za pomocą mikroskopu, inaczej trudno określić te punkty.

Należy podkreślić, że przyrząd Vielle i Sarrau jest po prostu uniwersalny, ponieważ daje możliwość określenia maksymalnego czasu spalania oraz wzro-

stu ciśnienia w funkcji czasu. Oprócz tego, znając dwa ciśnienia przy różnych gęstościach ładowania, możemy ze wzoru

$$p = f \cdot \frac{\Delta}{1 - a \Delta}$$

określić ciśnienie właściwe i kowolumen; odprowadzając z bomby gazy możemy zmierzyć ich objętość i przeprowadzić analizę chemiczną.

Znając objętość gazów dla 1 kg substancji i *f* można ze wzoru

$$f = \frac{P_0 V_0}{273} T$$

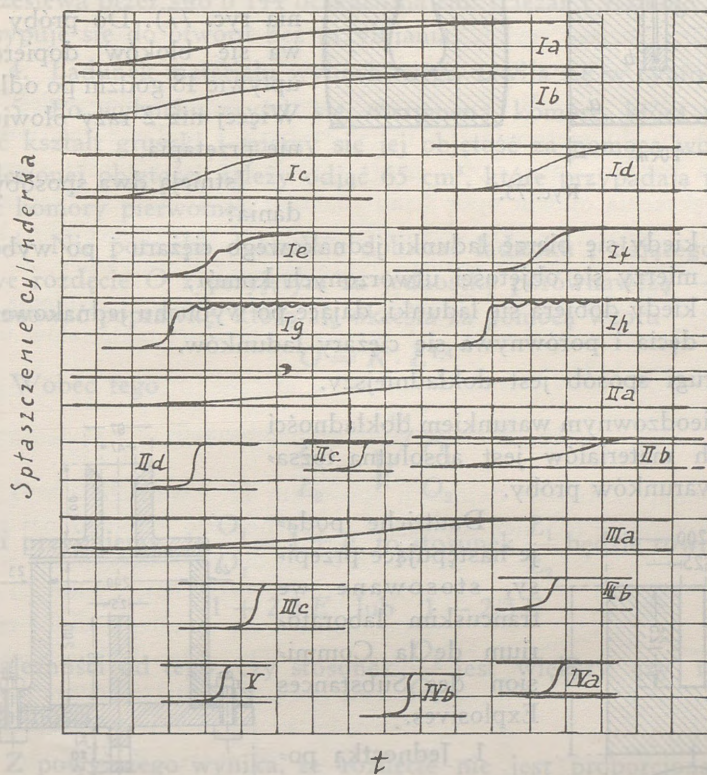
określić w przybliżeniu temperaturę wybuchu.

Niedokładność powyższej metody polega na tym, że nie uwzględnia wpływu ciśnienia dynamicznego gazów wybuchowych.

Poniżej zamieszczamy kilka wykresów ciśnienia gazów różnych materiałów wybuchowych, wykonanych za pomocą wyżej opisanego przyrządu (ryc. 74).

b) Przybliżony pomiar ciśnienia gazów materiałów wybuchowych kruszących przeprowadza się za pomocą bloku ołowia-

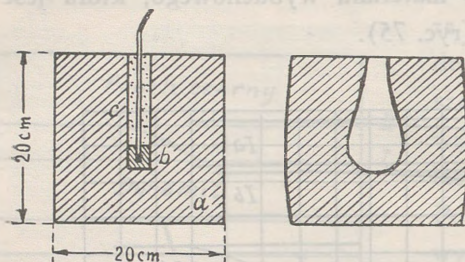
nego Trauzla. Sposób polega na wywołaniu wybuchu próbki w bloku i porównywaniu objętości komory rozdęcia z taką samą objętością innego materiału wybuchowego, która jest przyjęta za jednostkę (ryc. 75).



Ryc. 74.

- I — proch czarny $\Delta = 0,7$ (ab — prasowany, cd — prasowany w kawałkach, ef — ziarnisty, gh — pył),
- II — nitroceluloza $\Delta = 0,22$ (a — prasowana, b — prasowana w kawałkach, c — w płatkach, d — pył),
- III — nitroskrobia $\Delta = 0,22$ (a — prasowana, b — sproszkowana, c — pył,
- IV — pikrat potasu $\Delta = 0,30$ (a — prasowany, b — sproszkowany),
- V — dynamit $\Delta = 0,30$.

Przyrząd (ryc. 76) stanowi obtoczony walec z czystego ołowiu. Średnica i wysokość 200 mm. Walec ma kanał osiowy 125 mm długości o średnicy 25 mm. Bloki, przeznaczone do jednej serii prób,



Ryc. 75.

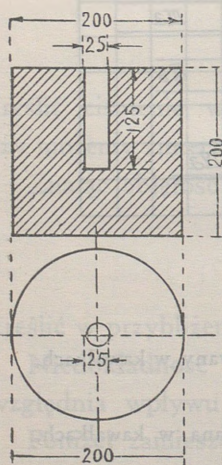
muszą być odlane z ołowiu tej samej partii i w jednakowych warunkach (forma do odlewania ryc. 77). Do próby używa się bloków dopiero po upływie 48 godzin po odlaniu. Więcej niż 2 razy ołowiu się nie przetapia.

Istnieją dwa sposoby badania:

1. kiedy się bierze ładunki jednakowego ciężaru i po wybuchu mierzy się objętości utworzonych komór,
2. kiedy dobiera się ładunki, dające po wybuchu jednakowe rozdęcia i porównywa się ciężary ładunków.

Drugi sposób jest dokładniejszy.

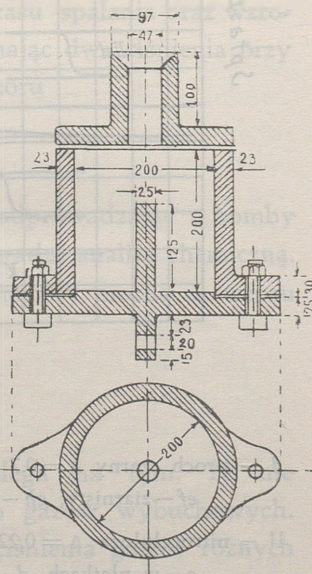
Nieodzownym warunkiem dokładności różnych materiałów jest absolutna tożsamość warunków próby.



Ryc. 76.

Dautriche podaje następujące przepisy, stosowane we francuskim laboratorium de la Commission des Substances Explosives.

1. Jednostką porównawczą jest objętość, którą się otrzymuje po wybuchu 15 g czystego kwasu pikrynowego i która posiada współczynnik 100, lub objętość po wybuchu 15 g dyna-



Ryc. 77.

mitu krzemkowego z 75% nitrogliceryny, która ma współczynnik 102.

2. Materiał wybuchowy umieszcza się na dnie kanału osiowego, przy czym mierzy się grubość warstwy, do materiału wkłada się

spłonkę 1,5 gramową z zapłonnikiem elektrycznym, przy czym spłonka wchodzić powinna do krążka korkowego 5 — 6 mm grubości z lekkim tarcim. Spłonka musi być ustawiona współosiowo do przyrządu i zagłębiona w materiale wybuchowym nie mniej niż na 25 mm.

3. Uszczelnienie stanowi piasek, który się przemywa, suszy i przesiewa przez sito o 144 oczkach na cm^2 (ciężar 1 L około 1300 g). Nasypuje się do otworu bez przybijania.

4. Ładunek materiału wybuchowego zawija się w cynfolię.

5. Po wybuchu czyści się otrzymaną komorę, która powinna mieć kształt gruszki i mierzy się jej objętość za pomocą wody. Od znalezionej objętości należy odjąć 65 cm^3 , które przypadają na objętość komory pierwotnej.

6. Nie potrzeba dokładnie dobierać ładunku, dającego jednokowe rozdęcie O z przyjętym za jednostkę porównawczą — można zastosować poprawkę, którą się określa za pomocą wzoru

$$O = K \cdot L^{1,4},$$

Wobec tego

$$\frac{L_1}{L_2} = \sqrt[1,4]{\frac{O_1}{O_2}}.$$

Jeśli przyjmiemy, że $\frac{O_1}{O_2} = 1 \pm E$, to stosunek $\frac{L_1}{L_2}$ będzie równy

$$1 + 2/3 E \quad \text{lub} \quad 1 - 2/3 E$$

w zależności od tego, czy stosunek $\frac{O_1}{O_2}$ jest większy czy mniejszy od jedności.

Z powyższego wynika, że rozdęcie nie jest proporcjonalne do ładunku i dlatego sposób porównywania objętości utworzonych ładunkami różnego ciężaru jest już w założeniu wadliwy.

7. Jeżeli materiał wybuchowy posiada nadmiar tlenu, to należy na to zwrócić uwagę, gdyż przebieg rozkładu piorunianu rtęci spłonki jest w tym wypadku inny (tworzy się CO_2 zamiast CO , dokonana zaś praca ma wpływ na wyniki badania). W praktyce zwykle się to lekceważy.

8. Dla otrzymania wyników, dających się porównać, wybuch musi mieć dużą szybkość, to znaczy, że sposób Trauzla można zastosować tylko do materiałów kruszących, ponieważ przy małej szybkości spalania część gazów przerwie się na zewnątrz, wyrzucając

uszczelnienie. Dlatego w razie wątpliwości co do szybkości detonacji, należy ją wpięrw zbadać (patrz niżej).

Materiały nie detonujące lub dające niezupełną detonację, jak np. proch czarny, miesza się dla przeprowadzenia badania z odpowiednią ilością materiału detonującego, którego współczynnik jest znany.

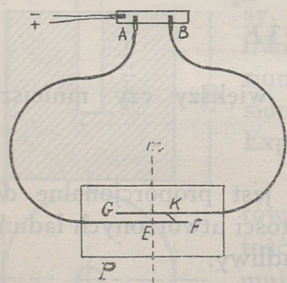
Dla większej dokładności wyników badania Dautriche zaleca dobierać materiały wybuchowe tak, żeby stosunek ciepła wybuchu do ciśnienia każdego z nich był możliwie zbliżony.

Powyższy sposób może dawać wyniki nieprawidłowe, jeśli stosuje się go do materiałów o małej szybkości spalania lub wydzielających bardzo duże ilości ciepła, ponieważ z powodu stopienia i rozmiękczenia ołowiu opór ścian znacznie się zmniejsza. Nadmierne objętości rozdzęcia zwykle wykazują materiały zawierające glin, który przy spalaniu powoduje znaczne podwyższenie temperatury.

Na ogół dane próby Trauzla są zgodne z danymi ciśnienia właściwego (patrz rubryka 14 i 15 w tabeli własności materiałów wybuchowych str. 148).

16. Pomiar szybkości detonacji.

Pomiar szybkości detonacji sposobem H. Dautriche'a wykonuje się następująco: ładunek materiału wybuchowego o określonej gęsto-



Ryc. 78.

ści około 0,2 m długości uzbraja się w trzy spłonki górnicze (ryc. 78), z których dwie boczne znajdują się w odległości 0,1 m jedna od drugiej. Do spłonek bocznych dołączone są lonty detonujące znanej szybkości detonacji v : jeden AF o długości 1 m i drugi BG o długości 0,9 m. Końce tych lontów spoczywają na 3 — 5 mm płycie ołowianej P, przy czym na długości $GF = 0,2$ m są ułożone obok siebie w odległości około 10 mm. Linia mn na płycie znajduje się w połowie odległości GF . Po zdetonowaniu ładunku wskutek spotkania się fal detonacji, przebiegającej przez obydwa lonty, tworzy się w miejscu spotkania tych fal bruzda K, w pewnej odległości na prawo lub na lewo od linii mn bądź dołeczek D przy jednym lonce 1,7 m długości (ryc. 79).

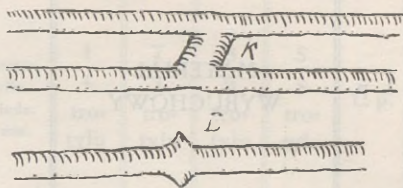
Ponieważ szybkość detonacji lontu użytego do porównania jest znana, możemy określić czas t_1 detonacji lontu na drodze

$S_1 = AE = 0,9$ m i czas t_2 detonacji ładunku na drodze $l = 0,1$ m oraz lontu na drodze $S_2 = BE = 0,8$ m.

Przy ruchu jednostajnym $t = \frac{S}{v}$.

$$t_1 = \frac{S_1}{v}$$

$$t_2 = \frac{S_2}{v} + \frac{0,1}{v_x}$$



Ryc. 79.

Jeżeli $v_x = v$ to bruzda powstaje na linii mn .

W tym wypadku $t_1 = t_2$, a zatem

$$\frac{S_1}{v} = \frac{S_2}{v} + \frac{0,1}{v_x}$$

skąd

$$v_x = \frac{0,1 \cdot v}{0,1} = v.$$

Jeżeli $v_x < v$, to bruzda wypadnie z prawej strony kreski.

Ponieważ i w tym wypadku

$$t_1 = t_2 \text{ lecz}$$

$$t_1 = \frac{S_1 + d}{v}$$

$$t_2 = \frac{S_2 - d}{v} + \frac{L}{v_x}$$

możemy napisać:

$$\frac{S_1 + d}{v} = \frac{S_2 + d}{v} + \frac{L}{v_x}$$

skąd

$$v_x = \frac{L \cdot v}{(S_1 + d) - (S_2 - d)} = \frac{0,1 \cdot v}{0,1 + 2d}.$$

Jeżeli $v_x > v$, to bruzda wypadnie z lewej strony kreski.

Ponieważ

$$t_1 = \frac{S_1 - d}{v}$$

$$t_2 = \frac{S_2 + d}{v} + \frac{L}{v_x}$$

to

$$\frac{S_1 - d}{v} = \frac{S_2 + d}{v} + \frac{L}{v_x},$$

zaś

$$v_x = \frac{L \cdot v}{(S_1 - d) - (S_2 + d)} = \frac{0,1 \cdot v}{0,1 - 2d}.$$

WŁASNOŚCI MATERIAŁÓW

L. p.	MATERIAŁ WYBUCHOWY	SKŁAD CHEMICZNY	Osiąg- alna gęstość maksym. δ	Ciepło tworz. dla 1 kg kal.	Ciepło wybuch. dla 1 kg kal.
1	2	3	4	5	6
1	Proch czarny	75 cz. KNO_3 , 10 cz. S i 15 cz. C	1,2	+ 1098,0	665
2	Bawełna strzelnicza su- cha (13% N)	$\left\{ \begin{array}{l} \text{C}_{24} \text{H}_{29} \text{O}_9 (\text{ONO}_2)_{11} \\ \text{C}_{24} \text{H}_{30} \text{O}_{10} (\text{ONO}_2)_{10} \end{array} \right\}$	1,30	+ 574,0	1025
3	Bawełna strzelnicza (16% H_2O)	jak wyżej + 48 H_2O .	1,30	+ 1101,0	875
4	Trójnitrobenzen	$\text{C}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_3$	1,63	+ 25,8	1065
5	Dwunitrobenzen	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{NO}_2)_2$	1,50	+ 40,6	870
6	Trójnitrotoluen	$\text{C}_6\text{H}_2\text{CH}_3(\text{NO}_2)_3$	1,59	+ 70,5	950
7	Trójnitroanizol	$\text{C}_6\text{H}_2\text{OCH}_3(\text{NO}_2)_3$	1,59	+ 164,0	1010
8	Kwas pikrynowy	$\text{C}_6\text{H}_2\text{OH}(\text{NO}_2)_3$	1,69	+ 204,0	1000
9	Trójnitrokrezol	$\text{C}_6\text{HOHCH}_3(\text{NO}_2)_3$	1,62	+ 251,0	925
10	Sześciornitrodwufenyloaz- mina	$\text{NH} < \begin{array}{l} \text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3 \\ \text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3 \end{array}$	1,64	— 4,6	1035
11	Czteronitrometyloanili- na (tetryl)	$\text{C}_6\text{H}_2\text{NCH}_3(\text{NO}_2)_2(\text{NO}_2)_3$	1,63	+ 23,7	1090
12	Nitrogliceryna	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3$	1,60	+ 416,0	1455
13	Dynamit okrzemkowy	$\left\{ \begin{array}{l} 75 \text{ cz. nitrogliceryny} \\ 25 \text{ cz. ziemi okrz.} \end{array} \right\}$	1,50	+ 1076,0	1090
14	Żelatyna wybuchowa	$\left\{ \begin{array}{l} 92 \text{ cz. nitrogliceryny} \\ 8 \text{ cz. baw. kolod.} \end{array} \right\}$	1,63	+ 437,0	1540

Ciąg dalszy tabeli na stronie następnej.

ŁÓW WYBUCHOWYCH.

Obję- tość gazów 1 kg L	Tempe- ratura wybu- chu °C	Szyb- kość deto- nacji v w w/sek.	Energia właś- ciwa f w kg/L	Roz- dęcie w bl. Trauzla T cm ³	Siła kru- sząca B tm/L. sek.	Splaszcz. cylin. miedz. S mm.	$\frac{f}{f}$ tro- tylu	$\frac{T}{T}$ tro- tylu	$\frac{B}{B}$ tro- tylu	$\frac{S}{S}$ tro- tylu	L. p.
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
280	2380	400	2810	nie daje się zmie- ścić	1350	0,0	—	—	—	—	1
765	3100	6300	9765	375	79800	3,0	1,2	1,3	0,9	0,8	2
720	2260	6800	6900	280	59900	2,7	0,85	0,95	0,7	0,7	3
670	3540	7000	9665	330	100300	4,1	1,2	1,2	1,2	1,2	4
670	2500	6100	7035	250	64400	2,9	0,85	0,8	0,75	0,8	5
690	2820	6700	8080	285	86100	3,6	1	1	1	1	6
675	2950	6660	8235	290	87050	3,6	1	1	1	1	7
675	3230	7100	8950	305	107400	4,1	1,1	1,1	1,2	1,2	8
675	2700	6850	7595	275	84300	3,5	0,95	0,95	1	1	9
675	3450	7100	9545	320	111150	4,1	1,2	1,1	1,3	1,2	10
710	3370	7200	9790	340	114900	4,2	1,2	1,2	1,3	1,2	11
715	4250	7450	12240	515	145900	4,6	1,5	1,8	1,7	1,3	12
545	3420	6650	7600	315	75800	3,1	0,99	1,1	0,9	0,9	13
710	4300	7800	12285	520	156300	4,8	1,5	1,9	1,8	1,3	14

L. p.	MATERIAŁ WYBUCHOWY	SKŁAD CHEMICZNY	Osiąg- alna gęstość maksym. δ	Ciepło tworz. dla 1 kg kal.	Ciepło wybuc- dla 1 kal.
1	2	3	4	5	6
15	Dynamit żelatynowany	$\left\{ \begin{array}{l} 62 \text{ cz. nitrogliceryny} \\ 2,5 \text{ cz. bawełny kolod.} \\ 25,5 \text{ cz. sal. sodowej} \\ 8,75 \text{ cz. mączki drzew.} \\ 0,75 \text{ cz. sody} \end{array} \right\}$	1,66	+ 792,8	1293
16	Saletra amonowa . . .	NH_4NO_3	1,3	+ 1107,5	347
17	Donaryt	$\left\{ \begin{array}{l} 80 \text{ cz. sal. amon. . .} \\ 12 \text{ cz. trotylu . . .} \\ 4 \text{ cz. nitroglic. żelat.} \\ 4 \text{ cz. mączki} \end{array} \right\}$	1,3	+ 963,0	930
18	T — Amonal	$\left\{ \begin{array}{l} 46 \text{ cz. sal. amon. . .} \\ 30 \text{ cz. trotylu . . .} \\ 22 \text{ cz. glinu} \\ 2 \text{ cz. węgla brunat. .} \end{array} \right\}$	1,6	+ 553,0	1465
19	Szedyt typ 60	$\left\{ \begin{array}{l} 79 \text{ cz. chlor. potas. .} \\ 15 \text{ cz. dwunitrotoluenu} \\ 1 \text{ cz. nitronaftaliny .} \\ 5 \text{ cz. oleju rycynow.} \end{array} \right\}$	1,3	+ 666,0	1185
20	Piorunian rtęci	$\text{Hg} \begin{array}{l} \text{ONC} \\ \text{ONC} \end{array}$	3,5	— 221,5	357
21	Czterozotan pentaery- trytu (Pentryt)	$\text{C}_5\text{H}_8\text{N}_{14}\text{O}_{12}$	1,7	—	1400
22	Cyklotrójmetylotrójni- troamina (Heksogen)	$\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$	1,7	—	1390
23	Nitroglikol	$\begin{array}{l} \text{CH}_2\text{ONO}_2 \\ \\ \text{CH}_2\text{ONO}_2 \end{array}$	1,5	+ 445	1580

Obję- tość gazów 1 kg L	Tempe- ratura wybu- chu °C	Szyb- kość deto- nacji v w m/sek.	Energia właś- ciwa f w kg/L	Roz- dęcie w bl. Trauzla T cm ³	Siła kru- sząca B tm/L. sek.	Splaszcz. cylin. miedz. S mm.	$\frac{f}{f}$ tro- tylu	$\frac{T}{T}$ tro- tylu	$\frac{B}{B}$ tro- tylu	$\frac{S}{S}$ tro- tylu	L. p.
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
630	3700	6100	9475	415	95950	3,9	1,2	1,45	1,1	1,1	15
980	1500	5000	6570	165	42700	—	0,65	0,6	0,5	—	16
905	2650	4000	9855	400	51250	2,0	1,3	1,4	0,6	0,6	17
605	4050	5400	9900	470	85550	2,8	1,3	1,6	1	0,8	18
337	4500	3000	6090	255	23750	1,4	0,75	0,8	0,3	0,4	19
316	4350	6500	5530	111	125800	—	0,5	0,4	1,5	—	20
780	4300	8300	12750	490	193000	—	—	—	—	—	21
905	3400	8080	12600	490	188000	—	—	—	—	—	22
715	4250	7450	12240	515	—	—	—	—	—	—	23

17. Praca ładunku wybuchowego.

Każda praca odbywa się kosztem jakiejkolwiek energii, zużywanej do pokonywania oporów, występujących podczas trwania pracy. Ponieważ ładunek materiału wybuchowego znajdujący się w pociskach zawiera tylko energię chemiczną, jest rzeczą jasną, że praca mechaniczna tego ładunku jest wynikiem zamiany chemicznej energii potencjalnej w kinetyczną w postaci ciepła. Utworzone przy tym gazy stanowią narzędzie, za pomocą którego energia wykonuje pracę mechaniczną. Ogrzanie ciał twardych, niezdolnych do większego rozszerzania się pod wpływem ciepła, nie miałoby skutków pożądanych.

Zdawałoby się, że ilość pracy mechanicznej każdego ładunku wybuchowego można mierzyć ilością energii chemicznej (potencjalnej) w nim zawartej lub ilością energii cieplnej Q , wydzielonej podczas wybuchu. W tym wypadku praca równałaby się

$$T = Q \cdot E,$$

przy czym $E = 247$ kgm jest równoważnik mechaniczny ciepła. Jest to jednak teoretycznie obliczona potencjalna energia mechaniczna, którą otrzymuje się z energii chemicznej. Istotna praca ładunku wybuchowego jest w rzeczywistości o połowę mniejsza, albowiem dużą ilość ciepła oddaje się otaczającemu środowisku, część zaś ciepła wychodzi z komory wybuchu wraz z ogrzаныmi gazami z chwilą ich uwolnienia; ponadto gazy podczas wybuchu rozszerzają się tylko do chwili zrównoważenia ich ciśnienia z ciśnieniem atmosferycznym, to znaczy, że ich ciśnienie nigdy nie dochodzi do zera, dlatego też do obliczeń bierze się Q_v — ciepło w stałej objętości.

Jak zaznaczyliśmy wyżej, potencjalna energia mechaniczna nie daje określenia ilości pracy rzeczywistej. Przy określeniu tej pracy duże znaczenie ma:

1. objętość gazów,
2. gęstość ładowania i

3. kowolumen gazów (nie poddająca się ściskaniu objętość cząsteczek),

stanowiące zasadnicze składniki ciśnienia statycznego gazów wybuchowych.

Siła wybuchu w środowisku ograniczonym jedną płaszczyzną (ziemia, skały itp.) działa w kierunku promieni stożka tworzącego się leja. Ze względu na wydajność uważa się za normalne takie działanie ładunku wybuchowego, przy którym h , to znaczy odległość od środka wybuchu do powierzchni, czyli linia najmniejszego oporu równa się r , promieniowi podstawy utworzonego leja (ryc. 80).

Praca ładunku równa się iloczynowi siły przez drogę pokonania oporów

$$L_w = F \cdot h.$$

F w danym razie równa się ciśnieniu statycznemu gazów, pomnożonemu przez przeciętną płaszczyznę niszczonych warstw środowiska:

$$F = f \cdot \frac{\Delta}{1 - a \Delta} \cdot \frac{\pi r^2}{2}$$

gdzie f jest ciśnienie właściwe w kg/cm^2 .

Kierunek działania siły zbiega się z osią stożka, którą jest linia najmniejszego oporu; wobec tego praca ładunku

$$L_w = f \cdot \frac{\Delta}{1 - a \Delta} \cdot \frac{\pi r^2}{2} \cdot h \cdot x,$$

gdzie x jest współczynnikiem wykorzystania energii ładunku wybuchowego.

Pracę wysadzanego środowiska można wyrazić przez iloczyn z objętości leja rzeczywistego i ciężaru właściwego δ gruntu:

$$L_o = \frac{1}{3} \pi r^2 h \cdot \delta.$$

Przy materiałach o dużej spoistości cząsteczkowej (mur, beton, bardzo twarde skały) współczynnik oporu δ należy zwiększyć dwukrotnie:

$$L_o = \frac{1}{3} \pi r^2 \cdot 2 \delta.$$

Dla terenów wilgotnych należy brać $0,5 \delta$.

Ponieważ przy normalnym działaniu ładunku wybuchowego $h = r$, praca zaś ładunku równa się pracy środowiska, można napisać:

$$L_w = L_o = \frac{1}{3} \pi r^3 h \delta \cong r^3 \cdot \delta.$$

Jeżeli ustalimy doświadczalnie ilość energii, czyli wielkość ładunku L , który daje lej o równych r i h , otrzymamy określenie istotnej pracy ładunku wybuchowego w danym środowisku.

Jest to zasadniczy wzór do obliczania działania ładunku wybuchowego:

$$L_{(kg)} = r^3_{(m)} \cdot \delta.$$

Przy zastosowaniu różnych materiałów wybuchowych praca ładunku jest odwrotnie proporcjonalna do ciśnienia statycznego gazów. Wobec tego nasz wzór należy uzupełnić:

$$L = \frac{r^3 \cdot \delta}{\varphi}$$

gdzie φ jest to stosunek ciśnienia statycznego materiału wybuchowego do ciśnienia statycznego trotylu, przyjętego za jednostkę miary.

Wzór powyższy przewiduje zupełne wykorzystanie gazów wybuchowych. Natomiast przy komorze niezupełnie uszczelnionej należy uwzględnić jeszcze czynnik uszczelnienia „ u “, którego wartość waha się od 1 (przy komorze dobrze uszczelnionej) do 6 (przy ładunku otwartym):

$$L = \frac{r^3 \cdot \delta \cdot u}{\varphi}$$

Kąt rozwarcia stożka leja jest niejednakowy, w zależności od zagłębienia ładunku. Przy jakiegokolwiek bądź wartości

$$n = \frac{r \text{ (promień działania ładunku)}}{h \text{ (zagłębienie ładunku)}}$$

$$L = \frac{r^3 \cdot \delta \cdot u \cdot (\sqrt{1 + n^2} - 0,41)^3}{\varphi}$$

gdzie L — ładunek materiału wybuchowego w kg,

r — promień działania ładunku w m,

δ — ciężar właściwy gruntu.

Ładunek wybuchowy, umieszczony w określonej komorze wybuchu, tworzy tak zwaną minę. Przy minie normalnej $r = h$. Wobec tego z poprzedniego równania

$$h = \sqrt[3]{\frac{L \cdot \varphi}{\delta \cdot u (\sqrt{1 + n^2} - 0,41)^3}}$$

Działanie wybuchowe każdego pocisku mierzy się objętością wyrzuconej ziemi, równej objętości pozostałego po wybuchu leja.

Największe zniszczenie uzyskuje się przy kącie rozwarcia stożka leja $= 90^\circ$, przy którym r , równy promieniowi leja, jest jednocześnie równy zagłębieniu ładunku h .

Analizując działanie tego samego ładunku przy różnym zagłębieniu, można znaleźć uzasadnienie powyższego twierdzenia.

Weźmy $h_1 = 1$ m, $h_2 = 0,5$ i $h_3 = 1,5$ m, przy czym $L = 1$, $\delta = 1$, $\varphi = 1$ i $u = 1$.

1. W pierwszym wypadku:

$$\begin{aligned} h_1 &= \sqrt[3]{\frac{L \cdot \varphi}{\delta \cdot u (\sqrt{1 + n^2} - 0,41)^3}} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 + n^2} - 0,41} \sqrt[3]{\frac{L \cdot \varphi}{\delta \cdot u}} = 1; \end{aligned}$$

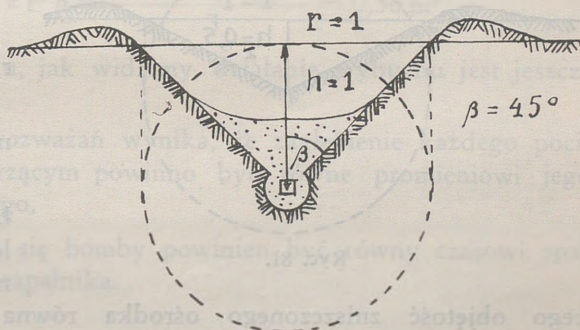
ponieważ wskaźnik miny

$$n = \frac{r}{h} = 1,$$

to $r = h_1 \cdot 1 = 1$ m.

Kształt leja otrzyma się następujący: Ryc. 81.

Objętość zniszczonego ośrodka wynosi:



Ryc. 80.

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h = 1,04 \text{ m}^3.$$

Naokoło ładunku tworzy się komora ciśnienia, czyli kruszenia, które jednak zwykle zasypuje się gruzem i której się nie bierze do rachunku.

Widoczna głębokość leja przy minach o wskaźniku $n = 1 - 1,5$ wynosi $\frac{r \cdot n}{2}$. Lej zasypuje się dość równomiernie, wobec czego widoczna część leja ma kształt czaszy kulistej lub ściętego stożka. Jej objętość przy $n = 1$:

$$V = \frac{1}{3} \pi h^2 (3r - h) = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{3} (3 \cdot 1 - 0,5) \cong 0,575 \text{ m}^3.$$

W tym wypadku mamy $0,575 \text{ m}^3$ materiału wyrzuconego i $1,04 - 0,575 = 0,429 \text{ m}^3$ materiału zniszczonego, znajdującego się na dnie leja.

2. W drugim wypadku

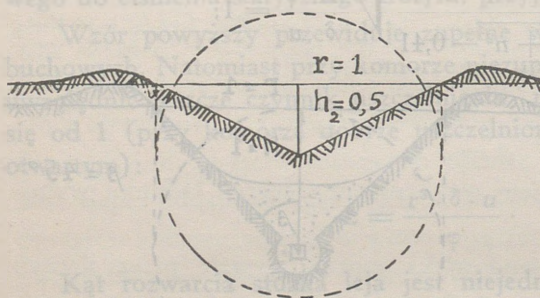
$$h_2 = 0,5 = \frac{1}{\sqrt{1 + n^2} - 0,41} \cdot \sqrt[3]{\frac{L \cdot \varphi}{\partial \cdot u}} = \frac{1}{\sqrt{1 + n^2} - 0,41}$$

skąd

$$\sqrt{1 + n^2} = \frac{1}{0,5} + 0,41 = 2,41;$$

$$1 + n^2 = 2,41^2, \text{ zaś}$$

$$n = \sqrt{2,41^2 - 1} = \sqrt{4,8} \cong 2,2.$$



Ryc. 81.

Ze wzoru

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

$$r = 2,2 \cdot 0,5 = 1,1 \text{ m.}$$

Kształt leja będzie następujący: Ryc. 81.

Przy minach przeładowanych ($n > 1$) lej nie jest narażony na zasypanie, wobec

czego objętość zniszczonego ośrodka równa się objętości leja widocznego, którą można obliczyć jako objętość stożka kołowego o $r = 1,1$ i $h = 0,5 \text{ m}$.

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 \cdot 0,5 = \frac{3,14 \cdot 1,2}{3} \cdot 0,5 = 0,64 \text{ m}^3.$$

Jak widzimy, działanie wybuchowe danej miny jest prawie o połowę mniejsze w porównaniu z działaniem miny poprzedniej,

co się tłumaczy niewykorzystaniem całkowitej ilości gazów (patrz ryc. 81).

3. W trzecim wypadku:

$$h_3 = 1,5 = \frac{1}{\sqrt{1+n^2-0,41}} \cdot \sqrt{\frac{L \cdot \varphi}{\delta \cdot u}} = \frac{1}{\sqrt{1+n^2-0,41}},$$

skąd

$$\sqrt{1+n^2} = \frac{1}{1,5} + 0,41 = \frac{1+(0,41 \cdot 1,5)}{1,5} = \frac{1,615}{1,5} = 1,07;$$

$$n = \sqrt{1,07^2 - 1} = \sqrt{0,14} \cong 0,4,$$

$$n = \frac{r}{h}, \text{ zaś } r = 1,5 \cdot 0,4 = 0,6 \text{ m.}$$

Kształt leja będzie następujący:
Ryc. 82.

Leje min o wskaźniku $n < 0,75$ są lejami min głuchych, wobec czego wyrzucenie zniszczonego materiału z obrębu leja nie następuje.

Objętość tego materiału:

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h = \frac{3,14 \cdot 0,6^2 \cdot 1,5}{3} = 0,56 \text{ m}^3.$$

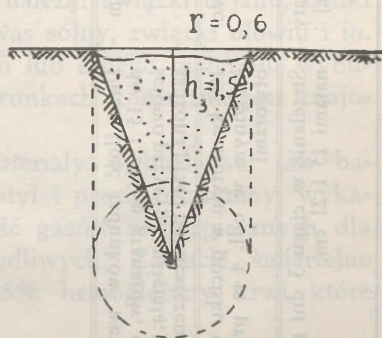
W tym wypadku, jak widzimy, działanie wybuchu jest jeszcze słabsze.

Z powyższych rozważań wynika, że zagłębienie każdego pocisku o działaniu burzącym powinno być równe promieniowi jego działania wybuchowego.

Czas zagłębienia się bomby powinien być równy czasowi spalania się opóźniacza zapalnika.

18. Działanie ładunku wybuchowego w różnych środowiskach.

Wybuchem nazwaliśmy błyskawiczne spalanie się ciała z wydzielaniem bardzo dużej ilości ciepła, które przez ogrzanie powstałych gazów do wysokiej temperatury niezmiernie zwiększa ich prężność. Osiągnięte przy tym ciśnienie umożliwia wykonanie dużej pracy mechanicznej.



Ryc. 82.

Miejsce pobrania próby	Materiał wybuchowy	Pobrana ilość gazu	Znaleziona ilość proc. w powietrzu		Stosunek C O C O ₂
			C O	C O ₂	
Jama wybuchowa, zamknięta, 25 m ³ objętości	270 g trotylu, przysypanego piaskiem	480 cm ³ po upływie 1 minuty	0,192	0,112	63 : 37
	270 g trotylu, przysypanego piaskiem	360 cm ³ po upływie 2 minut	0,150	0,043	78 : 22
	990 g trotylu, przysypanego piaskiem	1628 cm ³ niezwłocznie	0,726	0,265	73 : 27
	480 g trotylu w granacie 76 mm	1375 cm ³ po upływie 1 minuty	0,253 0,256	0,121 0,103	68 : 32 71 : 29
	520 g kw. pikt. w granacie 76 mm	1628 cm ³ po upływie 1 minuty	0,269	0,227	54 : 46
Poligon, teren otwarty w kierunku wiatru, w odległości 10 m od miejsca wybuchu	3 ładunki wewn. 21 cm, granatu w tekturze o ciężarze ok. 18 kg zasypane warstwą ziemi 50 cm, wysadzone w odstęпах co 5 sek.	2090 cm ³	0,017	0,008	68 : 33
		2045 "	0,019	0,008	70 : 30
		2180 "	0,038	0,018	69 : 32
		1895 "	0,015	0,005	76 : 24
		2150 "	0,026	0,008	76 : 24
W pomieszczeniu fortcznym przewietrzanym	Duża ilość ładunków wewn. do 15 i 21 cm granatów, częściowo przysypiana ziemią, wysadzona przed pomieszczeniem	Po każdym wybuchu około 1800—1900 cm ³ w odstęпах co 15 minut	Nie stwierdzono	0,06 0,11	—
		3000—4000 cm ³ po upływie 5—6 minut od chwili wybuchu	0,010 0,014	0,030 0,070	75 : 25 83 : 17
W strzelnicy z bocznymi otworami	100 kg trotylu w pocisku wysadzonym w odl. 4 m przed otworami				
Wewnątrz betonowej kamraty zamkniętej i nie przewietrzanej	Strzelanie w ciągu 3 dni granatami 15 i 21 cm.	Okolo 1000 cm ³ jednocześnie i automatycznie z różnych miejsc, co 10 minut	0,01 0,05	0,02 0,10	—

Wybuch posiada działanie chemiczne, termiczne i mechaniczne. Podczas wybuchu powstają gazy o nietrwałej budowie, które dążą do łączenia się w związki trwałe. Np. CO zamienia się w CO_2 . Na tym polega chemiczne działanie gazów w chwili rozkładu wybuchowego materii. Własności gazów powybuchowych mają duże znaczenie przy określaniu zdatności materiałów, przeznaczonych do pracy w zamkniętych przestrzeniach. Materiał bowiem, doskonale nadający się do pracy na powietrzu, może być szkodliwy, a nawet niebezpieczny przy zastosowaniu w schronach, wieżach pancernych lub w kopalniach ze względu na trujące działanie produktów wybuchu, do których oprócz wyszczególnionych należą: związki cyjanu, tlenki azotu, kwas siarkowy, siarkowodór, kwas solny, związki ołowiu i in. Dlatego przy określaniu zdatności tego lub innego materiału wybuchowego do pracy w określonych warunkach konieczna jest znajomość przebiegu reakcji wybuchu.

Najbardziej rozpowszechnione materiały wybuchowe, jak bawełna strzelnicza, kwas pikrynowy, trotyl i proch bezdymny, wykazują w produktach wybuchu obecność gazów niebezpiecznych dla zdrowia (CO) lub pozostałości szkodliwych. Zatrucie śmiertelne gazem CO następuje po nasyceniu 65% hemoglobiny krwi, które jest możliwe już przy stężeniu 0,5%.

W lejach po wybuchu pocisków burzących pozostaje pewna ilość gazów o własnościach trujących, dlatego nie należy wchodzić do nich natychmiast po wybuchu.

Wyniki badań Kasta, mających na celu ustalenie rozprzestrzenienia się trujących gazów po wybuchu, podajemy w tabeli na str. 153.

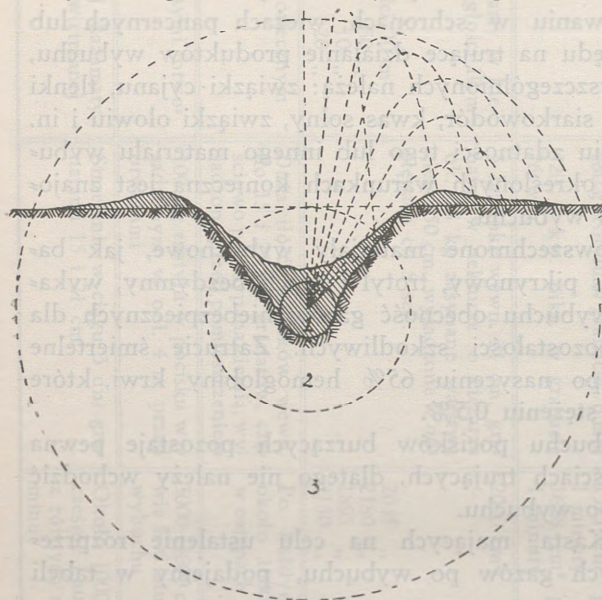
Działania termiczne wybuchu wyraża się w natychmiastowym podniesieniu temperatury środowiska i przedmiotów znajdujących się w styczności z gazami wybuchowymi. Aczkolwiek działanie termiczne wybuchu wskutek wysokich temperatur ($2000 - 3000^\circ \text{C}$) jest znaczne, jednak praktycznego znaczenia nie posiada. Jedynie w kopalniach ze względu na możliwość zapalenia się gazów kopalnianych i pyłu węglowego wysokie temperatury wybuchu nie są pożądane. Przepisy górnicze francuskie zabraniają używania w kopalniach materiałów wytwarzających temperaturę wyższą ponad 1500°C .

Podczas wybuchu obserwujemy również płomień, który jednak nie posiada własności zapalnych z powodu braku dostatecznej ilości tlenu w atmosferze gazów powybuchowych.

Działanie mechaniczne wywołane przez ogromne ciśnienie gazów przy wysokiej temperaturze wyraża się w kruszeniu otaczającego

środkowiska i pobliskich przedmiotów oraz w łamaniu, przesuwaniu i miotaniu ich części składowych. Potężna praca gazów wybuchowych jest niezmiernie większą od muskularnego wysiłku człowieka i pracy wynalezionych przez niego maszyn, gdyż np. tylko 1 kg dynamitu w ciągu 1 sekundy czasu rozwija siłę równą 2.000.000 KM.

Czas trwania detonacji jest bardzo krótki i wynosi $t = \frac{l}{v}$, gdzie l jest długość ładunku wybuchowego, a v — szybkość detonacji w m/sek.



Ryc. 83.

1 — ośrodek wybuchu, 2 — ośrodek zniszczenia,
3 — ośrodek wstrząśnienia.

i wyraża się w rozdrobnianiu, łamaniu, przesuwaniu i odrzucaniu większych lub mniejszych brył zniszczonego materiału, oraz w utworzeniu szczelin. Przestrzeń niszczącego działania wybuchu nazywa się *ośrodkiem zniszczenia*. Ciśnienie gazów słabnie w miarę oddalania się od środka wybuchu, gdyż przedmiotem jego działania stają się coraz większe powierzchnie i masy materiału, przy czym w każdej warstwie część siły uderzenia zużywa się na ogrzanie, dźwiganie i rozrywanie cząsteczek, z których składa się otaczające środowisko. Poza ośrodkiem zniszczenia znajduje się *ośrodek wstrząśnienia*, w którym spójność cząsteczek pozostaje nienaruszona, chociaż cząsteczki te ulegają chwilowemu wstrząśnieniu (ryc. 83).

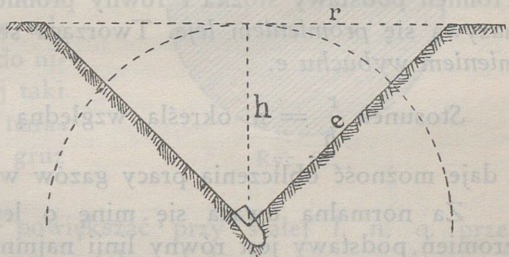
W chwili wybuchu ładunku początkowe uderzenie gazów jest skierowane na przylegające warstwy środowiska, w którym umieszczono ładunek. Wskutek gwałtownego ściśnięcia najbliższych warstw naokoło ładunku wytwarza się próżna przestrzeń, która nazywa się *ośrodkiem wybuchu* lub *kruszenia*. Dalsze działanie mechaniczne wybuchu rozprzestrzenia się warstwami współśrodkowymi

Ostatecznie skutek wybuchu tworzą się w danym środowisku kuliste przestrzenie kruszenia i zniszczenia. Jeżeli działanie gazów przy dostatecznym ciśnieniu dosięga jakiejkolwiek bądź powierzchni wysadzanego przedmiotu, wtedy część zniszczonego materiału wyrzuca się w kierunku promieni otwartego stożka, wskutek czego tworzy się lej, którego wielkość i kształt zależą od wielkości i kształtu ładunku wybuchowego, głębokości jego założenia, własności fizycznych środowiska i uszczelnienia komory minowej. Komorą minową nazywa się pomieszczenie przeznaczone dla ładunku wybuchowego, miną zaś — komora nabitą, której ładunek wybuchowy jest zaopatrzone w urządzenie zapalające, składające się ze spłonki detonującej, samej lub połączonej z odpowiednim pobudzaczem oraz z przewodem ogniowego lub elektrycznego. Należy nadmienić, że w praktyce minerskiej do wysadzania ziemi, murów, skał, pni drzewnych itp. używa się ładunków skupionych, mających kształt sześcianu lub kuli, natomiast do przebicia belek drewnianych lub stalowych używa się ładunków wydłużonych.

19. Działanie wybuchu w ziemi i skałach.

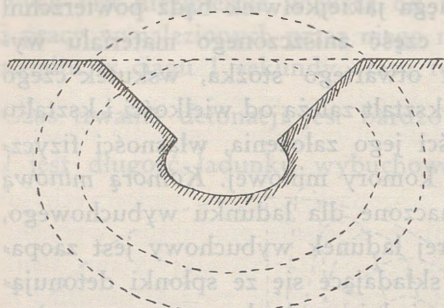
a) Rodzaje min.

Przy wysadzaniu ziemi od strony powierzchni ciśnienie gazów napotyka opór najsłabszy, który w końcu pokonywa. Pod wpływem działania mechanicznego gazów wybuchowych ziemia początkowo się podnosi, następnie pęka i zostaje wyrzuconą w kierunku promieni wybuchu, przy czym na powierzchni tworzy się lej. Jeżeli grunt jest jednolity, a ładunek skupiony, to ośrodek wybuchu przyjmuje kształt kuli współśrodkowej z ładunkiem wybuchowym, lej zaś — kształt ściętego stożka lub półkuli. Podobnie działają również pociski i bomby burzące, jeżeli w chwili wybuchu zajmują położenie zbliżone do prostopadłego w stosunku do powierzchni gruntu (ryc. 84). Natomiast wydłużone ładunki wybuchowe, równoległe do



Ryc. 84.

powierzchni niszczonej, tworzą elipsoidalne przestrzenie wybuchu i dają leje w kształcie paraboloidów (ryc. 85).



Ryc. 85.

Przy ładunkach normalnych, to znaczy obliczonych tylko na zniszczenie w obrębie leja, lub mniejszych, ziemia wyrzucona w kierunku przeciwnym wybuchu, opadając, częściowo trafia z powrotem do leja, częściowo zaś rozsypuje się dookoła i tworzy tzw. *wieniec*. W takim leju można odróżnić warstwę skopanej ziemi, która jednak nie posiada wyraźnej granicy z gruntem nienaruszonym, gdyż pomiędzy nimi znajdują się jeszcze warstwy popękane i w mniejszym stopniu dotknięte wybuchem.

W praktyce artyleryjskiej przeważnie ma się do czynienia z lejami, które można przedstawić w postaci stożka, odwróconego podstawą do powierzchni ziemi, z której płaszczyzną się zlewa. Wierzchołek stożka znajduje się w środku ciężkości ładunku wybuchowego, który jest zarazem środkiem wybuchu (ryc. 84).

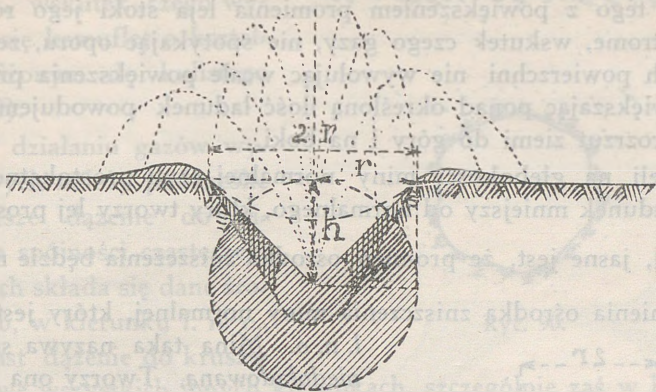
Najkrótsza linia od środka ładunku do powierzchni ziemi nazywa się *linią najmniejszego oporu*, oznaczaną zwykle literą h . Promień podstawy stożka r równy promieniowi ośrodka zniszczenia nazywa się *promieniem leja*. Tworząca stożka leja nazywa się *promieniem wybuchu* e .

Stosunek $\frac{r}{h} = n$ określa względną wielkość ciśnienia gazów i daje możność obliczenia pracy gazów wybuchowych.

Za normalną uważa się minę o leju prostokątnym, którego promień podstawy jest równy linii najmniejszego oporu, to znaczy kiedy $n = \frac{r}{h} = 1$ (ryc. 86). W tym wypadku ciśnienie gazów całko-

wicie zużywa się na zniszczenie i wyrzucenie ziemi, która się znajduje w granicach stożka. Część ziemi opada i zasypuje częściowo lej.

Jeżeli na tej samej głębokości założymy ładunek większy, to otrzymamy większy promień działania ciśnienia gazów, którego długość będzie większa od długości l . n. o. Wskutek tego ośrodek

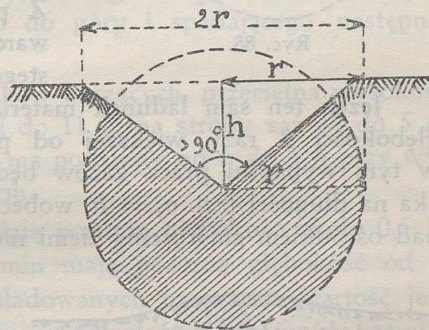


Ryc. 86.

zniszczenia znacznie się powiększy, a utworzony lej będzie posiadał promień r większy od h , inaczej mówiąc $\frac{r}{h} = n > 1$. Kąt rozwarcia leja będzie większy od prostego (ryc. 87).

Mina o wskaźniku $n > 1$ nazywa się *miną przeładowaną*.

Siłę gazów w tym wypadku ległości, niż przy ładunku normalnego przedmiotu i znaczna jej część służy jedynie do rzućcenia odłamków na dalsze odnie całkowicie zużywa się do normalnym, wskutek czego lej taki w mniejszym stopniu jest narażony na zasypanie przez gruz spadający z góry.

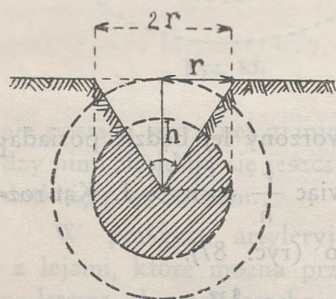


Ryc. 87.

Promień leja można powiększać przy stałej l n. o. przez zwiększanie ładunku lub przy stałym ładunku przez podniesienie środka wybuchu, jednak do pewnej granicy, mianowicie do $n=3$. Dalsze zwiększanie ładunku nie osiągnie żądanych skutków. Tłumaczy się to tym, że do zupełnego rozkładu ładunku potrzebny jest pewien przeciąg czasu. Ziemia jednak zaczyna się podnosić już od pierwszej chwili tworzenia się gazów wybuchowych, dzięki czemu gazy utworzone cokolwiek później kierują się w stronę najmniejszego oporu wywierając słabe działanie na boki i w kierunku dna leja.

Oprócz tego z powiększeniem promienia leja stoki jego robią się mniej strome, wskutek czego gazy, nie spotykając oporu, ześlizgują się z ich powierzchni nie wywołując wcale powiększenia promienia leja. Zwiększając ponad określoną ilość ładunek powodujemy tylko dalszy rozrzut ziemi do góry i na boki.

Jeżeli na głębokości miny normalnej czyli prostokątnej umieścimy ładunek mniejszy od normalnego, który tworzy lej prostokątny ($\frac{r}{h} = 1$), jasne jest, że promień ośrodka zniszczenia będzie mniejszy



Ryc. 88.

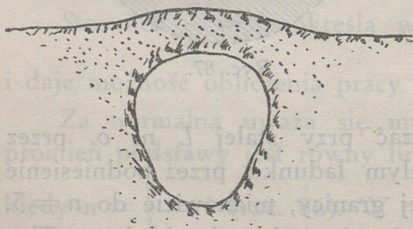
od promienia ośrodka zniszczenia miny normalnej, który jest równy l. n. o. Mina taka nazywa się *miną niedoładowaną*. Tworzy ona lej, którego głębokość równa się głębokości leja miny normalnej, jednak promień leja będzie mniejszy.

W tym wypadku

$$n = \frac{r}{h} < 1, \text{ ale } > 0,5.$$

Z powyższego wynika, że kąt rozwarcia leja będzie mniejszy od prostego (ryc. 88).

Jeżeli ten sam ładunek materiału wybuchowego umieścimy na głębokości 2 razy większej od promienia działania ładunku, to w tym wypadku praca gazów będzie mniejsza od pracy środowiska na długości l. n. o. = h , wobec czego wyrzucenie znajdującej się nad ośrodkiem zniszczenia ziemi nie nastąpi. Zwykle wskutek gwał-



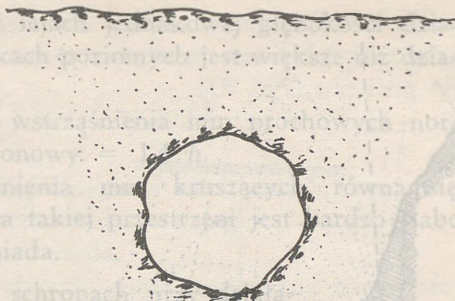
Ryc. 89.

townego ściśnięcia warstw przylegających do ładunku wytwarza się próżna przestrzeń w kształcie gruszki z podniesioną nad nią warstwą, stykającą się z powierzchnią ziemi, w kształcie kopuły, która często nie utrzymuje się i obruśza w znajdującą się pod nią próżnię, która nosi nazwę *miny głuchej* lub *kamufleta* (ryc. 89).

Przy większym zagłębieniu ładunku działania gazów na powierzchni ziemi wcale nie można zauważyć. Praca gazów w tym wypadku polega jedynie na ściśnięciu warstw ziemi, otaczających

ładunek, wskutek czego wytwarza się kamuflet o kształcie zbliżonym do kulistego (ryc. 90).

W działaniu gazów wybuchowych należy podkreślić największe dążenie do niszczenia spójności cząsteczek, z których składa się dane środowisko, w kierunku l. n. o., natomiast dążenie do kruszenia — we wszystkich innych kierunkach, szczególnie zaś w kierunku dna komory minowej.



Ryc. 90.

b) Wymiary leja pozornego, odległość i kierunek rozrzutu gruzu.

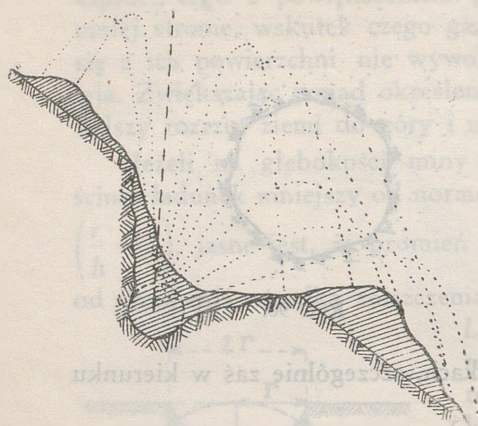
Lej pozorny, utworzony przez wybuch, wskutek zasypania i obsuwania się ziemi lub skały ma przeważnie kształt kotliny otoczonej wieńcem, usypanym z gruzu wyrzuconego bezpośrednio z obrębu leja oraz z gruzu podrzuconego do góry i spadającego następnie w dół.

Przy wybuchu dużych pocisków burzących przeciętna wysokość rozrzutu ziemi do góry dochodzi do 11 h , na strony zaś — do 5 h . Wieniec utworzony naokoło leja ma podstawę od h do 3 h przy wysokiej przeciętnej od 20 do 100 cm.

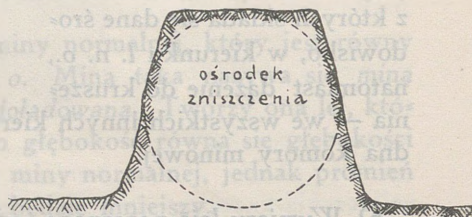
Leje min normalnych posiadają pozorną głębokość około 0,5 h , natomiast leje przeładowanych min mają pozorną głębokość od h do 2 h ; przy minach zaś niedoładowanych oznaczona wartość jest mniejsza od 0,5 h . Miny zbliżone na odległość sumy swych promieni dają leje o głębokości równej h .

Jeżeli wysadzana powierzchnia jest ukośna w stosunku do poziomemu, to w tym wypadku większa część ziemi wyrzuconej spadnie na powierzchnię, znajdującą się poniżej leja, ziemia zaś, która spadła wyżej, zsunie się do leja, wskutek czego objętość tegoż będzie mniejsza niż przy wysadzaniu powierzchni poziomej (ryc. 91).

Jeżeli ośrodek działania miny dosięga dwóch powierzchni, ograniczających przedmiot niszczonej, to zostaje wysadzona i wyrzucona większa objętość ziemi niż przy wysadzaniu jednej powierzchni poziomej (ryc. 92).



Ryc. 91.



Ryc. 92.

W ogóle, im więcej powierzchni styka się z ośrodkiem zniszczenia, tym większe objętości ulegają zniszczeniu i zniekształceniu. Dotyczy to takich przedmiotów, jak groble, okopy, nasypy kolejowe, przyczółki mostów, pnie drzewa, kłoce, mury, studnie oraz — pociski i działa.

c) Wewnętrzne działanie miny.

Wewnętrzne działanie miny polega na utworzeniu ośrodków kruszenia, zniszczenia i wstrząśnienia. Miny ładowane prochem tworzą ośrodki wybuchu i zniszczenia o kształcie elipsoidów, ładowane zaś materiałem kruszącym tworzą ośrodki kuliste. Ośrodek wybuchu min prochowych w ziemi ma objętość 100 razy większą od objętości ładunku. Już Jan Bernulli utrzymywał, że „powietrze zawarte w prochu strzelniczym jest 100 razy gęstsze niż zwykle“ (Effervescentia et fermentatione, anno 1690). Ośrodek kruszenia ładunków kruszących w ziemi jest 300 razy, w konstrukcjach zaś murowanych 10 razy większy od objętości użytego ładunku.

Ośrodek zniszczenia min prochowych przy $l. n. o. = h$ posiada promień pionowy $= h$, promień zaś poziomy $= 1,4 h$. Promień ośrodka zniszczenia min kruszących równa się linii najmniejszego oporu miny normalnej. Promień ośrodka zniszczenia min przeładowanych i niedoładowanych równa się $l. n. o.$ normalnej miny, mającej taki sam ładunek, jaki posiada mina rozpatrywana. Promień ośrodka zniszczenia min głuchych jest mniejszy od $0,5 h$.

Należy nadmienić, że przy lejach jednakowej głębokości działanie min prochowych w kierunkach poziomych jest większe niż działanie min kruszących.

Poziomy promień ośrodka wstrząśnienia min prochowych normalnych = 1,75 h , promień pionowy = 1,4 h .

Promień ośrodka wstrząśnienia min kruszących równa się 3 — 4 r , lecz działanie miny na takiej przestrzeni jest bardzo słabe i praktycznego znaczenia nie posiada.

Promień bezpieczeństwa w schronach przy działaniu miny (patrz str. 181 i ryc. 109).

$$\rho_b = 0,8 e$$

Promień obruszenia.

$$\rho = 0,7 e$$

Niebezpieczeństwo wykluczone przy $r_b = e$

Stosunek $\frac{e}{h}$ nie powinien być większy od 1,8 bądź

„ $\frac{r}{h}$ „ „ 1,5 „

Zwiększenie tego stosunku w stopniu nieznacznym wpływa na zwiększenie wewnętrznego działania miny.

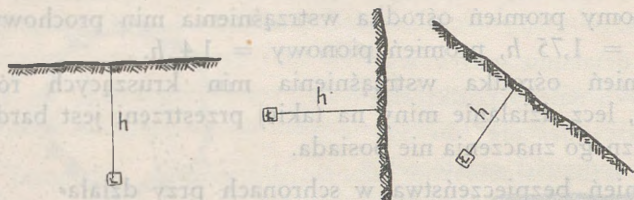
d) Czynniki, od których zależy wydajność wybuchu.

Mechaniczne działanie gazów zależy przede wszystkim od rodzaju materiału wybuchowego. Miara porównawczą w tym wypadku jest ciśnienie statyczne, którego wielkość zależy od ciśnienia właściwego i gęstości ładowania komory minowej. Wobec tego przy jednakowych warunkach ładowania miarą porównawczą może być ciśnienie właściwe (patrz str. 123).

Drugim czynnikiem wpływającym na wartość pracy ładunku wybuchowego jest wielkość oporów pokonywanych, które się mierzy praktycznie wielkością zagłębienia ładunku, czyli $I. n. o.$

Jeżeli umieścimy 1-kilogramowy ładunek materiału kruszącego w ziemi na głębokości 0,5 m, a drugi taki sam ładunek — w innym miejscu na głębokości 3 m, to przy wysadzeniu obu ładunków za-uwazymy, że skutki działania utworzonych min będą różne. W pierwszym tylko rozluźnienie gruntu w obrębie pewnego ośrodka, tak że z zesz-łym wypadku siła gazów, działając na mniejszą objętość ziemi, będzie wewnątrz działania tego wcale nie będzie można zauważyć. $L. n. o.$ może dzie w stanie wyrzucić gruz na pewną odległość i utworzy lej, w drugim zaś — działając na znacznie większą objętość ziemi, nie będzie miała możliwości pokonać stawianego przez ziemię oporu i spowoduje być pionowa, jeżeli powierzchnia przedmiotu niszczonego jest

pozioma, albo pozioma przy niszczeniu przedmiotów o powierzchni pionowej lub wreszcie ukośna przy obiektach z powierzchnią ukośną do poziomu (ryc. 93).



Ryc. 93.

Trzeci czynnik — to *własności fizyczne środowiska*.

Jeżeli umieścimy ładunki o jednakowym ciężarze na jednakowej głębokości w gruntach rozmaitych, np. w piasku, w twardej glinie i w gruncie skalnym, to zauważymy, że działanie poszczególnych ładunków będzie niejednakowe, gdyż wyniki wybuchów będą zależne od fizycznych własności niszczonego obiektu: ciężaru gruntu, spójności cząsteczek, wytrzymałości na ściskanie itp.

Działanie gazów materiałów kruszących w pulchnej ziemi lub świeżo nasypianych kopcach i groblach polega tylko na ściskaniu i rozrywaniu cząsteczek w kierunkach promieni wybuchu. Podobne środowisko, nie stawiając dużego oporu rozzerwaniu, wytrzymuje duże ciśnienie i zewnętrzny skutek wybuchu bywa zwykle nieznaczny. Przeciwnie, w środowisku o dużej gęstości, np. w gruncie skalnym, w murach wybuch nawet małych ładunków powoduje zniszczenie najbliższych położonych warstw i oprócz tego rozrzucenie odłamków i popękanie materiału na dużej odległości od środka wybuchu.

Następnie, również ważnym czynnikiem, od którego zależy skuteczność wybuchu, jest *uszczelnienie komory*, w której się mieści ładunek wybuchowy. W praktyce artyleryjskiej mniej się liczy z wielkością uszczelnienia, szczególnie przy pociskach mniejszych kalibrów, gdyż sama skorupa przedstawia się jako uszczelniona komora minowa.

Oprócz tego na wynik wybuchu wpływa *rodzaj opakowania i sposób pobudzania ładunku*.

20. Obliczenie działania wybuchowego granatów artyleryjskich i bomb okopowych.

Wielkość pracy jakiegokolwiek ładunku wybuchowego mierzy się wielkością utworzonego leja lub objętością wyrzuconego z obrębu leja materiału.

Działanie każdej miny przy niszczeniu obiektów składających się z ziemi, gruntu skalnego, muru i betonu wyraża wzór (patrz str. 154).

$$L = \frac{r^3 \delta u (\sqrt{1+n^2} - 0,41)^3}{\varphi}$$

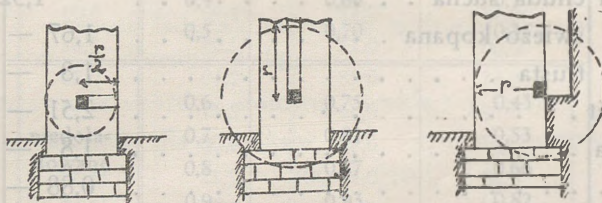
gdzie L — ładunek materiału kruszącego w kilogramach,

δ — ciężar właściwy materiału niszczonego,

r — promień ośrodka zniszczenia,

u — współczynnik uszczelnienia, czyli zagłuszenia miny, przytoczony niżej.

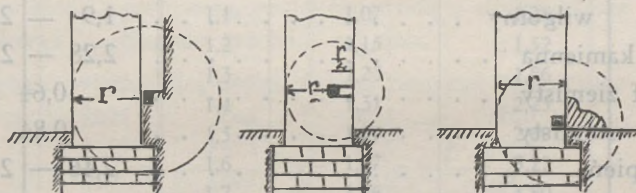
Wielkość współczynnika zależy od sposobu uszczelnienia kory minowej: ryc. 94, 95 i 96.



Ryc. 94.

$u = 1$ przy ładunku uszczelnionym,

$u_0 = 1,25$ „ „ nieuszczelnionym.



Ryc. 95.

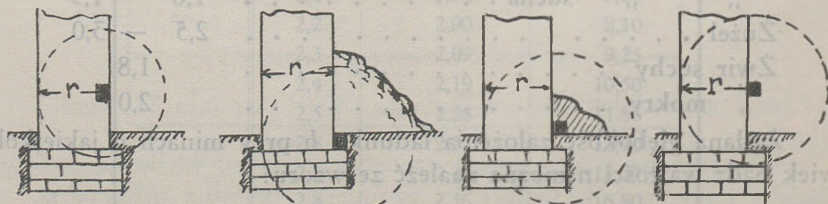
$u = 1,25$

$u_0 = 1,5$

$u = 1,4$

$u_0 = 1,6$

$u = 1,5$



Ryc. 96.

$u_0 = 2$

$u = 2,25$

$u = 4,5$

$u_0 = 6$

Tabela ciężarów właściwych.

Beton z cegłą	1,8 — 2,0
„ z piaskowcem	2,0 — 2,2
„ z granitem	2,2 — 2,45
Cegła zwykła	1,4 — 1,55
Cement stwardniały	2,7 — 3,2
Drzewo sosnowe suche	0,3
„ świeże	1
Drzewo dębowe suche	0,7
„ „ świeże	1,28
Gлина chuda sucha	1,52
„ świeżo kopana	1,67 — 2,85
„ tłusta	1,8 — 2,6
Granit	2,51 — 3,05
Kreda	1,8 — 2,6
Lód	0,88 — 0,92
Mur z cegły pełnej, świeży	1,57 — 1,63
„ „ „ suchy	1,42 — 1,46
Piasek suchy	1,4 — 1,65
„ wilgotny	1,9 — 2,05
Sól kamienna	2,28 — 2,41
Torf ziemisty	0,64
„ smolisty	0,84
Wapień	2,46 — 2,84
Węgiel brunatny	1,2 — 1,5
„ kamienny	1,2 — 1,5
Ziemia gliniasta świeżo ubita	2,0
„ „ sucha	1,6 — 1,9
Żużel	2,5 — 3,0
Żwir suchy	1,8
„ mokry	2,0

Żądaną głębokość założenia ładunku h przy minach o jakiegokolwiek bądź wartości n można znaleźć ze wzoru:

$$h_n = \sqrt{\frac{E}{\delta}} \frac{1}{\sqrt{1+n^2}} - 0,41$$

Tabela wartości

$\sqrt{1+n^2} - 0,41$ i $(\sqrt{1+n^2} - 0,41)^3$ przy różnych znaczeniach n .

Rodzaje min	n	$\sqrt{1+n^2} - 0,41$	$(\sqrt{1+n^2} - 0,41)^3$
głuche	0,1	0,59	0,21
	0,2	0,61	0,23
	0,3	0,63	0,26
	0,4	0,66	0,30
	0,5	0,70	0,35
niedoładowane	0,6	0,75	0,43
	0,7	0,81	0,53
	0,8	0,87	0,66
	0,9	0,93	0,82
normalne	1,0	1,00	1,00
przeładowane	1,1	1,07	1,25
	1,2	1,15	1,52
	1,3	1,23	1,86
	1,4	1,31	2,25
	1,5	1,39	2,69
	1,6	1,47	3,22
	1,7	1,56	3,80
	1,8	1,65	4,50
	1,9	1,78	5,25
	2,0	1,83	6,08
	2,1	1,91	7,00
	2,2	2,00	8,10
	2,3	2,09	9,25
	2,4	2,19	10,50
	2,5	2,28	11,86
	2,6	2,37	13,40
	2,7	2,47	15,07
	2,8	2,56	16,80
	2,9	2,65	18,75
	3,0	2,75	28,00

Dla ułatwienia obliczeń podaje się niżej tabelę liczb od 0,20 do 3,00 w drugiej i trzeciej potędze oraz pierwiastków trzeciego stopnia.

h	h^3	h	h^3
0,20	~ 0,01	1,65	4,49
0,25	~ 0,02	1,70	4,91
0,30	~ 0,03	1,75	5,36
0,35	~ 0,04	1,80	5,83
0,40	0,06	1,85	6,33
0,45	0,09	1,90	6,86
0,50	0,13	1,95	7,42
0,55	0,17	2,00	8,00
0,60	0,22	2,05	8,62
0,65	0,28	2,10	9,26
0,70	0,34	2,15	9,93
0,75	0,42	2,20	10,65
0,80	0,51	2,25	11,39
0,85	0,61	2,30	12,17
0,90	0,73	2,35	12,98
1,00	1,00	2,40	13,82
1,05	1,16	2,45	14,71
1,10	1,33	2,50	15,63
1,15	1,52	2,55	16,58
1,20	1,73	2,60	17,58
1,25	1,95	2,65	18,61
1,30	2,20	2,70	19,68
1,35	2,46	2,75	20,80
1,40	2,74	2,80	21,95
1,45	3,05	2,85	23,95
1,50	3,38	2,90	24,39
1,55	3,72	2,95	25,67
1,60	4,10	3,00	27,00
$\sqrt[3]{x}$	x	$\sqrt[3]{x}$	x

Przytoczone wzory dają możność określenia wielkości ładunku każdej miny, współczynnika δ i promienia ośrodka zniszczenia.

Głębokość wnikania pocisków do ziemi, drzewa, muru i betonu oblicza się podług wzorów podanych w rozdziale I.

Znając wielkość zagłębienia pocisku i znając ciężar ładunku we wnętrznego można określić jego wybuchowe działanie, mierzone wielkością leja lub objętością wyrzuconego materiału, i na odwrót, znając wymiary leja i wielkość zagłębienia pocisku, możemy określić wielkość ładunku wybuchowego.

Do rachunku możemy wziąć całkowitą ilość materiału wybuchowego, znajdującego się w pocisku, ponieważ zaledwie nieznaczna jego część zużywa się na rozerwanie skorupy.

Można stwierdzić, że np. do rozsądzania stalowych skorup kwasem pikrynowym lub innym materiałem o równej sile potrzebny jest ładunek:

$$L = 0,001 G$$

przy czym L oznacza ładunek materiału wybuchowego w kg,

G — ciężar skorupy w kg.

Do rozerwania skorupy stalowej zwykle wystarcza:

25 g melinitu dla pocisków 155 — milimetrych

35 „ „ 200 — 210 „

40 „ „ 200 „

55 „ „ 270 „

75 „ „ 280 „

pod warunkiem napełnienia pocisków wodą i umieszczenia ładunku na wysokości $\frac{1}{3}$ długości pocisku od dna.

Objętość wyrzuconej ziemi można obliczyć posługując się wzorem następującym:

$$V = \frac{L}{\delta \cdot 0,92} \quad \text{lub} \quad V = \frac{L \cdot n}{\delta \cdot 0,92},$$

gdzie V — objętość w metrach sześciennych,

L — wielkość ładunku materiału wybuchowego w kg,

δ — ciężar właściwy materiału.

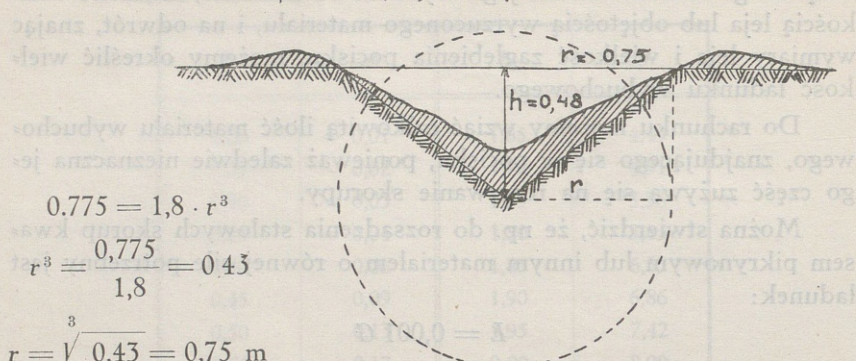
a) Działanie granatu 75 mm wz. 15.

Granat 75 mm wz. 1915 z zapalnikiem wz. 99—15 waży 5,315 kg i zawiera 0,775 kg trotylu. Jego działanie wybuchowe w terenie gliniastym ($\delta = 1,8$ i $\alpha = 0,07$) jest następujące:

$$L = \frac{\delta \cdot r^3 (\sqrt{1 + n^2} - 0,41)^3}{\varphi};$$

ponieważ

$$(\sqrt{1+n^2}-0,41)^3 \text{ i } \varphi \text{ równe } 1,$$



$$0,775 = 1,8 \cdot r^3$$

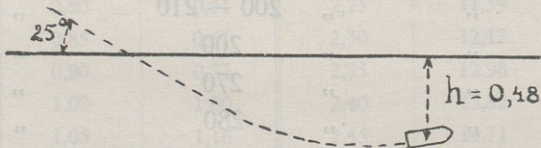
$$r^3 = \frac{0,775}{1,8} = 0,43$$

$$r = \sqrt[3]{0,43} = 0,75 \text{ m}$$

Ryc. 97.

Ryc. 97.

Ponieważ pocisk przy $v_k = 220 \text{ m/sec.}$ i przy $\omega = 25^\circ$ osiąga zagłębienie $0,52 \text{ m}$, przy którym pocisk w chwili wybuchu zajmuje



Ryc. 98.

położenie zbliżone do poziomego (ryc. 98), wobec tego środek ładunku będzie się znajdował na głębokości

$$0,52 - \frac{0,075}{2} = \text{około } 0,48 \text{ m.}$$

Z powyższego wynika, że lej utworzony przez wybuch będzie lejem miny przeładowanej o znaczeniu

$$n = \frac{r}{h} = \frac{0,75}{0,48} \approx 1,5.$$

Widoczna głębokość leja miny normalnej wynosi $0,5 h$. Przy miarach zaś przeładowanych, jakie tworzą pociski wybuchowe z zapalnikami ze zwłoką i przy mniejszych kątach padania, wymieniona głębokość zwykle równa się $0,75 h - 1 h$.

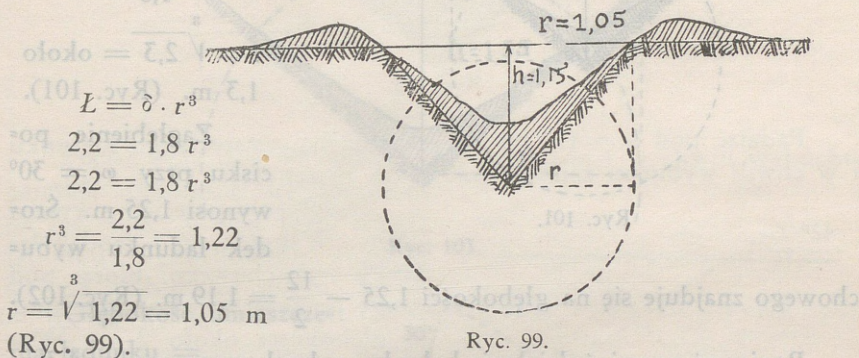
W danym wypadku głębokość ta wyniesie $\sim 0,5 \text{ m}$.

Dla granatu 75 mm objętość wyrzuconej przez wybuch ziemi będzie równa

$$V = \frac{0,775}{1,8 \cdot 0,92} = 0,46 \text{ m}^3.$$

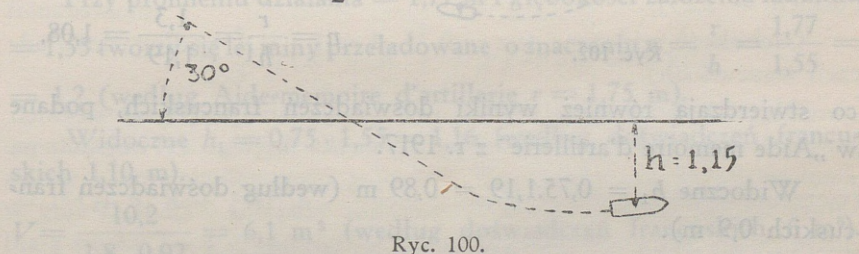
b) Działanie granatu 105 mm wz. 14.

Granat o ciężarze 17,635 kg zawiera 2,2 kg materiału kruszącego. Działanie tego pocisku w ziemi ($\delta = 1,8$) wyraża wzór:



Zagłębienie pocisku wynosi 1,2 m. Przy padaniu pocisku pod $\omega = 30^\circ$ środek ładunku wybuchowego znajdzie się na głębokości

$$1,2 - \frac{0,105}{2} = 1,15 \text{ m (Ryc. 100).}$$



Wytworzony lej ma wymiary

$$\frac{1,05}{1,15} = \frac{r}{h} = n = 0,9.$$

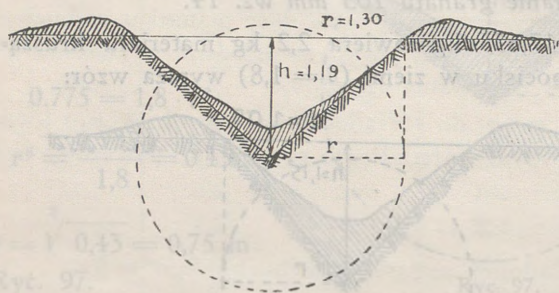
To znaczy, że działanie pocisku jest cokolwiek za słabe.

Widoczna głębokość $h = 0,5 \cdot 1,15 = \text{około } 0,57 \text{ m}.$

Objętość leja $V = \frac{2,2}{1,8 \cdot 0,92} = \text{około } 1,3 \text{ m}^3.$

c) Działanie granatu 120 mm wz. 14.

Granat waży 20,35 kg i zawiera 4,2 kg materiału wybuchowego. W tym samym terenie działanie jego będzie następujące:



Ryc. 101.

$$4,2 = 1,8 \cdot r^3$$

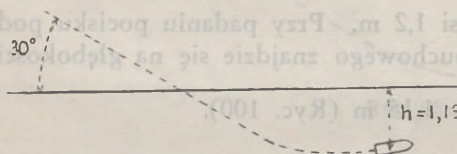
$$r^3 = \frac{4,2}{1,8} = 2,3$$

$$r = \sqrt[3]{2,3} = \text{około} \\ 1,3 \text{ m. (Ryc. 101).}$$

Zagłębienie po-
cisku przy $\omega = 30^\circ$
wynosi 1,25 m. Śro-
dek ładunku wybu-

chowego znajduje się na głębokości $1,25 - \frac{12}{2} = 1,19 \text{ m. (Ryc. 102).}$

Ponieważ promień działania ładunku wybuchowego wynosi 1,3 m,



Ryc. 102.

to lej utworzony w ziemi
będzie lejem miny przełado-
wanej o znaczeniu:

$$n = \frac{r}{h} = \frac{1,3}{1,19} = 1,08,$$

co stwierdzają również wyniki doświadczeń francuskich, podane w „Aide memoire d'artillerie“ z r. 1917.

Widoczne $h_1 = 0,75 \cdot 1,19 = 0,89 \text{ m}$ (według doświadczeń francuskich 0,9 m).

$V = \frac{4,2}{1,8 \cdot 0,92} = \frac{4,2}{1,656} = \text{około } 2,55 \text{ m}^3$. Według doświadczeń francuskich $2,6 \text{ m}^3$.

d) Działanie granatu 155 mm wz. 14,

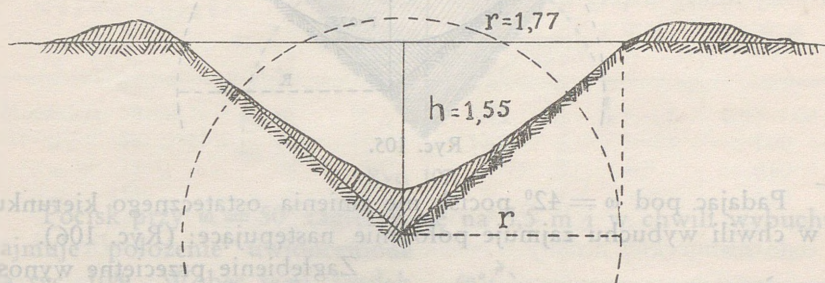
którego ciężar ogólny $G = 43 \text{ kg}$, ciężar zaś ładunku wybuchowego = 10,2 kg. W ziemi o tej samej wytrzymałości, jak wyżej, jego

działanie przedstawia wzór:

$$10,2 = 1,8 \cdot r^3$$

$$r^3 = \frac{10,2}{1,8} = 5,6$$

$$r = \sqrt[3]{5,6} = \text{około } 1,77 \text{ (Ryc. 103).}$$

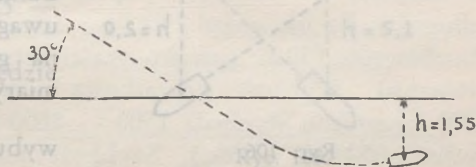


Ryc. 103.

Głębokość umieszczenia ładunku =

$$= 1,63 - \frac{0,155}{2} = 1,553 \text{ m}$$

(Ryc. 104).



Ryc. 104.

Przy promieniu działania = 1,77 m i głębokości założenia ładunku = 1,55 tworzy się lej miny przeładowanej o znaczeniu $n = \frac{r}{h} = \frac{1,77}{1,55} = 1,2$ (według Aide-memoire d'artillerie $r = 1,75$ m).

Widoczne $h_1 = 0,75 \cdot 1,55 = 1,16$ (według doświadczeń francuskich 1,10 m).

$$V = \frac{10,2}{1,8 \cdot 0,92} = 6,1 \text{ m}^3 \text{ (według doświadczeń francuskich } 6 \text{ m}^3\text{).}$$

e) Działanie granatu 220 mm wz. 14,

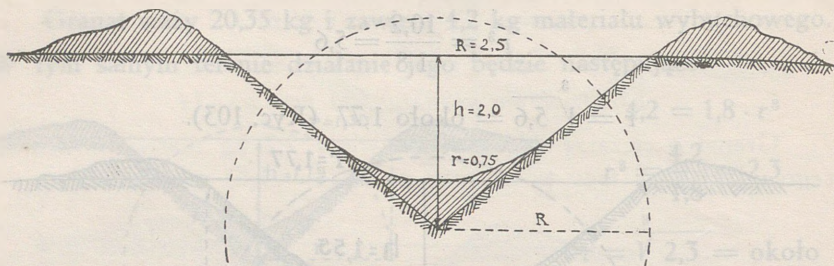
o ciężarze 100,5 kg i o ładunku 28,5 kg materiału wybuchowego.

Jego działanie:

$$28,5 = 1,8 \cdot r^3$$

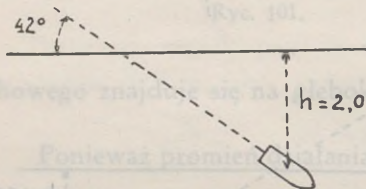
$$r^3 = \frac{28,5}{1,8} = 15,8$$

$$r = \sqrt[3]{15,8} = \text{około } 2,5 \text{ m (Ryc. 105).}$$



Ryc. 105.

Padając pod $\omega = 42^\circ$ pocisk nie zmienia ostatecznego kierunku i w chwili wybuchu zajmuje położenie następujące: (Ryc. 106).



Ryc. 106.

Zagłębienie przeciętne wynosi 2,2 m. Wskutek tego środek ładunku wybuchowego, biorąc pod uwagę pozycję pocisku, wypadnie na głębokości około 2 m. Wy miary leja tworzącego się podczas wybuchu $= \frac{r}{h} = \frac{2,5}{2} = n = 1,25$,

oznaczają lej miny przeładowanej (r według doświadczeń francuskich $= 2,25$).

Głębokość widoczna leja $= 0,75 \cdot 2 = 1,5$ (1,4 według doświadczeń francuskich).

Objętość wyrzuconej ziemi przez wybuch pocisków ciężkich powinna być obliczona jako objętość stożka ściętego ze względu na tworzenie się lejów mało zasypanych $V = \frac{1}{3} \cdot h_1 (R^2 + R \cdot r + r^2) = 13,63 \text{ m}^3$ (13,3 m³ wg Aide-memoire d'artillerie).

f) Działanie granatu 370 mm wz. 14.

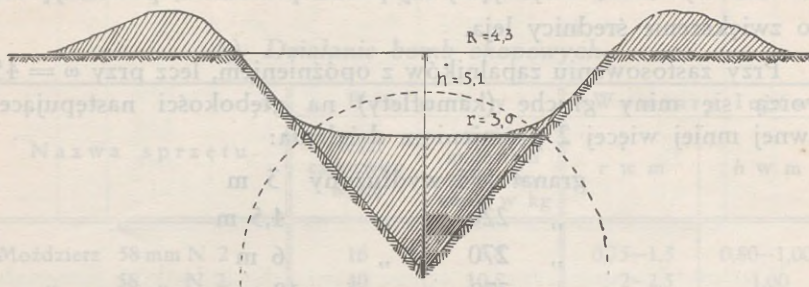
Granat waży 500 kg i zawiera 150 kg materiału kruszącego.

Działanie:

$$150 = 1,8 \cdot r^3$$

$$r^3 = \frac{150}{1,8} = 83,3$$

$$r = \sqrt[3]{83,3} = \text{około } 4,3 \text{ m (Ryc. 107).}$$



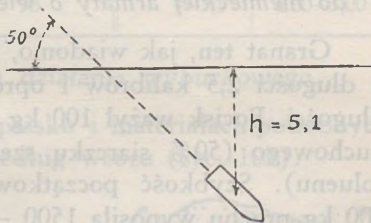
Ryc. 107.

Pocisk przy $\omega = 50^\circ$ zagłębia się na 5,5 m i w chwili wybuchu zajmuje położenie uwidocznione na ryc. 108. Wobec tego środek ładunku wybuchowego znajduje się na głębokości około 5,5 — 0,4 = 5,1 m.

Lej wysadzonej miny będzie miał wymiary następujące:

$$\frac{r}{h} = \frac{4,3}{5,1} = 0,84 = n.$$

Ryc. 108.



Widoczne $h_1 = \text{około } 0,4 \cdot 5,1 = 2,04$ (2,20 według doświadczeń francuskich).

$$V = \frac{1}{3} h_1 (R^2 + R \cdot r + r^2) = \text{ok. } 69,6 \text{ m}^3.$$

Wymiary powyższe lejów możliwe są tylko przy zastosowaniu zapalników bez opóźnienia, bez względu na kąty padania, lub zapalników z opóźnieniem przy $\omega \cong 25^\circ$. Przy większych kątach padania w granicach $25 - 40^\circ$ przy zapalnikach z opóźnieniem pociski zagłębiają się na 3 — 4 długości i tworzą miny niedoładowane, zasypywane gruzem po wybuchu. Jeżeli oczyścić je z gruzu, to leje będą miały według Aaide-memoire d'artillerie wymiary następujące:

Nazwa pocisku	Średnica	Głębokość
155 mm wydłużony	3,5	1,5
220 „ „	5,5	2,3
270 „ „	6	3
370 „ „	10	6

W tym wypadku gazy, nie mając dostatecznej siły do wyrzucenia warstwy ziemi, znajdującej się ponad pociskiem, powodują często zwiększenie średnicy leja.

Przy zastosowaniu zapalników z opóźnieniem, lecz przy $\omega = 45^\circ$ tworzą się miny głuche (kamuflety) na głębokości następującej, równej mniej więcej 2 promieniom działania:

granat 155 wydłużony	3 m
„ 220 „	4,5 m
„ 270 „	6 m
„ 370 „	10 m.

g) *Działanie granatu 21 cm do niemieckiej armaty o wielkości donośności (długiej Berty).*

Granat ten, jak wiadomo, miał skorupę ze stali chromoniklowej o długości 2,5 kalibrów i oprócz tego dodatkowy ostrołuk równej długości. Pocisk ważył 100 kg i zawierał około 10 kg materiału wybuchowego (50% siarczku sześciinitrodwufenylu i 50% trójnitrotoluenu). Szybkość początkowa przy ładunku miotającym około 300 kg prochu wynosiła 1500 — 1600 m/sek (w armatach polowych tylko 600—550 m/sek.). Szybkość końcowa po przebyciu 120 km wynosiła 700 m/sek. Strzelano zawsze pod kątem 50° . Kąt padania w przybliżeniu równał się 65° . Na podstawie tych danych możemy obliczyć zagłębienie pocisku w gruncie średnim:

$$h = \frac{7 \cdot 100 \cdot \sin 65^\circ}{21} = 1000 \text{ cm} = 10 \text{ m.}$$

Natomiast promień działania wybuchowego granatu wynosi:

$$10 = 8 r^3 \\ r = \sqrt[3]{\frac{10}{8}} = 1,5 \text{ m.}$$

Rzecz oczywista, że przy zagłębieniu na 10 m pocisk nie wyrządziłby żadnej szkody. Z tego wnioskujemy, że do tych pocisków używano zapalników bez opóźnienia, dających możliwość rozsadzenia pocisku przy małym zagłębieniu lub nawet na powierzchni ziemi, co jest możliwe ze względu na wydłużony ostrołuk. Wobec powyższego można stwierdzić, że wymieniony granat przy słabym stosunkowo

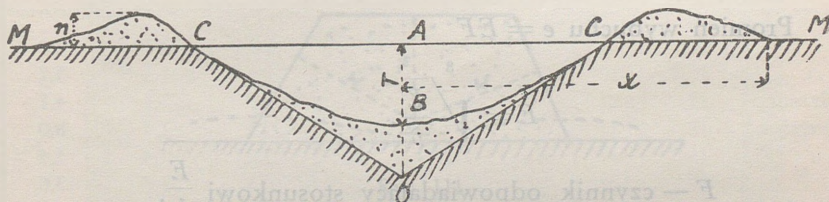
działaniu wybuchowym ma wybitne działanie rozpryskowe w promieniu około 500 m, uwzględniając działanie większych odłamków.

h) Działanie bomb okopowych.

Nazwa sprzętu	B o m b y		Wymiary lejów	
	ciężar całkowity w kg	ciężar materiału wybuchowego w kg	r w m	h w m
Moździerz 58 mm N 2	16	6,8	0,75—1,5	0,80—1,00
„ 58 „ N 2	40	10,5	2—2,5	1,00
„ 75 „	5,5	0,775	0,5	0,60
„ 150 „	18	7	1,25	0,90
„ 240 „ L lub C.T.	87	46	3—5	1,50—3,00
„ 340 „	195	93	4—5,5	4,00—5,00

i) Sposób Giorgiego obliczania działania wybuchowego.

Działanie wybuchowe w ziemi, piasku i materiałach podobnych według Giorgiego można obliczać według wzoru (ryc. 109):



Ryc. 109.

O — środek wybuchu,
 $AO \equiv w$ — l. n. o. w m,
 $OC \equiv e$ — promień wybuchu w m,
 $AC \equiv r$ — promień leja w m,
 $AB \equiv T$ — widoczna głębokość leja.

$$L = q \delta e^3,$$

przy czym

$$r = \sqrt{e^2 - h^2}.$$

Jeżeli są dane r i h , to $L = k(r + h)^3$

„ „ „ h i r (lub e), to $n \frac{r}{h}$ lub $p = \frac{e}{h}$.

Jeśli $p \leq 1,8$ (lub $n \leq 1,5$) to $q = 1$. Większe wartości q podane są w poniższej tabeli.

Wartości q .

p	q	p	q	p	q
0 do 1,8	1	2,2	2,00	2,6	3,59
1,9	1,17	2,3	2,36	2,7	4,03
2,0	1,40	2,4	2,74	2,8	4,48
2,1	1,68	2,5	3,16		

Wartości δ , współczynnika oporu gruntu dla ładunków materiału kruszącego, są następujące:

rodzaj środowiska:

	δ
Nasypana ziemia na przedpiersiu okopu	0,3 — 0,4
Twarda ziemia	0,5
Ziemia i żwir	0,6
Mocny grunt i skała	0,8.

Promień wybuchu $e = EF$

$$E = \sqrt[3]{\frac{L}{\delta}}$$

F — czynnik odpowiadający stosunkowi $\frac{E}{h}$.

Najpierw oblicza się E , potem $\frac{E}{h}$, w końcu — F (z tabeli), po

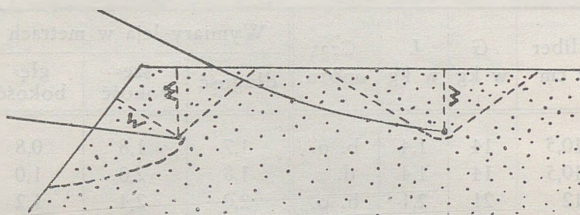
czym otrzymuje się $e = EF$ oraz $r = \sqrt{e^2 - h^2}$.

T a b e l a w i e l k o ś c i F.

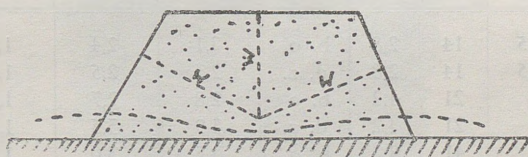
$\frac{E}{h}$	F	$\frac{E}{h}$	F	$\frac{E}{h}$	F	$\frac{E}{h}$	F
0 — 1,8	1,00	2,6	0,82	3,4	0,71	4,2	0,64
2,0	0,95	2,8	0,79	3,6	0,69	4,4	0,62
2,2	0,90	3,0	0,76	3,8	0,67	4,6	0,61
2,4	0,86	3,2	0,73	4,0	0,65	4,7	0,61

Tabela głębokości pozornej h_1 , wysokości wieńca m i rozrzutu x .

p	1,25	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
n	0,75	1,0	1,25	1,5	1,70	1,95	2,2	2,4	2,6
h	0,2 h	0,33 h	0,55 h	0,75 h	0,9 h	h	najmniej h		
m	0,1 do 0,2 h				0,2 do 0,25 h		0,3 — 0,4 h		
x	1,8 h	2,5 h	5 h	8 h	15 h	23 h	32 h	41 h	53 h



Ryc. 110.



Ryc. 111.

Przy $e < 1,1 h$ lub $r < 0,5 h$ otrzymuje się miny głuche.

Utworzenie leja bądź przebicie ściany jest pewne przy $r = 0,75 h$.

k) Wymiary lejów podane przez N. di Giorgi'ego.

D — średnica leja, T — widoczna głębokość, V — objętość w m^3 .
Teren: bardzo twarda ziemia (kredowo-wapienna martwica z piaskiem).

Pocisk bez opóźniacza, $\omega = 15 - 45^\circ$.

Granaty francuskie.

120 mm granat wydłużony 20,3 kg (6 kg melinitu): $D = 2,5$ m,
 $T = 0,9$ m, $V = 2,6$ m.

155 mm granat wydłużony 43 kg (12 kg melinitu): $D = 3,5$ m,
 $T = 1,1$ m, $V = 6$ m.

220 mm granat wydłużony 118 kg (36 kg melinitu): $D = 4,6$ m, $T = 1,4$ m, $V = 13,3$ m.

W ziemi gliniastej (narzuconej) otrzymuje się leje podwójnej objętości.

Włoskie 21 cm granaty „Torpedo” krótkie ($G = 96$ kg, $L = 19,2$ kg) przy zagłębieniu 3 m dają leje o $D = 3,5 - 6,5$ m.

Granaty niemieckie dają leje następujących wielkości, na odległości: 2000 — 2300 m, $V_k = 141 - 146$, $\omega = 30 - 38^\circ$. Objętość lejów jest liczona jako objętość paraboloidów.

	Kaliber w cm	G w kg	L w kg	Czas opóźn.	Wymiary leja w metrach			Objętość leja w m ³
					długość	szerokość	głębokość	
Granaty odłamkowe	10,5	14	1,4	b. o.	1,7	1,8	0,8	1
	10,5	14	1,4	d. z.	1,8	2,0	1,0	1,4
	12	21	2,1	b. o.	2,0	2,4	1,2	2,3
	12	21	2,1	d. z.	2,7	2,9	1,4	4,3
	15	41	4,2	b. o.	2,5	3,0	1,0	2,9
	15	41	4,2	d. z.	2,5	3,5	1,6	5,5
Granaty burzące	10,5	14	2,8	b. o.	2,1	2,4	1,0	2,0
	10,5	14	2,8	d. z.	2,3	2,5	1,4	3,2
	12	21	4,2	b. o.	2,8	2,7	1,4	4,1
	12	21	4,2	d. z.	3,9	3,5	1,5	8,0
	15	41	8,2	b. o.	3,3	3,0	1,4	5,4
	15	41	8,2	d. z.	4,5	4,3	1,8	13,6

F. Krupp przy strzelaniu z haubic obserwował strzały, przy których 15 cm granaty burzące z opóźnieniem ($V_k = 183$, $\omega = 42^\circ$, odległość 3900 m) dawały leje 4,9 m długości, 4,6 m szerokości i 2 m głębokości. Objętość wynosiła 17,6 m³.

Według danych francuskich, 20 granatów 120 mm wydłużonych, odpowiednio zgrupowanych może zniszczyć przedpiersie okopu 1,4 m wysokości i 8 m szerokości na długości 5 m.

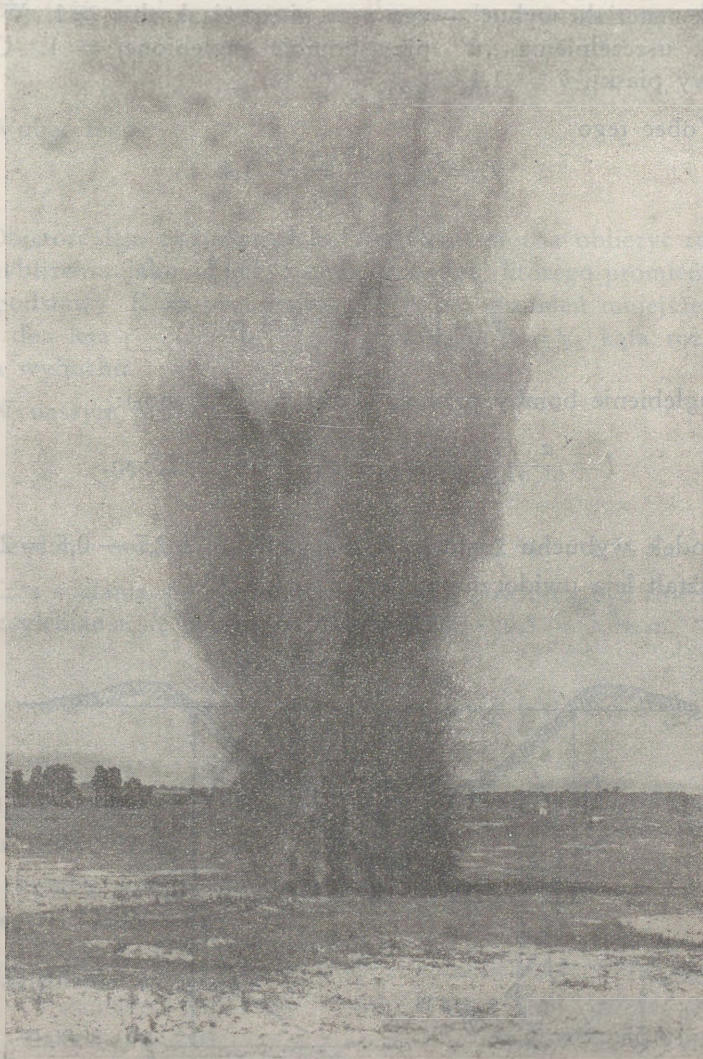
Granaty zaś 155 mm wydłużone w ilości 5—6 sztuk dają w piasku wyrwę od 3 do 5 m szeroką i 1,5 m głęboką na długości 10 m.

4 sztuki 15 cm granatów niemieckich ($G = 41$ kg, $L = 8,2$ kg, $(V_k = 208$ m/sek, odległość 800 m) z opóźnieniem są zdolne do zniszczenia połowy wału ziemnego 8 m szerokości, 3,5 m wysokości, 3,5 m grubości przy wierzchołku.

21. Obliczanie działania wybuchowego bomb lotniczych.

a) Bomba niemiecka 50 kg.

Ciężar ładunku wybuchowego $L = 23$ kg. Największa średnica skorupy 17,9 cm. Długość bomby bez zapalnika 1,5 m. Długość ładunku wybuchowego 0,85 m. Odległość środka ciężkości ładunku od wierzchołka ostrołuku bomby 0,50 m.



Ryc. 112. Wybuch 50-kg bomby burzącej.

Działanie bomby w ziemi wyraża równanie:

$$L = \frac{r^3 \delta u (\sqrt{1+n^2}-0,41)^3}{\varphi}$$

Przy $n = \frac{r}{h} = 1$ wartość $(\sqrt{1+n^2}-0,41)^3 = 1$. Współczynnik materiału wybuchowego przy nitrozwiązkach $\varphi \cong 1$. Współczynnik uszczelnienia „u” przy bombie zagłębionej = 1. Ciężar właściwy piasku $\delta = 1,4$.

Wobec tego

$$L = \frac{r^3 \delta u \cdot 1}{1} = r^3 \cdot 1,4$$

$$23 = r^3 \cdot 1,4$$

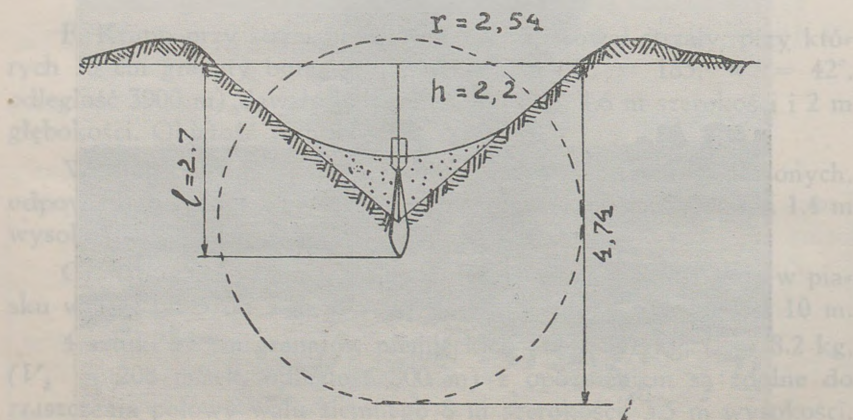
$$r = \sqrt[3]{\frac{23}{1,4}} = 2,54 \text{ m.}$$

Zagłębienie bomby przy $v_k = 250$ m/sek wynosi:

$$l = \frac{\alpha \cdot G \cdot v_k}{d^2} = \frac{0,07 \cdot 50 \cdot 250}{18^2} = 2,7 \text{ m.}$$

Środek wybuchu znajdzie się na głębokości $2,7 - 0,5 = 2,2$ m.

Kształt leja uwidoczniiony jest na ryc. 113.



Ryc. 113.

Wskaźnik miny $n = \frac{2,57}{2,2} = 1,15$ świadczy, że mina jest cokolwiek większa od normalnej.

Widoczną głębokość utworzonego leja można obliczyć posługując się wzorem: $h_1 = \frac{h \cdot n}{2}$. W danym wypadku $h_1 = 1,27$ m.

Objętość ziemi wyrzuconej według wzoru empirycznego wynosi:

$$V = \frac{L \cdot n}{\delta \cdot 0,92}.$$

Wobec tego

$$V = \frac{23 \cdot 1,15}{1,4 \cdot 0,92} = 20,5 \text{ m}^3.$$

Objętość leja pozostałego po wybuchu można obliczyć również w przybliżeniu jako objętość stożka ściętego, którego promień większej podstawy R = promieniowi leja, zaś promień mniejszej podstawy dna leja $r = (h - h_1) \cdot \operatorname{tg} \beta$, przy czym $\beta = 1/2$ kąta rozwarcia stożka wybuchu.

W naszym przykładzie

$$V = \frac{\pi \cdot h_1}{2} (R^2 + Rr + r^2) \cong 16 \text{ m}^3.$$

Działanie bomby 50 kg w głąb = $2,2 + 2,54 = 4,74$ m.

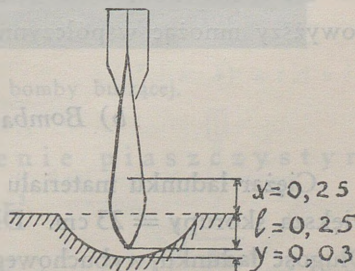
Czas spalania się opóźniacza zapalnika powinien być równy czasowi zagłębiania się bomby na drodze $2,54 + 0,5 = 3,04$ m.

Działanie bomby w betonie i żelazobetonie.

Opór betonu i żelazobetonu jest bardzo duży, dzięki czemu zagłębianie bomby jest stosunkowo niewielkie (ryc. 114).

Zagłębianie w betonie

$$l = \frac{0,0065 \cdot 50 \cdot 250}{18^2} = 0,25 \text{ m}.$$



Ryc. 114.

Działanie wybuchowe bomby wyraża równanie:

$$L = r^3 \cdot 2 \delta \cdot u$$

przy czym u przy wybuchu w chwili zetknięcia się bomby z przeszkodą = 6, przy częściowym wnikięciu do $\frac{1}{4}$ długości skorupy = 2.

Ponieważ środek ciężkości ładunku bomby jest oddalony powierzchni zaatakowanej, energia zaś uderzenia gazów wybuchowych jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości x

$$L = \frac{r^3 \cdot 2 \delta \cdot u}{x^2}$$

Promień zniszczenia

$$r = \sqrt[3]{\frac{L \cdot x^2}{2 \delta \cdot u}} = \sqrt[3]{\frac{23 \cdot 0,25^2}{4,4 \cdot 2}} = 0,53 \text{ m.}$$

$$r = x + l + y.$$

Widoczna głębokość leja $h_1 = l + y = 0,28 \text{ m.}$

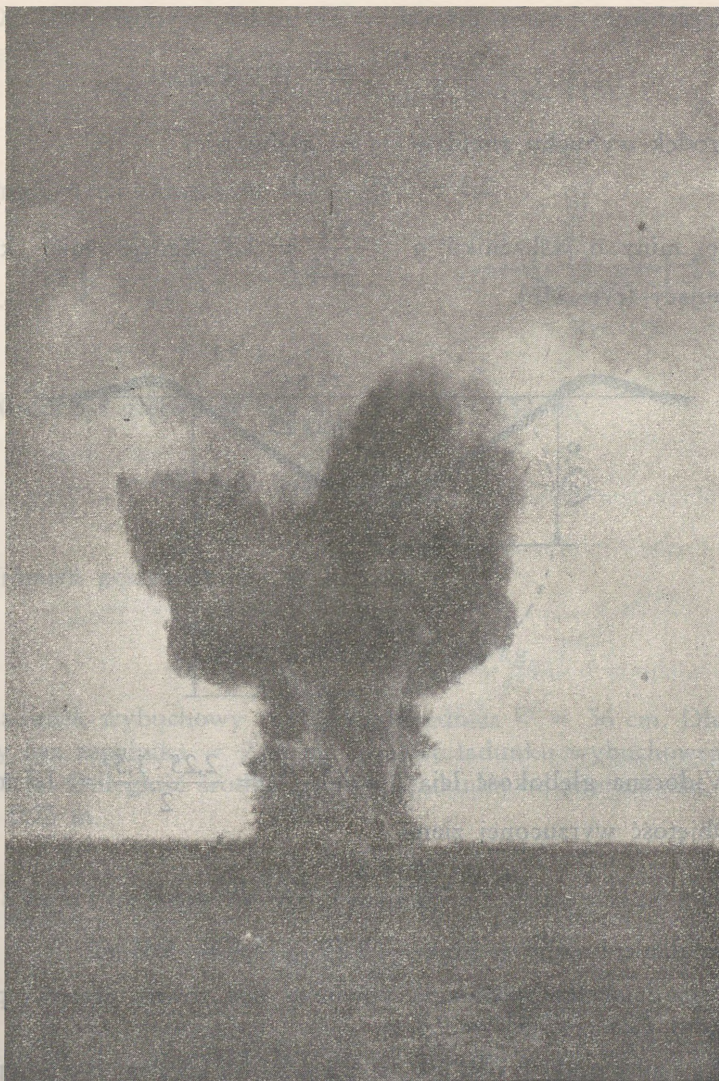
Lej będzie miał kształt czaszy kulistej o wysokości $h_1 = 0,28 \text{ m}$ i o promieniu podstawy $r_1 = \sqrt{h_1 (2r - h_1)}$.

$$\text{Objętość wyrzuconego gruzu } V = \frac{\pi \cdot h_1^2}{3} (3r - h_1).$$

Działanie bomby w żelazobetonie można obliczyć w sposób powyższy mnożąc współczynniki oporu betonu α i 2δ przez 1,3.

b) Bomba niemiecka 100 kg.

Ciężar ładunku materiału wybuchowego = 55 kg. Średnica największa skorupy = 23 cm. Długość bomby bez zapalnika = 1,83 m. Długość ładunku wybuchowego = 0,915 m. Odległość środka ciężkości ładunku od wierzchołka bomby = 0,55 m.



Ryc. 115. Wybuch 100 kg bomby burzącej.

Działanie bomby w terenie piaszczystym.

$$55 = 1,4 \cdot r^3.$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{55}{1,4}} = 3,4 \text{ m. (W terenie błotnistym } r = \sqrt[3]{\frac{55}{0,75}} = 4,18 \text{ m).}$$

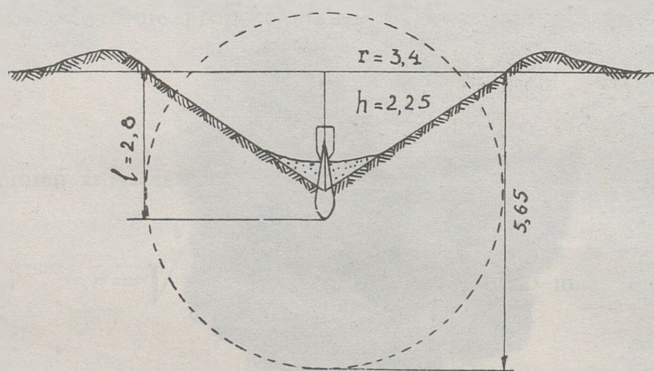
Zagłębienie bomby przy $v_k = 250$ m/sek. wynosi:

$$l = \frac{0,07 \cdot 100 \cdot 250}{25^2} = 2,8 \text{ m.}$$

Środek wybuchu znajdzie się na głębokości

$$2,8 - 0,55 = 2,25 \text{ m.}$$

Lej miny o wskaźniku $n = \frac{3,4}{2,25} = 1,5$ będzie miał kształt następujący (ryc. 116).



Ryc. 116.

Widoczna głębokość leja $h_1 = \frac{h \cdot n}{2} = \frac{2,25 \cdot 1,5}{2} = 1,7 \text{ m.}$

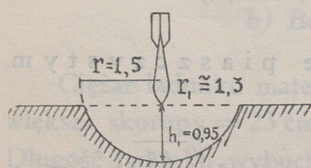
Objętość wyrzuconej ziemi

$$V = \frac{55 \cdot 1,5}{1,4 \cdot 0,92} = 67 \text{ m}^3.$$

Działanie bomby w głąb $= 2,25 + 3,4 = 5,65 \text{ m.}$

Czas działania opóźniacza powinien być równy czasowi przejścia drogi $2,25 + 0,55 = 2,8 \text{ m.}$

Działanie bomby z zapalnikiem bez opóźnienia ($\delta = 1,34$):



Ryc. 117.

$$L = 55 = \frac{r^3 \cdot 6 \cdot 1,34}{0,55^2} \text{ (patrz ryc. 117),}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{55 \cdot 0,3}{6 \cdot 1,34}} \approx 1,5 \text{ m,}$$

$$h_1 = r - 0,55 = 0,95 \text{ m.}$$

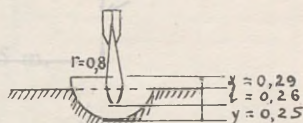
Działanie bomby w betonie jest następujące:

$$l = \frac{0,0065 \cdot 100 \cdot 250}{25^2} = 0,26 \text{ m (ryc. 118).}$$

Promień zniszczenia

$$r = \sqrt{\frac{55 \cdot 0,29^2}{4,4 \cdot 2}} = 0,8 \text{ m,}$$

$$r = x + l + y.$$



Ryc. 118.

Widoczna głębokość leja $h_1 = l + y = 0,51 \text{ m.}$

$$\text{Objętość leja } V = \frac{\pi \cdot h_1^2}{3} (3r - h_1).$$

Promień podstawy leja $= \sqrt{h_1 (2r - h_1)}.$

c) Bomba niemiecka 300 kg.

Ładunek wybuchowy = 170 kg. Średnica $\varnothing = 36 \text{ cm.}$ Długość bomby bez zapalnika = 2,66 m. Długość ładunku wybuchowego = 1,15 m. Odległość środka ciężkości ładunku od wierzchołka bomby = 0,73 m.

Działanie bomby w terenie piaszczystym:

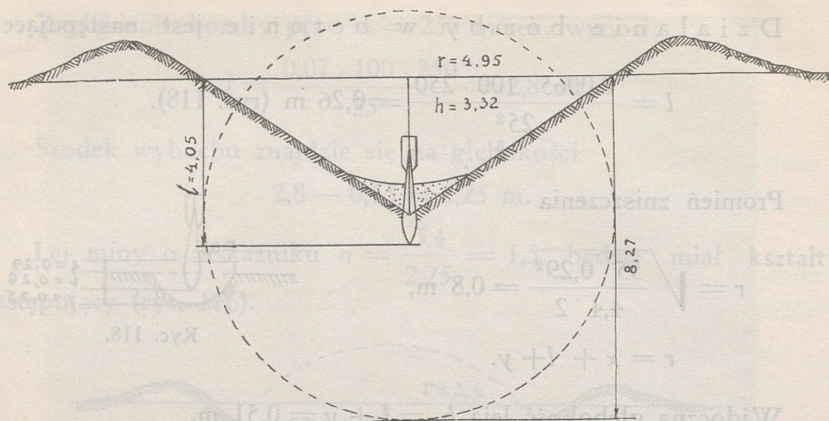
$$170 = 1,4 \cdot r^3$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{170}{1,4}} = 4,95 \text{ m.}$$

Zagłębienie bomby w tym samym terenie:

$$l = \frac{0,07 \cdot 300 \cdot 250}{36^2} = 4,05 \text{ m.}$$

Otrzymuje się minę o wskaźniku $n = \frac{4,95}{4,05 - 0,73} \approx 1,5 \text{ (ryc. 119).}$



Ryc. 119.

Widoczna głębokość leja po wybuchu $= \frac{h \cdot n}{2} = 2,49$ m.

Objętość wyrzuconej ziemi

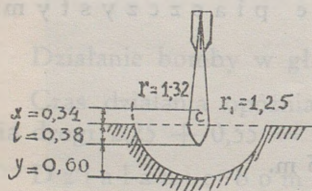
$$V = \frac{170 \cdot 1,5}{1,4 \cdot 0,92} \approx 200 \text{ m}^3.$$

Działanie bomby w głąb:

$$3,32 + 4,95 = 8,27 \text{ m.}$$

Czas spalania się opóźniacza zapalnika powinien odpowiadać czasowi zagłębiania się na 4,6 m.

Działanie bomby w betonie.



Ryc. 120.

$$l = \frac{0,0065 \cdot 300 \cdot 250}{36^2} = 0,38 \text{ m}$$

(Ryc. 120).

$$r = \sqrt[3]{\frac{170 \cdot 0,35^2}{4,4 \cdot 2}} = 1,32 \text{ m.}$$

$$r = x + l + y.$$

Objętość leja i promień podstawy oblicza się jak dla czaszy kulistej.

d) Bomba niemiecka 1000 kg.

Bomba zawiera 680 kg materiału wybuchowego. Długość bez zapalnika = 3,865 m. Długość ładunku wybuchowego = 1,7 m. Od-

ległość środka ciężkości od wierzchołka ostrołuku bomby = 1,08 m.
Średnica bomby $\varnothing = 54$ cm.

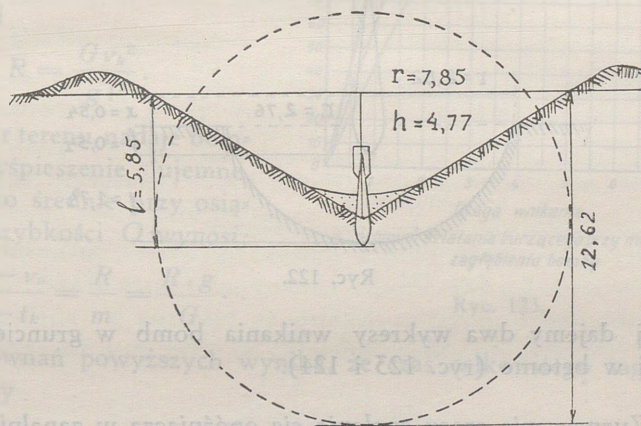
Działanie bomby w terenie piaszczystym.

$$r = \sqrt{\frac{680}{1,4}} = 7,85 \text{ m},$$

$$l = \frac{0,7 \cdot 1000 \cdot 250}{54,7^2} = 5,85 \text{ m},$$

$$h = 5,85 - 1,08 = 4,77 \text{ m}.$$

Wybuch tworzy lej miny o wskaźniku $n = \frac{7,85}{4,77} = 1,6$
(ryc. 121).



Ryc. 121.

Widoczna głębokość leja po wybuchu $h_1 = \frac{h \cdot n}{2} = 3,8$ m.

Objętość leja

$$V = \frac{680 \cdot 1,6}{1,4 \cdot 0,92} = 713 \text{ m}^3.$$

Działanie bomby w głąb = $4,77 + 7,85 = 12,62$ m.

Najmniejszy czas spalania się opóźniacza równa się czasowi za-
głębienia się bomby na długość 5,85 m.

Działanie bomby w betonie.

$$l = \frac{0,065 \cdot 1000 \cdot 250}{54,7^2} = 0,54 \text{ m (ryc. 122),}$$

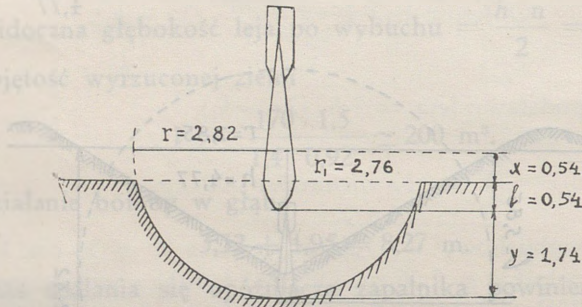
$$r = \sqrt[3]{\frac{680 \cdot 0,54^2}{4,4 \cdot 2}} = 2,82 \text{ m.}$$

$$r = x + l + y = 0,54 + 0,54 + 1,2 \text{ m.}$$

Widoczna głębokość leja $h_1 = 2,28 \text{ m.}$

Promień podstawy leja $r_1 = 2,76 \text{ m,}$

$$V = \frac{\pi \cdot h_1^2}{3} (3r - h_1) = 33,42 \text{ m}^3.$$



Ryc. 122.

Niżej dajemy dwa wykresy wnikania bomb w gruncie piaszczystym i w betonie (ryc. 123 i 124).

e) Wyznaczanie czasu spalania się opóźniacza w zapalnikach do bomb lotniczych *).

Siła żywa bomby $\frac{mv^2}{2}$ zużywa się na pokonanie oporu R środowiska na drodze l .

Praca oporu środowiska zmienia się w miarę zagłębienia się pocisku. Przy zagłębieniu się na wielkość x

$$L_o = R \cdot (l - x),$$

gdzie R — opór środowiska.

*) Patrz artykuł autora w Wiad. Tech. Artyl. z r. 1932.

Całkowita praca oporu

$$\begin{aligned} \text{od } l \text{ do } 0 &= \sum L_o \Delta x = \\ &= \sum R (l-x) \Delta x = \\ &= R \sum_{x=0}^l (l-x) \Delta x, \end{aligned}$$

skąd

$$R \int_0^l (l-x) dx = R \frac{l^2}{2}.$$

Wobec powyższego siła żywa bomby musi być równa pracy oporu

$$\frac{G v_k^2}{2g} = R \frac{l^2}{2},$$

skąd

$$R = \frac{G v_k^2}{g l^2}.$$

Opór terenu nadaje bombie przyśpieszenie ujemne, które jako średnie przy osiągnięciu szybkości O wynosi:

$$a = \frac{v_k - v_o}{t_o - t_k} = \frac{R}{m} = \frac{R \cdot g}{G}.$$

Z równań powyższych wynika, że czas całkowitego zagłębienia się bomby

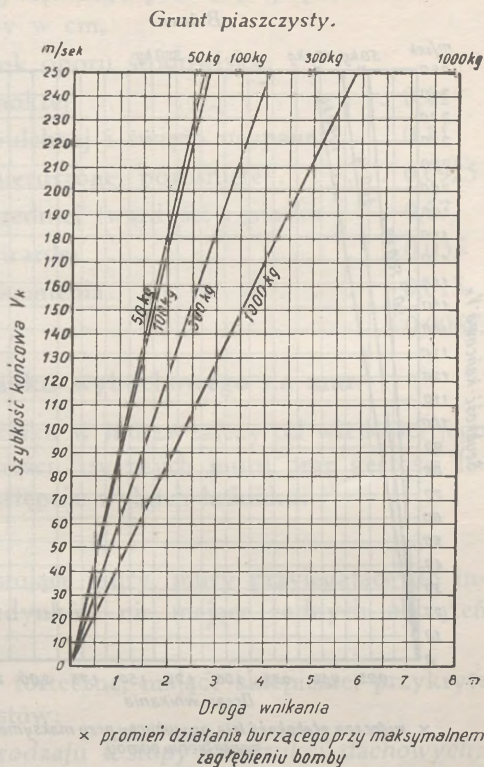
$$t_o = \frac{v_k \cdot G}{R \cdot g} = \frac{v_k \cdot G \cdot g l^2}{g \cdot G \cdot v_k^2} = \frac{l^2}{v_k}.$$

Czas opóźnienia powinien być równy czasowi zagłębienia się bomby na wielkość promienia działania wybuchowego, przy którym otrzymuje się największa wydajność wybuchu.

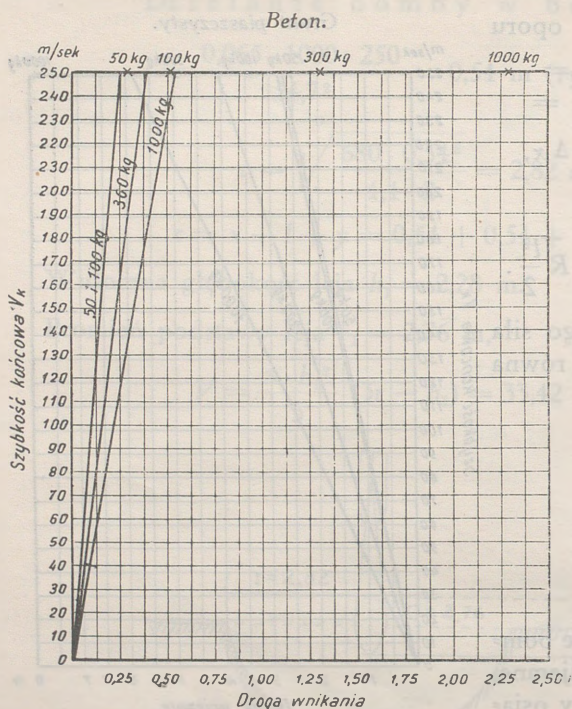
W środowisku średniej i dużej wytrzymałości zagłębienie l zwykle jest mniejsze od r , promienia działania bomby (ryc. 123 i 124).

W tym wypadku czas opóźnienia $t_{op} = t_o$.

Natomiast w gruntach lekkich l może być większe od r . Wobec tego $t_{op} = t_o - t_x$, gdzie t_x — czas zagłębienia się ponad wielkość promienia działania, czas przejścia drogi l_x .



Ryc. 123.



* widoczna głębokość leja po wybuchu przy maksymalnym załębieniu bomby.

Ryc. 124.

Jak widzimy $(l - l_x) = r$, a zatem

$$t_{op} = \frac{l \cdot r}{v_k}$$

Ponieważ $l = \frac{\alpha G v_k}{d^2}$, a właściwie $= \frac{\alpha G v_k}{\pi r_b^2}$, zaś $r = \sqrt[3]{\frac{L}{\delta}}$,
 czas spalania się opóźnicza w gruncie lekkim

$$t_{op} = \frac{\alpha G \sqrt[3]{\frac{L}{\delta}}}{\pi r_b^2}$$

gdzie t — czas w sek,

G — ciężar bomby w kg,

L — ciężar ładunku wybuchowego w kg,

δ — ciężar właściwy środowiska,

Na zasadzie powyższych rozważań

$$t_x = \frac{l_x^2}{v_x},$$

gdzie v_x jest szybkość na początku drogi l_x .

Mając w założeniu przyspieszenie średnie, możemy napisać, że

$$v_x = \frac{v_k \cdot l_x}{l}$$

Wobec tego

$$t_x = \frac{l_x^2 \cdot l}{v_k \cdot l_x} = \frac{l_x \cdot l}{v_k},$$

zaś

$$t_{op} = \frac{l^2}{v_k} = \frac{l_x \cdot l}{v_k} = \frac{l \cdot (l - l_x)}{v_k}$$

r_b — promień największego przekroju poprzecznego bomby w cm,

α — współczynnik oporu środowiska:

dla gliny mokrej	0,14
dla ziemi pulchnej i świeżo usypanej	0,11
dla ziemi nieruszonej porośniętej	0,0925
dla ziemi średniej twardości i piasku	0,07
dla ziemi twardej	0,035
dla skał i kamienia	0,013
dla betonu	0,0065.

22. Działanie ładunku wybuchowego na mur.

Działanie wybuchowe pocisku w murze zależy od wielkości jego ładunku wybuchowego, własności fizycznych muru oraz gęstości ładowania komory, w której następuje wybuch ładunku.

Zwykle się rozróżnia:

1. *mur zwykły*: wolno stojące mury, mury przylegające do innego środowiska i mury budynków nie mające żadnych obciążeń specjalnych;

2. *mur obciążony*: mury forteczne, mające sklepienie, przykryte zwykle ziemią oraz filary mostów;

3. *sklepienia wszelkiego rodzaju i słupy konstrukcji dachowych*: sklepienia zwykle mają wzmocnienia żelazne, zaś nakrycia wszelkiego rodzaju układa się poziomo na belkach opartych o mur, dzięki czemu zwiększa się jego opór na działanie wybuchowe gazów.

a) Mur zwykły.

Działanie ładunku w murze zwykłym może być obliczone również według wzoru de Giorgiego:

$$L_{(kg)} = k(h + r)^3.$$

Przebite mur następuje wówczas, jeżeli $n = \frac{r}{h}$ wynosi najmniej 0,75.

Jeżeli $n = 1$, a za tym $h = r$, to

$$h_{(m)} = 0,5 \sqrt[3]{\frac{L_{(kg)}}{k}}.$$

Współczynnik k określa się doświadczalnie.

Jego wartości dla nitrozwiazków są następujące:

Mury wolnostojące (ryc. 125).

a) ładunek znajduje się w środku muru $\left(h = \frac{d}{2}\right)$,

otwórminy jest uszczelniony $k = 0,5$

b) ładunek znajduje się na powierzchni muru, nieznacznie wgłębiony $(h = d)$ $k = 0,7$

c) ładunek jest przyłożony do powierzchni muru . $k = 0,4$.

Mury przylegające do innego środowiska.

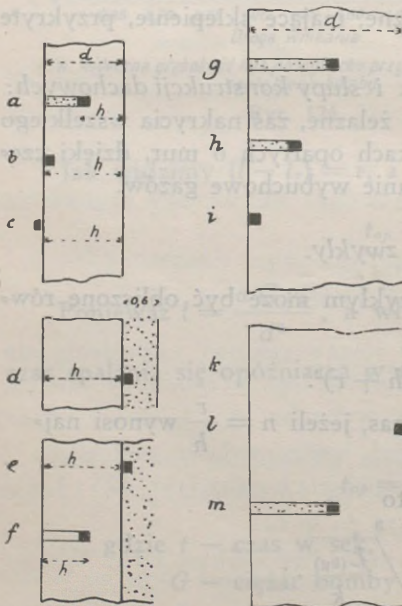
d) warstwa ziemi przylegającej około 60 cm grubości $k = 0,7$

e) warstwa ziemi przylegającej bardzo znaczna i staowiąca doskonałe uszczelnienie ładunku $k = 0,35$

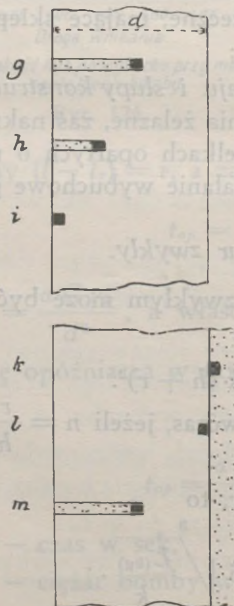
f) ładunek znajduje się bliżej niż w połowie grubości muru od strony warstwy ziemi $\left(h > \frac{d}{2}\right)$. Ładunek

uszczelniony. Duży ładunek $k = 0,35$

Mały ładunek $k = 0,50$



Ryc. 125.



Ryc. 126.

b) Mur obciążony.

Ładunek można obliczyć według wzoru:

$$L_{(kg)} = ad^3_{(m)}.$$

Przy zadanym ładunku grubość wysadzanego muru

$$d_{(m)} = \sqrt[3]{\frac{L_{(kg)}}{a}}.$$

Wartości współczynnika a są następujące (patrz ryc. 126):

Mur wolno stojący.

g) ładunek w środku muru, uszczelniony $a = 15$,

- h) wpuszczony na $\frac{d}{3}$, uszczelniony $a = 4,5$
 i) ładunek na powierzchni muru, nieznacznie wgłębiony $a = 15$

Mur, przylegający do innego środowiska.

- k) ładunek przylega do muru od strony warstwy ziemi, której grubość $= (1 \text{ do } 1,5) d$ $a = 7$
 l) ładunek nieznacznie wgłębiony, uszczelnienie jak w punkcie k $a = 5$
 m) ładunek zagłębiony do połowy d , uszczelniony . $a = 1,5$.

c) Sklepienia.

Ładunek znajduje się na łuku zewnętrznym lub w pachwinie, uszczelnienie ziemne (1 do 1,5 d) $a = 12$.

Należy zaznaczyć, że pocisk umieszczony leżąc na wyżej wymienionych konstrukcjach posiada większe działanie wybuchowe niż pocisk wystrzelony.

Wybuch ładunku powoduje wyłom w murze. Wgłębienia wiódzkiego nie otrzymuje się.

Jeżeli przyjąć wzór ogólny na niszczenie muru $L = a d^3$, i energię potencjalną 1 kg materiału wybuchowego oznaczyć przez E , to $L E = a d^3$ skąd

$$d^3 = \frac{L}{a} E = Z_1 E.$$

Tak samo wzór na wyłamanie muru

$$l^3 = A G v^2$$

można zastąpić wzorem

$$l^3 = 2 g A \frac{G v^2}{2 g} = Z_2 E.$$

23. Działanie fali wybuchowej w powietrzu.

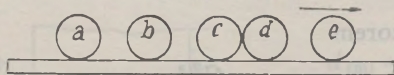
Wybuch w powietrzu wywołuje falisty ruch otaczających częścieczek wskutek ściskania najbliższych warstw powietrza i następującego za tym rozrzedzenia, kolejno powtarzających się. Ruch ten rozchodzi się w kierunku promieni kuli i w pierwszej chwili wybuchu

ma szybkość równą szybkości detonacji, w miarę zaś oddalania się od środka wybuchu szybkość ruchu szybko się zmniejsza i w końcu osiąga normalną szybkość dźwięku, który słyszymy po wybuchu. Berthelot nazwał ten ruch cząsteczek powietrza fizyczną falą wybuchu, która stanowi dalszy ciąg fali chemicznej detonacji.

Zasadniczą cechą ruchu falowego jest to, że w ośrodku, w którym się fala rozchodzi, pojawiają się tylko drobne ruchy miejscowe: cząsteczki ośrodka nie oddalają się znacznie od miejsca, które zajmują w stanie równowagi, gdy tymczasem sama fala, tj. udzielanie się ruchu kolejno coraz dalszym cząsteczkom, postępuje coraz dalej.

Drugą zasadniczą cechą ruchu falowego jest określona i skończona szybkość rozchodzenia się fal. Szybkość ta nie ma nic wspólnego z szybkością ruchu miejscowego cząsteczek ośrodka, w którym fala się rozprzestrzenia.

W chwili wybuchu warstwa, otaczająca ładunek, zostaje gwałtownie ściśnięta wskutek ciśnienia gazów wybuchowych. Jednocześnie wskutek sprężystości zwiększa się ciśnienie tej warstwy. Rozprężając się warstwy współśrodkowe z pierwszą, położone dalej, w pierwszej chwili pozostają nietknięte. Wskutek zwiększonego ciśnienia pierwsza warstwa uderza dalszą, po czym się rozpręża. Dalsza warstwa również wskutek zwiększonego ciśnienia uderza w następną warstwę i rozpręża się itd. Podobne zjawisko przekazywania ruchu przez cząsteczki ciał sprężystych można obserwować na kulach materiału sprężystego. Jeżeli na gładkiej poziomej podstawie ustawić szereg kul jednakowej wielkości i masy, pozostawiając między nimi małe równe odstępny, i następnie uderzy (ryc. 127) kulę *a*, to uderzy ona z pewną szybkością kulę *b*. W ciągu uderzenia szybkość kuli *a*



Ryc. 127.

zostanie całkowicie zniesiona przez sprężysty i bezwładny opór kuli uderzonej; jednocześnie kula *b* nabywa takiej szybkości, jaką miała kula *a* i porusza się naprzód, aż do uderzenia o kulę *c* itd. W ten sposób ruch przenosi się z kuli na kulę, przy czym każda traci zdolność ruchu po uderzeniu, a dopiero ostatnia, nie spotykając oporu, potoczy się dalej.

Za pomocą fal przenosi się energia ze źródła, w którym fale powstają, do najdalszych krańców ośrodka. Źródło wzbudzające fale wykonywa bowiem zawsze pracę, pokonywając bezwładny i sprężysty opór otaczających warstw ośrodka. Wskutek tej pracy nagromadza się w fali energia pod postacią zgęszczenia i ruchu cząsteczek. Zgęszczeniu odpowiada pewien zapas energii potencjalnej, ruchowi zaś — energii kinetycznej. Dlatego Bichel odróżnia przy działaniu fali wybuchowej ciśnienie statyczne i ciśnienie dynamiczne. Oba rodzaje energii przechodzą wraz z falą do coraz innych części ośrodka. Energia rozchodzi się na coraz większe powierzchnie kuliste, rosnące w stosunku kwadratów ich promieni. Na 1 cm² przypada coraz mniej energii. Jeżeli w danej chwili powierzchnia fali kulistej posiada promień r , który po upływie pewnego czasu zwiększy się do R , to ilości energii przypadające w obu tych stanach na 1 cm² powierzchni mają się odwrotnie jak kwadraty tych promieni. Energia w tym wypadku będzie proporcjonalna do ciśnienia wywieranego na jednostkę powierzchni, więc możemy napisać:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2},$$

skąd

$$p_1 \cdot R_1^2 = p_2 \cdot R_2^2.$$

Iloczyn $p_1 \cdot R_1^2$ odpowiada ciśnieniu w środku wybuchu i jest proporcjonalny do ciężaru ładunku wybuchowego.

Działanie ładunku, jak widać z równania, będzie skuteczne, jeśli na odległości R_2^2 ciśnienie p_2 będzie większe od wytrzymałości obiektu, na który działa fala wybuchowa: $\mathcal{E} > \sigma \cdot R^2$,

skąd

$$R < \sqrt{\frac{\mathcal{E}}{\sigma}}.$$

Ciśnienie p w kg/cm² można określić w przybliżeniu ze wzoru

$$p = \frac{2 \cdot \mathcal{E}_{(\text{kg})}^*)}{R^2_{(\text{m})}}.$$

Energia ruchu fali (intensywność), która się wyraża kwadratem okresu drgań, jest znaczna.

*) Według szwajcarskiej Luftschuttkommission

$$p = \frac{3,57 \mathcal{E}}{R^2}.$$

Działanie niszczące fali wybuchowej zależy od energii fali i gwałtownego wzrostu ciśnienia, zarówno w pobliżu środka wybuchu jak i na dalszej odległości. Z powiększeniem odległości zmniejsza się energia fali wskutek nieprzerwanej pracy ściskania środowiska, a zatem zmniejsza się i jej działanie niszczące.

Berthelot uważał, że energia fali zmniejsza się odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości, lecz Cundill i Greenhill wyrazili zależność energii fali od odległości wzorem:

$$E = K \frac{\sqrt{L}}{R},$$

gdzie L — ładunek w kg, zaś K — współczynnik materiału wybuchowego.

Lheure zaproponował wzór podobny:

$$R = K \sqrt{L},$$

przy czym $K = 10$ dla materiałów kruszących i

$$\frac{10}{2} \text{ dla prochu czarnego.}$$

Nowsze badania wykazują, że energia niezależnie od rodzaju środowiska jest odwrotnie proporcjonalna do odległości w potęgze 1,5:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_2^{1,5}}{R_1^{1,5}},$$

promienie zaś działania są proporcjonalne do pierwiastka trzeciego stopnia z ilości materiału wybuchowego

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt[3]{L_1}}{\sqrt[3]{L_2}}.$$

W r. 1899 na poligonie w Kummersdorfie przenoszono detonację dynamitu żelatynowego na odległości następujące:

0,7	m przy wysadzeniu	1 kg
1,4	„	5 „
1,75	„	10 „
2,0	„	25 „
3,0	„	100 „
5,5	„	200 kg.

Według Rüdenberga

$$\frac{E_2}{E_1} = \sqrt[3]{\frac{R_2^3}{R_1^3}} \quad \text{i} \quad \frac{R_2}{R_1} = \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}}$$

Ponieważ energia fali i przeniesienie detonacji zależą również od własności materiału wybuchowego, w szczególności od siły kruszącej, należy uwzględnić we wzorze współczynnik materiału wybuchowego:

$$E = K \frac{\sqrt[3]{L}}{\sqrt[3]{R}}$$

lub, jeżeli wziąć pod uwagę tylko zależność promienia działania od ciężaru ładunku:

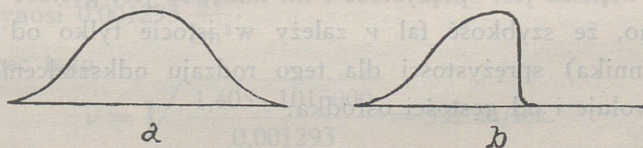
$$R = K \sqrt[3]{L}$$

Jacob uważa powyższe formułki za niedokładne, ponieważ nie uwzględniają one ściśliwości środowiska.

Działanie fali zmniejsza się również w zależności od gęstości środowiska. Energia jej w ziemi dziesięciokrotnie jest mniejsza niż w powietrzu przy tym samym ładunku.

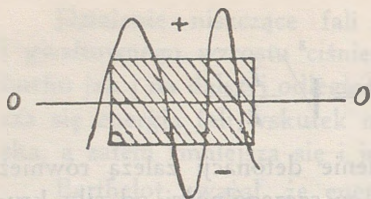
Działanie fali zależy również od kierunku i siły wiatru oraz stopnia zachmurzenia, a także — od ukształtowania terenu.

W niektórych wypadkach w kierunku wiatru zaobserwowano zniszczenia 10 — 20-krotnie większe niż w kierunku przeciwnym.



Ryc. 128.

Według Riemanna i Rüdenberga fala wybuchowa w porównaniu do fali dźwiękowej posiada kształt odmienny. Fala dźwiękowa (ryc. 128a) wykazuje nieprzerwaną zmianę ciśnienia, natomiast fala wybuchowa (ryc. 128b) charakteryzuje się gwałtownym wzrostem i nagłym spadkiem ciśnienia, tak że zamiast fal nieprzerwanych tworzą się fale przerywane.



Ryc. 129.

Wzrost i spadek ciśnienia
fali wybuchowej.

Zjawisko wyrzucania odłamków w kierunku środka wybuchu na znacznej od niego odległości (ryc. 130). Wolf tłumaczy kształtem fali wybuchowej. Część stroma fali pozostaje taką samą i na dalszej odległości, podczas gdy strona przeciwna staje się coraz mniej spadzistą. Czas wzrostu ciśnienia

zmienia się nieznacznie, zaś czas spadku coraz bardziej się powiększa. Z powyższego wynika, że działanie części stromej podobne jest do działania ssącego, szczególnie na dalszych odległościach.

a) Szybkość fal i ich rodzaje.

Szybkość fal danego rodzaju nie zależy ani od mocy wstrząśnienia, ani od ilości energii zawartej w fali. Fala, wywołana zarówno wystrzałem armatnim jak i uderzeniem młotka, wymaga w obu wypadkach tego samego czasu, żeby trafić do ucha, w którym wywołuje wrażenie dźwięku.

Dynamiczne wytłumaczenie postępu fal w ośrodkach sprężystych opiera się na sprężystości i bezwładności ośrodka. Szybkość rozchodzenia się fali zależy też tylko od tych dwóch czynników. Ruch fali tym łatwiej będzie przechodził od jednej cząsteczki do drugiej, im większa jest sprężystość i im mniejsza jest gęstość ośrodka. Obliczono, że szybkość fal v zależy w istocie tylko od modułu (spółczynnika) sprężystości dla tego rodzaju odkształcenia, jakie fala wywołuje i od gęstości ośrodka:

$$v = \frac{s = \text{moduł sprężystości}}{\delta = \text{gęstość ośrodka}}$$

Ciecze i gazy mają tylko sprężystość objętościową; zmiany kształtu cząsteczek nie wywołują w nich żadnej reakcji sprężystej. W cieczech i gazach rozchodzić się mogą zatem tylko fale przewodzące zgęszczenia i rozrzedzenia, a więc fale podłużne, które polegają na sprężystym odkształceniu przewodnika.

Wobec czego

$$\nu \text{ w wodzie} = \sqrt{\frac{s}{\delta}},$$

gdzie s — moduł ściśliwości wody, który równa się przy 15°C

$$20,7 \times 10^6 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^2} \text{ czyli } 20,7 \times 981 \times 10^6 \frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2};$$

$$\delta = 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}.$$

Wobec czego

$$\nu = \sqrt{\frac{20,7 \times 981 \times 10^6}{1}} = 142500 \text{ cm/sek.}$$

Doświadczenia Colladona i Sturma określili tę szybkość na 1435 m/sek.

Moduł ściśliwości gazu utrzymywanego w stałej temperaturze równa się prężności panującej przed odkształceniem. Przy szybkich zmianach gęstości, jakie towarzyszą falam głosowym, wywołanym przez nagle wstrząśnienia, warunek stałości temperatury nie jest spełniony: gaz zgęszczony nagle ogrzewa się, rozrzedzony ostyga. Zmiany temperatury, towarzyszące tym odkształceniom, czynią gaz coraz trudniej ściśliwym. Moduł ściśliwości w tym wypadku nie równa się ciśnieniu p , lecz kp , gdzie k jest pewną liczbą zależną od rodzaju gazu. Dla powietrza $k = 1,405$, a za tym

$$\nu \text{ fal głosowych} = \sqrt{\frac{1,405 \cdot p}{\delta}}.$$

W powietrzu suchym o $t = 0^{\circ}$, pod $p = 1 \text{ atm} = 1013000 \frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}$

δ wynosi $0,001293 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$,

wobec tego

$$\nu = \sqrt{\frac{1,405 \cdot 1013000}{0,001293}} = 332 \text{ m/sek.}$$

Analizując działanie wybuchu w powietrzu można stwierdzić jednoczesne powstawanie fal trzech rodzajów:

1. fal uderzeniowych *powietrznych*, które zaczynają się od miejsca wybuchu i rozprzestrzeniają się ze zmienną szybkością,

2. fal uderzeniowych *ziemnych*, które mają szybkość znacznie większą od fal powietrznych, dzięki czemu na większych odległościach przyrządy pomiarowe wcześniej notują działanie fal ziemnych od powietrznych oraz

3. fal uderzeniowych *ziemnych odbitych*, które powstają w pewnej odległości od miejsca wybuchu wskutek uderzenia fal powietrznych o powierzchnię ziemi.

Najbardziej charakterystyczne są fale uderzeniowe powietrzne, gdyż wskutek kolejno następujących fal zgęszczonych i fal rozrzedzonych działanie ich może być skierowane w dwóch odmiennych kierunkach. Dlatego przy wybuchach obserwuje się nieraz rozrzut wysadzonych szyb lub kawałków muru w kierunku do miejsca wy-



Ryc. 130.

Działanie ssące fali wybuchowej.

buchu. Zrozumiałym również jest zjawisko zaobserwowane podczas wybuchu prochowni w cytadeli warszawskiej w r. 1923, kiedy znajdująca się obok prochowni szopa została zupełnie splaszczona i przyciśnięta do ziemi.

b) Ciśnienie fali uderzeniowej.

Praktyczne znaczenie posiadają fale uderzeniowe powietrzne i ziemne. Dotychczas jednak nie ustalono sposobu określania wielkości ciśnienia fal oraz spadku tego ciśnienia ze wzrostem odległości od miejsca wybuchu pomimo badań, przeprowadzonych przez Berthelota, Rüdenberga, Justrowa i Burlota.

Oznaczenie wartości ciśnienia w pobliżu miejsca wybuchu jest nadzwyczaj trudne, ponieważ żaden przyrząd nie wytrzymuje ciśnienia istniejącego w pierwszej chwili. Pomiary, wykonane przez Mapkinsona, Landaua i Quinaey'a za pomocą dość wątpliwych środków, dały w przybliżeniu 20.000 kg/cm^2 . Jednak tą wartość jest za niska nawet dla małych ilości materiału wybuchowego. Jeżeli się zważy, że cienkościenny pocisk armatni wytrzymuje bez zmiany kształtu ciśnienie gazów 3.000 kg/cm^2 , że cienka lufa karabinowa wytrzymuje ciśnienie gazów 4.000 kg/cm^2 kilka tysięcy razy, przy czym ciśnienia te są daleko trwalsze niż przy detonacji i jeżeli się zważy, że dla zwykłego rozerwania sztaby stalowej potrzebna jest siła $8000 - 10000 \text{ kg/cm}^2$, przy czym części rozerwane nie otrzymują wielkiej szybkości, to już z tego można wnioskować, że ciśnienie ładunku wybuchowego wynosi setki tysięcy, jeżeli nie miliony kg/cm^2 . Przypuszczenie to potwierdza również wzór Waals-Abla:

$$p = \frac{f \cdot L}{v - a L},$$

gdzie P — ciśnienie w atm/cm^2 ,

f — ciśnienie właściwe (dla trotylu około 9000),

L — ciężar materiału wybuchowego w kg ,

v — objętość komory wybuchu w dcm^3 ,

a — kowolumen (dla trotylu około 0,9).

Według tego równania 1 kg trotylu w komorze 1 dcm^3 , to znaczy przy gęstości załadowania $\Delta = 1$, wytwarza ciśnienie $p = 90.000 \text{ kg/cm}^2$. Przy zwiększeniu gęstości ładowania, np. do 1,5 jak w granatach i bombach nabitych, ciśnienie wzrasta do nieskończenia wielkich wartości.

Justrow przy wysadzaniu około 5.000 kg materiału wybuchowego wymierzył za pomocą kreszerów ciśnienie w odległości 4 m od środka wybuchu, które wyniosło 1600 kg/cm^2 .

Jeżeli przyjąć, że spadek ciśnienia jest odwrotnie proporcjonalny do odległości

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

to, biorąc za podstawę pomiary Justrowa, otrzymamy następujące wartości ciśnienia na różnych odległościach:

R	p
4 mm	1600000 kg/cm^2
4 m	1600 „

R	p
40 m —	160 kg/cm ²
400 m —	16 „

Przy zastosowaniu do obliczeń wzoru Berthelota

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$$

otrzymamy inne wartości

R	p
4 mm —	1600000000 kg/cm ²
4 m —	1600 „
40 m —	16 „
400 m —	0,16 „

Wreszcie według wzoru Rüdenberga

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{R_2^3}{R_1^3}$$

wymienione wartości ciśnienia wynoszą:

R	p
4 mm —	500000000 kg/cm ²
4 m —	1600 „
40 m —	50 „
400 m —	1,6 „

Już na zasadzie powyższych obliczeń da się stwierdzić, że nie wysokie ciśnienie w pobliżu wybuchu, które uniemożliwia wszelkie pomiary. Niemiecki Instytut Chemiczno-Techniczny, pomimo zastosowania do pomiarów ciśnienia trwałych przyrządów, opartych w budowie na zasadzie barometru sprężynowego, nie miał możliwości przeprowadzenia pomiarów ciśnienia bliżej niż 20 m od miejsca wybuchu. Przy tym doświadczeniu zdetonowano 1000 kg, otrzymując następujące wyniki:

R	p
20 m —	5 kg/cm ²
40 m —	2 „

Pomiary dokonane na większych odległościach za pomocą przyrządów membranowych dały następujące wyniki:

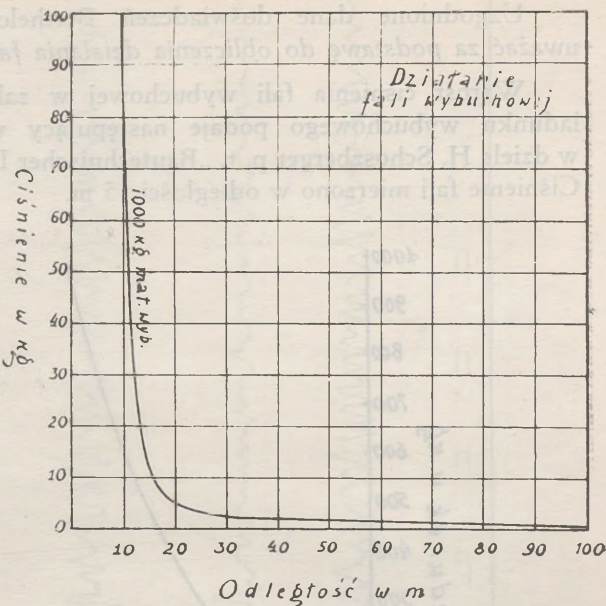
R	p
500 m —	40,3 g/cm ²
1000 m —	19,7 „

R	p
1500 m	— 15 g/cm ²
2000 m	— 12,3 „
2500 m	— 9,5 „

Wyniki badań są uwidocznione na wykresie (ryc. 131).

Jednocześnie stwierdzono ssące działanie fali wybuchowej, które przy tym samym ładunku 1000 kg na różnych odległościach wynosi:

R	p
300 m	— 140 g/cm ²
1000 m	— 90 „
1500 m	— 70 „
2000 m	— 50 „
2500 m	— 50 „



Ryc. 131.

Dane powyższe stwierdzają, że fala uderzeniowa powietrzna na odległościach ponad 400 — 500 m ma własności fali dźwiękowej: ciśnienie fali spada dość równo w stosunku odwrotnie proporcjonalnym do odległości, przy czym szybkość fali jest równomierna i wynosi ~ 332 m/sek. Trzeba nadmienić, że małe nieregularności, które da się zauważyć w wynikach pomiarów, mogły powstać wskutek działania zjawisk ubocznych, jak wiatr, niedokładności przyrządów itp.

Na mniejszych odległościach według Berthelota ciśnienie fali jest proporcjonalne do pierwiastka kwadratowego z ładunku wybuchowego

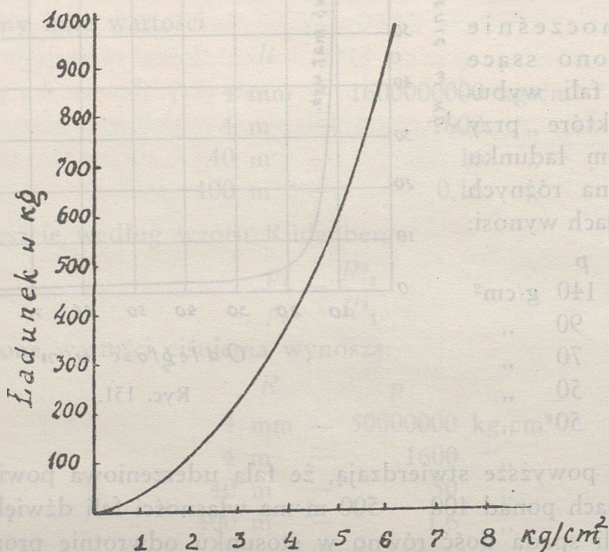
$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\sqrt{L_1}}{\sqrt{L_2}}$$

wobec tego przy 5000 kg na odległości 500 m ciśnienie wyniesie około 90 g/cm² i na odległości 400 m — 112 g/cm².

Obliczenie powyższe zgadza się z wyżej przytoczonym obliczeniem Justrowa, dokonany na zasadzie przeprowadzonych przezeń pomiarów.

Uzgodnione dane doświadczeń Berthelota i Justrowa należy uważać za podstawę do obliczenia działania fali powietrznej.

Wzrost ciśnienia fali wybuchowej w zależności od wielkości ładunku wybuchowego podaje następujący wykres, zamieszczony w dziele H. Schoszberger p. t. „Bautechnischer Luftschutz“ (ryc. 132). Ciśnienie fali mierzono w odległości 15 m.



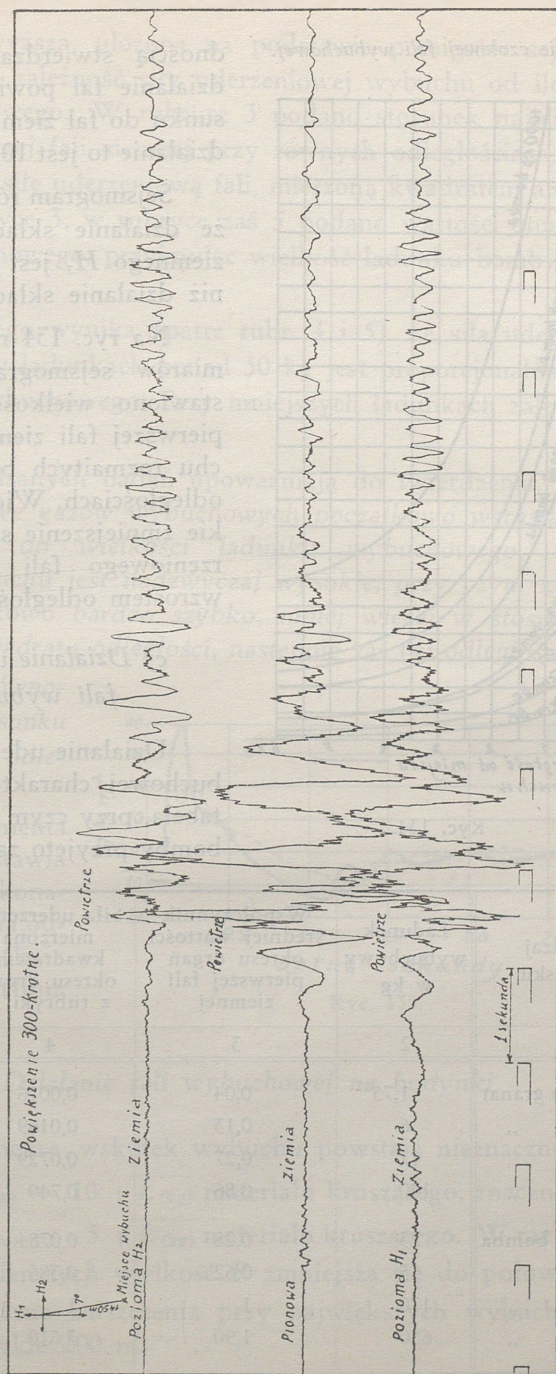
Ryc. 132.

Dużą trudność sprawia oznaczenie miejsca, w którym spadek ciśnienia w stosunku odwrotnym do kwadratu odległości przechodzi do stosunku odwrotnego.

W tym celu podczas wojny światowej dokonano licznych pomiarów drgań ziemi przy różnorodnych wybuchach za pomocą sejsmografu. Pomiaru te doskonale się nadają do porównania siły wybuchu granatów i bomb różnego rodzaju. Otrzymane sejsmogramy wykazują zawsze charakterystyczny obraz małych amplitud idących na przedzie fal ziemnych i wielkich amplitud postępujących za nimi fal powietrznych, o mniejszej szybkości, która wynosi około 332 m/sek. Odstęp między nimi wzrasta w miarę powiększania odległości miejsc pomiarowych od miejsca wybuchu.

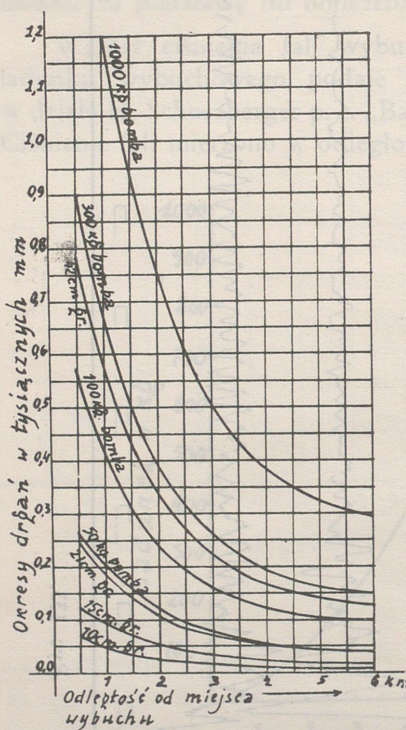
Na ryc. 133 podany jest wykres sejsmografu dla wysadzonej bomby lotniczej 1000 kg w odległości 1450 m. Wykres z całą dokład-

Sejsmogram wybuchu 1000 kg bomby P. u. W.
z odległości 1450 m od miejsca wybuchu,
według Justrowa.



Рыс. 133.

Działanie czołowej fali wybuchowej.



Ryc. 134.

dnością stwierdza przewyższające działanie fal powietrznych w stosunku do fal ziemnych, przy czym działanie to jest 10-krotnie większe.

Sejsmogram również wykazuje, że działanie składowej uderzenia ziemnego H_1 jest o wiele większe niż działanie składowej H_2 .

Na ryc. 134 na podstawie pomiarów sejsmograficznych przedstawiono wielkość okresu drgań pierwszej fali ziemnej przy wybuchu rozmaitych bomb na różnych odległościach. Widoczne jest szybkie zmniejszenie się działania uderzeniowego fali wybuchowej ze wzrostem odległości.

c) Działanie uderzeniowej fali wybuchowej.

Działanie uderzeniowe fali wybuchowej charakteryzuje poniższa tabela, przy czym działanie 300 kg bomby przyjęto za jednostkę.

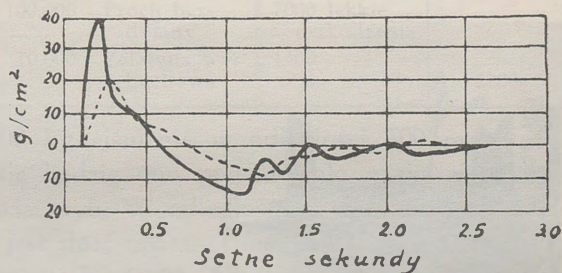
Rodzaj pocisku	Ładunek wybuchowy w kg	Współczynnik średniej wartości okresu drgań pierwszej fali ziemnej	Siła uderzenia mierzona kwadratem okresu drgań z rubryki 3	Wielkość stosunkowa ładunku wybuchowego
1	2	3	4	5
10 cm granat	1,75	0,04	0,0016	0,010
15 „ „	6	0,13	0,0169	0,035
21 „ „	17	0,27	0,0729	0,1
42 „ „	140	0,86	0,740	0,826
50 kg bomba	23	0,28	0,0784	0,135
100 „ „	55	0,62	0,385	0,324
300 „ „	170	1	1	1
1000 „ „	680	1,90	3,610	4,00

Tabela powyższa, ułożona na podstawie pomiarów sejsmograficznych, podaje zależność siły uderzeniowej wybuchu od ilości materiału wybuchowego. W rubryce 3 podano stosunek największych amplitud pierwszej fali ziemnej przy równych odległościach. W rubryce 4 podano siłę uderzeniową fali, mierzoną kwadratem amplitudy podanej w rubryce 3, w rubryce zaś 5 podano wartości stosunkowe ładunku wybuchowego, przyjmując wielkość ładunku bomby 300 kg za jednostkę.

Z powyższego wynika (patrz rubr. 4 i 5), że siła uderzeniowa fali ziemnej przy ładunkach ponad 50 kg jest proporcjonalna do ilości materiału wybuchowego. Przy mniejszych ładunkach zależność ta jest nieregularna.

Wyniki opisanych badań upoważniają do twierdzenia, że działanie uderzeniowe gazów wybuchowych początkowo wzrasta prawie proporcjonalnie do wielkości ładunku wybuchowego, ciśnienie w miejscu wybuchu jest nadzwyczaj wysokie, przy czym zmniejsza się ono początkowo bardzo szybko, mniej więcej w stosunku odwrotnym do kwadratu odległości, następnie zaś (w odległości 400 — 500 m) spada równomiernie w stosunku odwrotnym do odległości.

Spadek ciśnienia w czasie przedstawia wykres 135, wykonany dla 1000 kg na odległości 500 m (linia ciągła) i 1000 m (linia przerywana).



Ryc. 135.

d) Działanie fali wybuchowej na budynki.

Według Lheure wskutek wybuchu powstają nieznaczne uszkodzenia przy $R_{(m)} = 10 \sqrt{E_{(kg)}}$ materiału kruszącego, znaczne uszkodzenia przy $R_{(m)} = 5 \sqrt{E_{(kg)}}$ materiału kruszącego. W razie istnienia przeszkód ziemnych wielkość R zmniejsza się do połowy.

Bardzo znaczne zniszczenia przy największych wybuchach nie przekraczają zwykle 200 m.



Ryc. 136.

Skutki działania podmuchowego 135 kg bomby,
wysadzonej w odległości 7,5 m od budynku.



Ryc. 137.

Skutek wybuchu 45 kg bomby, wysadzonej wewnątrz budynku.

W poniższej tabeli Brunswig podaje wymiary ośrodków zniszczenia, powstałych wskutek wybuchów olbrzymich ilości materiałów wybuchowych:

Miejsce wybuchu	Rok	Materiał wybuchowy		Ośrodek zniszczenia	
		Ilość kg	Rodzaj	zaobserwowany R m	wg oblicze- nia R m
Corvilain	1889	5.500	Proch czarny	340 ciężkie uszkodzenia	500
Vigna-Pia	1891	260.000	„ „	1500 ciężkie uszkodzenia 6000 lekkie uszkodzenia	3600
Santander	1893	30.000	Dynamit	600 ciężkie uszkodzenia	1700
Keeken	1895	20.000	„	1200 — 2200 w zależności od kierunku	1400
Johannesburg	1896	50.000	Żelatyna wy- buchowa	1800 ciężkie uszkodzenia 4500 lekkie uszkodzenia	2500
		100.000	Proch czarny	3200 ciężkie uszkodzenia	2200
Lagoubran	1899	100.000	Proch bez- dymny	7000 lekkie uszkodzenia	
Avigliana	1900	10 000	Żelatyna wy- buchowa	1300	1200

Przy wybuchu 1000 kg ciśnienie w odległości 500 m wynosi jeszcze 0,04 kg/cm². Nie będzie ono powodowało większej szkody w domach prócz wybicia szyb. W odległościach zaś 50 m od miejsca wybuchu ciśnienie jest dość znaczne: można go przyjąć, według powyższych obliczeń na ~ 3 kg/cm². Chociaż wytrzymałość samej cegły jest większa od tego ciśnienia, jednak wytrzymałość całości domu (w spojeniach) jest mniejsza. Należy przypuszczać, że w ogóle mur o dużej powierzchni, lecz małym przekroju nie wytrzyma ciśnienia 3 kg/cm². Wobec tego domy miejskie należy uważać za przedmioty bardzo wrażliwe na działanie fali powietrznej. Inaczej przedstawia się sprawa bezpieczeństwa schronów betonowych i innych obiektów fortyfikacyjnych, gdyż mamy tu zazwyczaj budowle o małej powierzchni i mocnych przekrojach. Dobry beton posiada przeciętną wytrzymałość 300 kg/cm²; mur betonowy musiałby mieć bardzo dużą powierzchnię, żeby nie wytrzymać ciśnienia 3 kg/cm². Mały schron betonowy w ziemi o grubości ścian 0,5 m należy uważać za



Ryc. 138.
Skutki bombardowania Szanghaju przez Japończyków.



Ryc. 139.
Skutki bombardowania Szanghaju przez Japończyków.

dostatecznie odporny na działanie fali powietrznej i ziemnej przy wybuchu do 1000 kg, detonujących nie w bezpośredniej bliskości, lecz w odległości co najmniej jednego promienia działania niszczącego w ziemi.



Ryc. 140.

Bombardowanie zakładu przemysłowego.

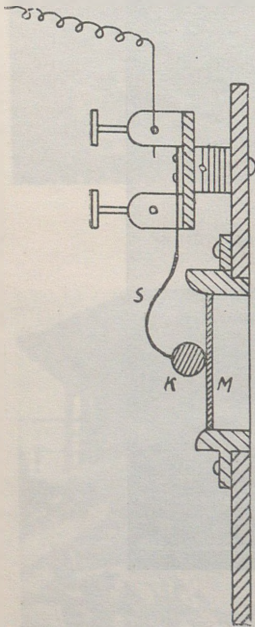
e) *Mierzenie szybkości fali wybuchowej w powietrzu.*

Francuska Komisja Doświadczalna (Mem. Poudr. Salp. XIII. 1905) używała przyrządu (patrz ryc. 141), połączonego z aparatem Boulangè. Wyłączenie pierwszego obwodu następowało wskutek wybuchu ładunku materiału wybuchowego, zaś wyłączenie drugiego obwodu — wskutek odbicia się kulki K od membrany M.

Szybkość fali wybuchowej, mierzona przez Vielle'a przy detonacji 0,69 rtęci piorunującej w rurach żelaznych, wynosiła:

1075 m/sek	w odległości	33 cm	od miejsca wybuchu,
1045	"	53	" "
988	"	131	" "
860	"	236	" "
670	"	386	" "
500	"	800	" "
440	"	1200	" "
390	"	3200	" "

f) Działanie fali wybuchowej
na organizm żywy.



Ryc. 141.

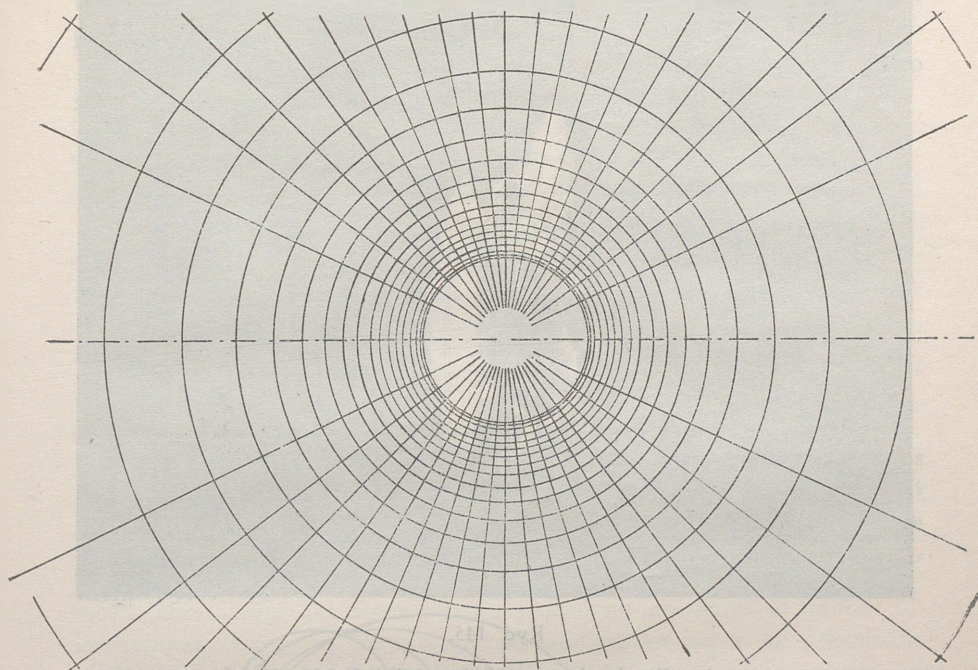
Działanie fali wybuchowej na organizm żywy tłumaczy się gwałtowną zmianą ciśnienia w przeciągu bardzo krótkiego czasu. W czasie wielkiej wojny, w r. 1916, oficer francuski Arnoux znalazł przypadkowo przy zabitych, którzy nie posiadali na swym ciele żadnego zranienia, barometr aneroid, który wykazywał, że został zniszczony przez znaczne i raptowne ciśnienie. Po dalszych badaniach stwierdzono, że podobne uszkodzenia następują jedynie w wypadku gwałtownego spadku ciśnienia z 760 mm na 410 mm, co odpowiada ciśnieniu na Montblanc. Wymienione zjawisko zachodzi w bliskiej odległości od miejsca wybuchu przy szybkości prądu powietrznego około 276 m/sek. i ciśnieniu ok. 10.360 kg/m². Przebieg zjawiska jest podobny do tego, jaki się obserwuje przy szybkim wznoszeniu się lotników lub przy szybkim opuszczaniu się nurka pod wodą.

Według danych francuskich odległość niebezpieczna dla ludzi podczas wybuchu jest znacznie mniejsza od $\sqrt{L_{kg}}$.

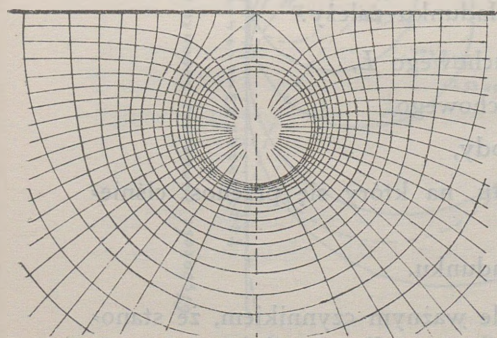
24. Wybuch w wodzie.

W wodzie podczas wybuchu najbliższe do ładunku cząsteczki ulegają ściśnięciu i przesunięciu, które wskutek prężności cieczy

udziela się innym cząsteczkom, położonym w następnych warstwach współśrodkowych. Im większa jest szybkość rozkładu materiału wybuchowego, tym cieńsze są warstwy poruszone (patrz ryc. 142 — 144). Z tego powodu do niszczenia lodu lub przedmiotów znajdujących się na powierzchni wody używa się ładunków prochowych mających mniejszą szybkość spalania się.

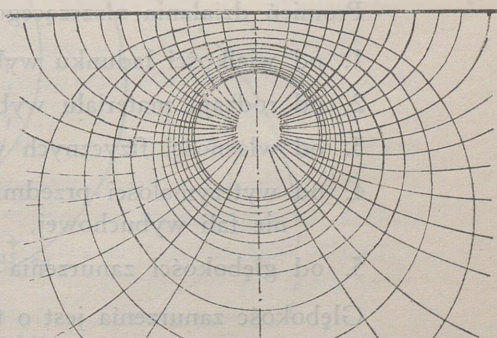


Ryc. 142.



Ryc. 143.

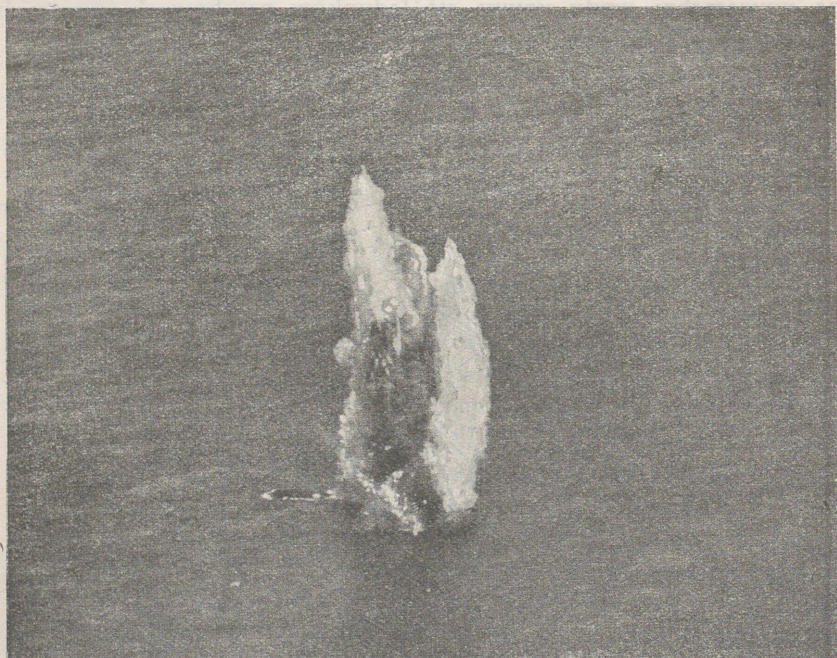
Wybuch w pobliżu ściany.



Ryc. 144.

Wybuch w pobliżu powierzchni.

Dosięgając powierzchni, gazy wyrzucają słup wody w kształcie stożka, którego podstawa znajduje się na powierzchni wodnego lustra. Patrz ryc. 145.



Ryc. 145.

Bombardowanie łodzi podwodnej.

Promień działania niszczącego ładunku zależy:

1. od wielkości ładunku wybuchowego L ,
2. od rodzaju materiału wybuchowego,
3. od własności fizycznych wody,
4. od wytrzymałości przedmiotu, na który się przenosi ciśnienie fali wybuchowej,
5. od głębokości zanurzenia ładunku.

Głębokość zanurzenia jest o tyle ważnym czynnikiem, że stanowi zagłuszenie miny wodnej, dzięki czemu całkowita ilość gazów zostaje wykorzystana.

Doświadczenia marynarki Stanów Zjednoczonych A. P. przy bombardowaniu statków za pomocą bomb lotniczych upoważniają do określenia promienia ośrodka niszczenia wzorem:

$$R = \sqrt{\frac{L}{m}}$$

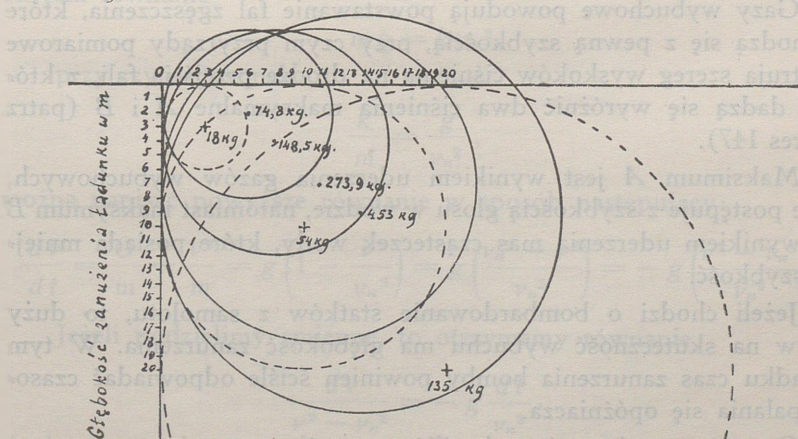
(R — promień w m , L — ładunek w kg , m — współczynnik = 2,3 przy zagłębieniu, które wynosiło od $\frac{1}{3}$ do $\frac{2}{3}$ R).

Współczynnik m jest współczynnikiem materiału wybuchowego i wytrzymałości przedmiotu zniszczenia.

W y n i k i b a d a ń a m e r y k a ń s k i c h .

Ciężar bomby lotniczej	Ciężar ładunku wybuchowego	R ośrodka niszczenia	Głębokość zanurzenia
300 funt. (135 kg)	74,8 kg	6 m	2 m
600 „ (272 kg)	148,5 „	8 „	4 „
1100 „ (500 kg)	273,9 „	11 „	7 „
2000 „ (907 kg)	453 „	14 „	9 „

Wyniki wyżej wymienionych badań przedstawia również wykres 146. Należy zaznaczyć, że współczynnik m może być znacznie mniejszy (1,2 — 0,85 i 0,75), jak o tym świadczą próby przeprowadzone przez marynarkę angielską (patrz ryc. 146, ładunki, oznaczone znakiem +).



Ryc. 146.

- Ładunki do zwalczania pancerników.
- + Ładunki do zwalczania łodzi podwodnych.

Według badań przeprowadzonych przez Abbota, przy zanurzeniu ładunku na 2 — 3 m energia uderzenia w wodzie może być obliczona ze wzoru

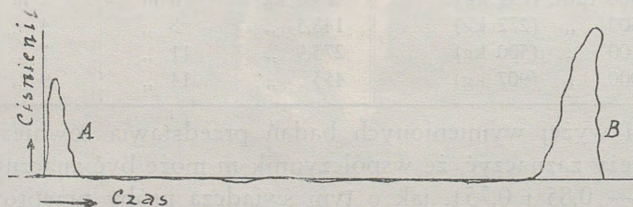
$$E = m \frac{\sqrt{L}}{R^2}$$

L — ładunek w kg, R w m, m — współczynnik).

Przy detonowaniu ładunków, zaopatrzonych w spłonki, przez wpływ $m = 1,2 — 1,5$.

Zwiększenie energii jest proporcjonalne do ładunku, jednak siła uderzenia w pewnej odległości nie wzrasta proporcjonalnie do wielkości ładunku. Na przykład dwukrotne powiększenie ładunku zwiększa tę siłę zaledwie o 25%.

R. Blochmann przy pomiarach siły uderzenia wybuchu w wodzie stwierdził następujące zjawisko.



Ryc. 147.

Gazy wybuchowe powodują powstawanie fal zgęszczenia, które rozchodzą się z pewną szybkością, przy czym przyrządy pomiarowe rejestrują szereg wyskoków ciśnienia na drodze przejścia fali, z których dadzą się wyróżnić dwa ciśnienia maksymalne A i B (patrz wykres 147).

Maksimum A jest wynikiem uderzenia gazów wybuchowych, które postępuje z szybkością głosu w wodzie, natomiast maksimum B jest wynikiem uderzenia mas cząsteczek wody, które posiada mniejszą szybkość.

Jeżeli chodzi o bombardowanie statków z samolotu, to duży wpływ na skuteczność wybuchu ma głębokość zanurzenia. W tym wypadku czas zanurzenia bomby powinien ściśle odpowiadać czasowi spalania się opóźniacza.

Czas zanurzenia można określić w sposób następujący.

Przypuśćmy, że bomba przy zetknięciu się z powierzchnią wody posiada pewną szybkość v_k .

W wodzie ruch bomby będzie miał coraz większe przyspieszenie ujemne i w końcu zamieni się w ruch jednostajny z określoną szybkością, mianowicie z chwilą kiedy opór wody zrówna się z ciężarem bomby.

Oznaczamy:

G = ciężar bomby w kg,

$m = \frac{G}{g}$ — masa bomby,

v — szybkość jej ruchu w wodzie,

v_n — graniczna szybkość bomby w wodzie,

v_k — szybkość w chwili zetknięcia się z wodą,

z — głębokość zanurzenia.

Opór wody podczas ruchu bomby

$$R = k \cdot v^2.$$

Równanie ruchu bomby w układzie osi współrzędnych (pionowej oz w kierunku zanurzenia i ox — poziomej, równoległej do powierzchni wody) będzie następujące:

$$m \frac{dv}{dt} = G - k v^2.$$

Biorąc pod uwagę, że wielkość szybkości końcowej w wodzie określa równanie

$$m g = k v_n^2,$$

przy czym stosunek

$$\frac{k}{m} = \frac{g}{v_n^2},$$

można napisać powyższe równanie w sposób następujący:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{G}{m} - \frac{v^2}{m} = g \left(1 - \frac{v^2}{v_n^2} \right) = g \left(\frac{v_n^2 - v^2}{v_n^2} \right) = -g \left(\frac{v^2 - v_n^2}{v_n^2} \right).$$

Jeżeli podzielimy zmienne, to otrzymamy równanie

$$\frac{dv}{v^2 - v_n^2} = -g \frac{dt}{v_n^2},$$

skąd

$$\frac{dv}{v^2 - v_n^2} = \frac{g}{v_n^2} dt.$$

Ażeby znaleźć całkę lewej części równania, musimy znaleźć czynnik ułamka:

$$\frac{1}{v^2 - v_n^2} = \frac{A}{v - v_n} + \frac{B}{v + v_n}.$$

Współczynniki A i B znajdujemy przez mnożenie równania przez $v - v_n$, a następnie przez $v + v_n$ przy założeniu w pierwszym wypadku $v = v_n$, w drugim zaś $v = -v_n$.

$$\frac{1}{v^2 - v_n^2} (v - v_n) = \frac{1}{v + v_n} = A + B \frac{v - v_n}{v + v_n}$$

tj.

$$A = \left| \frac{1}{v_n + v} \right|_{v = v_n} = \frac{1}{2 v_n};$$

$$B = \left| \frac{1}{v - v_n} \right|_{v = -v_n} = -\frac{1}{2 v_n}.$$

$$\frac{1}{v^2 - v_n^2} = \frac{1}{2 v_n (v - v_n)} - \frac{1}{2 v_n (v + v_n)}.$$

$$\begin{aligned} \int \frac{dv}{v^2 - v_n^2} &= \frac{1}{2 v_n} \int \frac{dv}{v - v_n} - \frac{1}{2 v_n} \int \frac{dv}{v + v_n} = \\ &= \frac{1}{2 v_n} \left\{ l_n (v - v_n) - l_n (v + v_n) \right\} = \frac{1}{2 v_n} l_n \left\{ \frac{v - v_n}{v + v_n} \right\}. \end{aligned}$$

$$\int \frac{dv}{v^2 - v_n^2} = \frac{1}{2 v_n} l_n \left\{ \frac{v - v_n}{v + v_n} \right\} = -\frac{gt}{v_n^2},$$

lub

$$-\int \frac{dv}{v^2 - v_n^2} = \frac{1}{2 v_n} l_n \left\{ \frac{v + v_n}{v - v_n} \right\} = \frac{gt}{v_n^2},$$

skąd

$$t = \frac{v_n}{2g} l_n \left\{ \frac{v + v_n}{v - v_n} \right\}.$$

Czas zagłębienia bomby od chwili zetknięcia się z wodą do chwili osiągnięcia szybkości mniejszej v_z wyraża się za pomocą całki

$$\int_0^t g dt = \frac{g}{v_n^2} t = \frac{1}{2 v_n} \left[l_n \frac{v + v_n}{v - v_n} \right]_{v_k}^{v_z} =$$

$$= \frac{1}{2 v_n} \left\{ l_n \frac{v_z + v_n}{v_z - v_n} - l_n \frac{v_k + v_n}{v_k - v_n} \right\}.$$

$$t = \frac{v_n}{2g} \left\{ l_n \frac{v_z + v_n}{v_z - v_n} - l_n \frac{v_k + v_n}{v_k - v_n} \right\}.$$

Równanie daje możność obliczenia czasu zanurzenia bomby do chwili osiągnięcia pewnej szybkości v_z , jeżeli znamy maksymalną szybkość ruchu bomby w wodzie. Ostatnią określa się doświadczalnie, jednak znając maksymalną szybkość bomby w powietrzu możemy znaleźć szybkość maksymalną w wodzie, ponieważ gęstość wody jest 771 razy większa od gęstości powietrza

$$v_z^2 = \frac{v_k^2}{771}.$$

Na zasadzie tego równania otrzymamy:

Ciężar bomby	v_k^2	v_n
16 i 30 kg	162 m'/sek.	5,83 m/sek.
74	231	8,32
274	321	11,56

Zakładamy, że bomby rzucone z wysokości 3000 m przy zetknięciu się z powierzchnią wody mają szybkość v zbliżoną do maksymalnej w powietrzu, lecz zmniejszoną o 11 — 12 m/sek. (patrz Żukowski — Bombomietanie z aeroplanu).

Znajdźmy czas zanurzenia bomby do chwili osiągnięcia szybkości prawie równej szybkości maksymalnej w wodzie, różniącej się od niej o 1%.

W tym celu we wzorze:

$$t = \frac{v_n}{2g} \left[l_n \frac{v + v_n}{v - v_n} \right] \frac{v_z}{v_k}$$

podstawiamy v_n i v_z (z — głębokość zanurzenia):

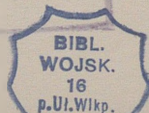
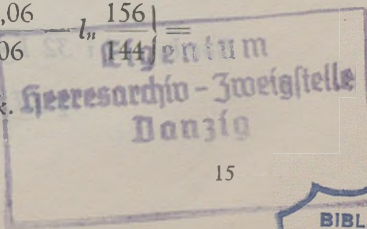
dla bomb 16 i 32 kg: $v_n = 6$ m/sek., $v_z = 1,01 \cdot v_n = 6,06$ m/sek.,
 $v_k = 162 - 12 = 150$ m/sek.

$$v_z + v_n = v_n + v_n \cdot 1,01 = 2,01 v_n$$

$$v_z - v_n = 0,01 v_n;$$

$$\frac{v_z + v_n}{v_z - v_n} = 201.$$

$$\begin{aligned} t &= \frac{v_n}{2g} \left\{ l_n \frac{v_z + v_n}{v_z - v_n} - l_n \frac{v_k + v_n}{v_k - v_n} \right\} = \\ &= \frac{6}{2 \cdot 9,8} \left\{ l_n \frac{6,06 + 6}{6,06 - 6} - l_n \frac{150 + 6}{150 - 6} \right\} = \frac{3}{9,8} \left\{ l_n \frac{12,06}{0,06} - l_n \frac{156}{144} \right\} = \\ &= \frac{3}{9,8} \left\{ 5,3 - 0,077 \right\} = 1,6 \text{ sek.} \end{aligned}$$



Dla bomby 74 — 80 kg: $v_n = 8$ m/sek., $v_k = 230$ m/sek., $v_s = 8,08$ m/sek.

$$t = \frac{8}{2 \cdot 9,8} \left\{ l_n 201 - l_n \frac{220 + 8}{220 - 8} = \frac{4}{9,8} \left\{ 5,303 - 0,077 \right\} = 2,13 \text{ sek.} \right.$$

Dla bomby 246 kg:

$$t = \frac{12}{2 \cdot 9,8} \left\{ l_n 201 - l_n \frac{310 + 12}{310 - 12} \right\} = \\ = \frac{3}{4,9} \cdot \left\{ 5,303 - 0,077 \right\} = 3,19 \text{ sek.}$$

Teraz obliczymy głębokości zanurzenia z , przy których otrzymuje się szybkości zagłębienia $v_s = 1,01 v_n$.

Weźmy zasadnicze równanie ruchu, w którym zmienne są podzielone

$$\frac{dv}{v^2 - v_n^2} = -g \frac{dt}{v_n^2}.$$

Ponieważ $v = \frac{dz}{dt}$, możemy pomnożyć obie strony równania przez wielkości jednakowe.

Otrzymamy

$$\frac{v dv}{v^2 - v_n^2} = -g \frac{dz}{v_n^2}.$$

Po scałkowaniu w granicach od $z = 0$ do z i od $v = v_k$ do $v_s = 1,01 v_n$, otrzymamy

$$\int_{v_k}^{v_s} \frac{v dv}{v^2 - v_n^2} = -\frac{g}{v_n^2} \int_0^z dz.$$

Obliczamy:

$$\text{Bomby 16 i 32 kg: } v_k^2 - v_n^2 = 150^2 - 6^2 = 22500 - 36 = 22264.$$

$$v_s^2 - v_n^2 = 6,06^2 - 6^2 = 36,72 - 36 = 0,72.$$

$$\text{Bomba 74 kg: } v_k^2 - v_n^2 = 220^2 - 8^2 = 48400 - 64 = 48336.$$

$$v_s^2 - v_n^2 = 8,08^2 - 8^2 = 65,29 - 64 = 1,29.$$

$$\text{Bomba 246 kg: } v_k^2 - v_n^2 = 310^2 - 12^2 = 96100 - 144 = 95956.$$

$$v_s^2 - v_n^2 = 12,12^2 - 12^2 = 146,64 - 144 = 2,64.$$

$$z = -\frac{v_n^2}{2g} l_n \left\{ \frac{v_s^2 - v_n^2}{v_k^2 - v_n^2} \right\}.$$

Bomby 16 i 32 kg:

$$z = \frac{36}{2 \cdot 9,8} \cdot l_n \frac{22264}{0,72} = \frac{18}{9,8} 10,33 = 18,6 \text{ m.}$$

Bomba 74 kg.

$$z = \frac{64}{2 \cdot 9,8} \cdot l_n \frac{48336}{1,29} = \frac{16}{4,9} 10,52 = 31 \text{ m.}$$

Bomba 246 kg:

$$z = \frac{144}{2 \cdot 9,8} \cdot l_n \frac{95956}{2,64} = \frac{36}{4,9} 10,49 = 77 \text{ m.}$$

Z obliczeń otrzymujemy następujące wyniki:

Ciężar bomby	Z m	t sek
16 i 32 kg	18,6	1,6
74	31	2,13
246	77	3,19

Bomba 50 kg.

Jeżeli przyjąć maksymalną szybkość końcową bomb lotniczych $= 250 \text{ m/sek.}$, to z równania $250^2 = 771 \cdot v_n^2$ znajdziemy $v_n =$ około 9 m/sek.

$$v_n = 9 \text{ m/sek.},$$

$$v_z = 1,01 \cdot v_n = 9,09 \text{ m/sek.}, \quad v_k = 250 - 12 = 238 \text{ m/sek.},$$

$$v_z + v_n = v_n + v_n \cdot 1,01 = 2,01 v_n$$

$$v_z - v_n = 0,01 v_n;$$

$$\frac{v_z + v_n}{v_z - v_n} = 201.$$

$$t = \frac{v_n}{2g} \left\{ l_n \frac{v_z + v_n}{v_z - v_n} - l_n \frac{v_k + v_n}{v_k - v_n} \right\} =$$

$$\frac{9}{2 \cdot 9,8} \left\{ l_n \frac{9,09 + 9}{9,09 - 9} - l_n \frac{238 + 9}{238 - 9} \right\} = \frac{9}{2 \cdot 9,8} \left\{ l_n \frac{18,09}{0,09} - l_n \frac{247}{229} \right\} =$$

$$= \frac{9}{2 \cdot 9,8} \left\{ 5,303 - 0,02 \right\} = 2,25 \text{ sek.}$$

$$v_k^2 - v_n^2 = 238^2 - 9^2 = 56696 - 81 = 56615$$

$$v_z^2 - v_n^2 = 9,09^2 - 9^2 = 82,62 - 81 = 1,62$$

$$z = \frac{v_n^2}{2g} l_n \left\{ \frac{v_k^2 - v_n^2}{v_z^2 - v_n^2} \right\}.$$

$$z = \frac{81}{2 \cdot 9,8} l_n \frac{56615}{1,62} = \frac{81}{19,6} \cdot 10,44 = 43,1 \text{ m.}$$

Bomby lotnicze morskie przeznacza się albo do rzucenia na pokład statku wojennego lub do zanurzonej łodzi podwodnej, albo wreszcie do rzucenia przy burcie statku celem zniszczenia za pomocą wybuchu jego podwodnej części nieopancerzonej. W pierwszym wypadku czas opóźniacza zapalnika określa się przez obliczenie czasu przenikania pancerza. W drugim wypadku czas opóźniacza zależy od czasu zagłębienia się bomby na głębokość zanurzenia łodzi podwodnej.

Łódź podwodna pływa zwykle z peryskopem przy zanurzeniu 10 m, w czasie napadu — przy zanurzeniu 18 m, a może zagłębiać się na 60 — 100 m. Opóźniacz więc musi uwzględniać wszystkie te głębokości przynajmniej do 50 m. Przy głębokości działania 50 m zapalnik do bomb małych powinien mieć opóźnienie od 0 do 6,7 sek. (1,6 sek. na przebycie 18,6 m i 5,2 sek. na przebycie 50 — 18,6 = 31,4 m ruchem jednostajnym z szybkością maksymalną w wodzie 6 m/sek.). Dla bomb średniego kalibru 75 — 100 kg czas opóźnienia powinien wynosić od 0 do $2,13 + 2 = 4,13$ sek., zaś dla bomb dużego kalibru przy $v_k = 250$ m/sek. do 2,25 — 3 sek.

Przy bombardowaniu podwodnej części burty statków wojennych wymaga się całkowitego zanurzenia bomby na szerokość podwodnego pancerza przy całkowitym zanurzeniu statku. Zanurzenie całkowite lekkiego krążownika wynosi 4 — 5, torpedowca 2,5 do 3 m, pancerników — 9 do 10 m. Z powyższego wynika, że bomby dużych kalibrów muszą mieć zapalniki, których czas opóźniacza

$$t_{op} = \frac{\text{z głębokość zanurzenia statku}}{v \text{ średnia szybkość zanurzenia bomby}}.$$

25. Skuteczność bombardowania mostów *).

Bombardowanie mostów stanowi jedno z najtrudniejszych zadań lotnictwa. Z wysokości 3000 m nawet duży most o długości 300 m wydaje się małym i ledwo dostrzegalnym celem, podobnym do wąskiej tasiemki długości 15 centymetrów. Samolot, przelatujący nad mostem celem zrzucenia bomby, przebywa przestrzeń równą jego szerokości (5 — 6 m) w niespełna 0,1 sekundy. Istnieje więc tylko jeden moment, w którym należy rzucić bombę tak, aby trafiła do celu. Spóźnienie nawet o jedną dziesiątą sekundy może spowodować chybienie celu.

*) Kpt. M. Tarnowski. Działanie bomb lotniczych. Warszawa, 1935.

Skuteczność bombardowania mostu zależy:

od wysokości bombardowania,

„ siły wiatru,

„ sprawności bombardiera,

„ sprawności wyrzutnika,

„ wielkości ładunku wybuchowego i jego siły,

„ położenia bomby w chwili wybuchu,

„ uzbrojenia bomby.

Pozostawiając na boku zagadnienia balistyczne i sprawność sprzętu należy podkreślić znaczenie trzech pozostałych czynników.

Wielkość ładunku wybuchowego i jego siła mają zasadnicze znaczenie przy określaniu działania bomby na poszczególne części mostu. Można je obliczyć za pomocą wzoru, podanego na str. 164. przy czym $u = 1$ w wypadku zagłębienia się bomby na długość skorupy. W celu umożliwienia należytego wnikania zaopatruje się bomby w zapalnik z opóźnieniem.

Czas spalania się opóźniacza, jak zaznaczyliśmy wyżej, jest zależny od rodzaju przeszkody i promienia działania burzącego *).

W razie zastosowania zapalnika o działaniu natychmiastowym bomba wybucha na powierzchni przedmiotu w chwili uderzenia. W tym wypadku współczynnik u równa się 6.

Z wyżej wymienionego wzoru wynika, że dla osiągnięcia jednakowych skutków bomba działająca na powierzchni przedmiotu musiałaby mieć sześciokrotnie większy ładunek w porównaniu z bombą, która wybucha po wniknięciu do przeszkody na całą długość skorupy.

Ciekawe wyniki osiągnięto przy bombardowaniu mostu w Ameryce nad rzeką Pee Dee (stan północnej Karoliny) w grudniu 1927 r. **).

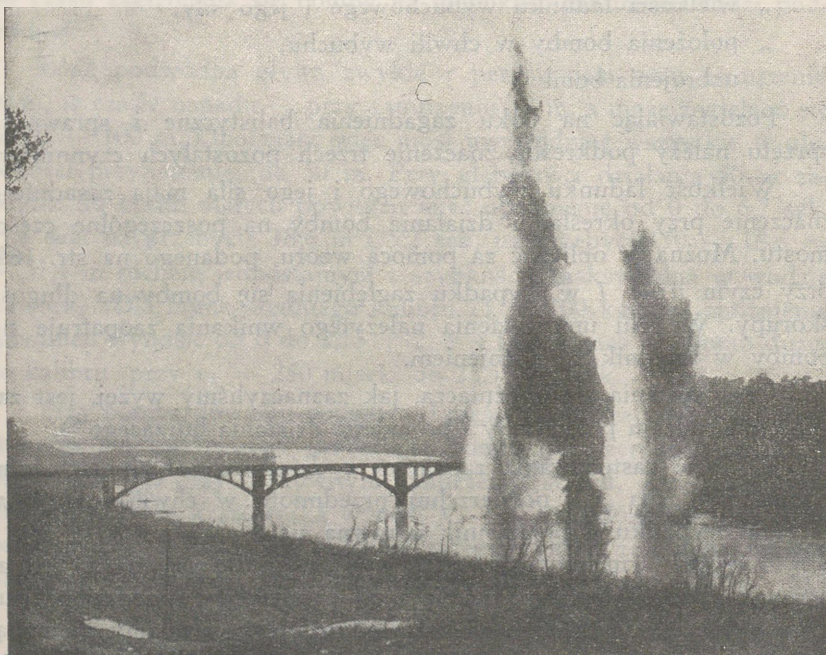
Żelazobetonowy most nowoczesnej konstrukcji o długości 300 m i szerokości 6 m składał się z trzech dużych przęseł nad rzeką i siedmiu bocznych przęseł mniejszych (ryc. 148).

Bombardowanie miało na celu zbadanie, czy bomby 135,272 i 500 kilogramowe nadają się do niszczenia konstrukcji żelazobetonowej oraz jakie zapalniki są najbardziej odpowiednie: o działaniu natychmiastowym, czy też z opóźnieniem. Bombardowanie mostu

*) Patrz str. 194.

**) Army Ordnance Nr 47 r. 1928. Bombs Prove Their Effectiveness.

w myśl regulaminów amerykańskich wykonuje eskadra złożona z 9 samolotów bombardujących jednocześnie. Ze względu na wynikające z rozrzutu bomb niebezpieczeństwo dla okolicznej ludności postanowiono użyć eskadry złożonej tylko z trzech samolotów, co wpłynęło na zmniejszenie prawdopodobieństwa trafienia do celu.



Ryc. 148.

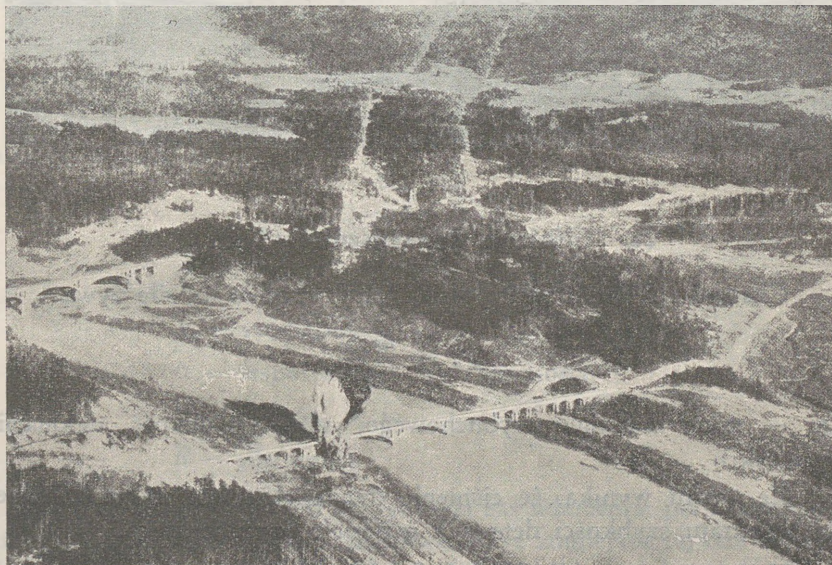
Bombardowanie wykonał I dywizjon niszczycielski, stacjonujący przy Langley Field Va, w odległości 250 mil od mostu nad Pee Dee. Za bazę operacyjną obrano Pope Field Ft. w odległości 62 mil od Pee Dee River.

Samoloty przewiozły 27.810 kg bomb. Zrzucenie bomb wymagało 300 godzin lotu. Samoloty przebyły przestrzeń równą 40.000 km, co odpowiada lotowi naokoło świata. Powyższa odległość została przebyta bez żadnego uszkodzenia w silnikach.

Bombardowanie wykonano z wysokości 1800 — 2400 m przy niezwykle niskiej temperaturze powietrza i silnym wietrze (100 km na godzinę).

Na początku rzucano bomby 135-kilogramowe celem zbadania ich działania na most czy to przy bezpośrednim zetknięciu się, czy to przez trafienie w pobliżu filarów. Po całodziennych próbach przekonano się, że bomby 135-kilogramowe bynajmniej nie są szkodliwe.

Nazajutrz zostały użyte przy bombardowaniu bomby 272 kg, które przy bezpośrednim trafieniu spowodowały pewne uszkodzenia, lecz mostu nie zdemolowały (ryc. 149).



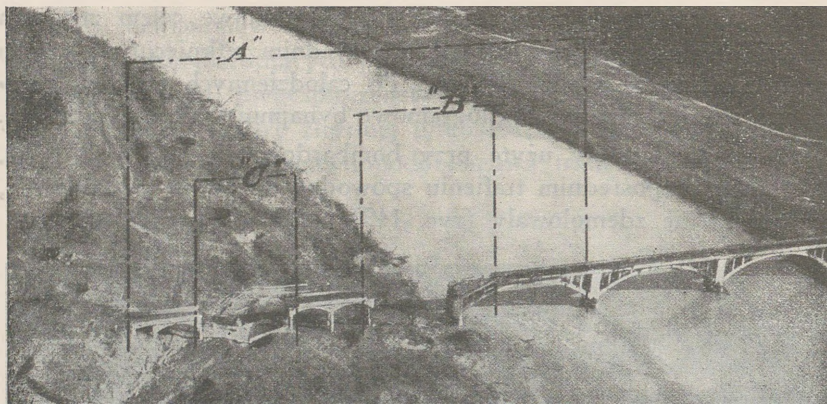
Ryc. 149.

Wreszcie zastosowano bomby 500-kilogramowe zawierające około 250 kg trotylu. Rzucono ogółem 18 sztuk, z których 4 okazały się trafne.

Pierwsza bomba, która uderzyła w most, zdemolowała dwa przęsła nadbrzeżne B długości 24 m. Druga zburzyła filar, podtrzymujący jedno z trzech przęseł nadwodnych, powodując jego zupełne zniszczenie (ryc. 150 B).

W wyniku próby stwierdzono, że do zdemolowania betonowej i żelbetowej konstrukcji konieczne jest uzbrojenie bomb w zapalniki z opóźnieniem 0,1 sek.

Autor artykułu zaznacza, że gdyby chodziło o samo zniszczenie mostu, to zadanie to z łatwością wykonałby klucz, złożony z 9 samolotów, w ciągu znacznie krótszego czasu.



Ryc. 150.

26. Ciśnienie dynamiczne wybuchu.

Ciśnienie dynamiczne wyraził Bichel wzorem na siłę żywą

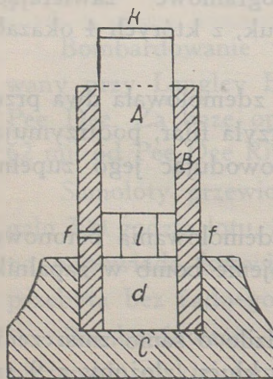
$$P_d = \frac{m v^2}{2}$$

(m — masa materiału wybuchowego, v — szybkość detonacji w m/sek.).

Ze wzoru wynika, że ciśnienie dynamiczne jest proporcjonalne do kwadratu szybkości detonacji materiału wybuchowego.

Kast natomiast oblicza ciśnienie dynamiczne według wzoru

$P_d = f \cdot \Delta \cdot v$ (patrz tabelę własności materiałów wybuchowych).



Ryc. 151.

Do porównania ciśnienia dynamicznego różnych materiałów stosuje się przyrząd Hessa, podany na ryc. 151.

Ciśnienie dynamiczne wyraża się w kruszującym działaniu gazów wybuchowych. Wielkość jego rozstrzyga o wielkości ładunków używanych do niszczenia konstrukcji żelaznych i drewnianych. Założenie ładunku wewnątrz niszczonego przedmiotu, szczególnie przy konstrukcjach żelaznych, nie jest łatwe i zajmuje dużo czasu, wobec czego z reguły stosuje się w tych wypadkach ładunki przyłożone.

Przykłada się je wzdłuż przekroju przebicia, wskutek czego, znaczną część energii się traci.

Energia uderzenia gazów wybuchowych jest proporcjonalna do wielkości ładunku. Część tej energii zużywa się do wykonania pracy polegającej na zniszczeniu materiału o danym przekroju i określonej wytrzymałości.

Praca gazów powinna być równa lub większa od oporu niszczonego środowiska.

$$\frac{m v^2}{2} = R \cdot l = ab \cdot \sigma \cdot a.$$

Ponieważ l oznacza się w metrach, zaś a i b w centymetrach, musimy napisać, że

$$R \cdot l = \frac{a^2 \cdot b \cdot \sigma}{100}$$

gdzie a — grubość przekroju przebicia w cm,

b — szerokość „ „ „

σ — współczynnik wytrzymałości

l — grubość w m,

R — siła oporu.

Przy uderzeniu σ_{dyn} jest 2σ , energia zaś uderzenia, jak zaznaczyliśmy wykorzystuje się tylko częściowo, gdyż zmniejsza się ona w zależności od uszczelnienia. Można przyjąć, że jest ona odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości środka ciężkości ładunku L od powierzchni przebijanego przedmiotu. Zgodnie z doświadczeniem wartość współczynnika uszczelnienia wynosi $w = 50$.

Wobec tego:

$$\frac{m v^2}{2 \cdot w} = \frac{L v^2}{w \cdot 2 \cdot g} = \frac{a^2 b 2 \sigma}{100}$$

$$L = \frac{a^2 b 2 \sigma \cdot w \cdot 2 g}{100 \cdot v^2}$$

Przy stali ładunek trotylu w gramach:

$$L_g = \frac{a^2 b \cdot 2 \cdot 10000 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 1000}{100 \cdot 7600^2} = 3,5 a^2 b.$$

$$L = 3,5 a^2 b,$$

a uwzględniając różne materiały wybuchowe i różne gatunki żelaza,

$$L_g = \frac{3,5 a^2 b \cdot \varsigma}{\varphi}$$

gdzie φ jest stosunek ciśnienia dynamicznego materiałów wybuchowych do ciśnienia dynamicznego trotylu, zaś

$$\varsigma = \frac{\sigma}{\sigma \text{ stali}}.$$

Przykład. Do przebicia sztaby stalowej o przekroju $a = 5$ cm, $b = 30$ cm ładunek wynosi

$$L = 3,5 \cdot 5^2 \cdot 30 = 2625 \text{ g} = 2,625 \text{ kg}.$$

Dla sztaby ze stali miękkiej ($\sigma = 4000$).

$$L = 2,625 \cdot \varsigma = 2,625 \cdot 0,4 = 1,05 \text{ kg}.$$

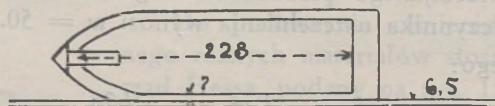
Istnieją inne wzory, używane w technice wojskowej, które jednak nie wyrażają maksymalnego działania ładunku.

Wzór francuski: . . . $L_g = 6 a_{cm} \cdot b_{cm}.$

„ niemiecki: . . . $L_g = 25 a_{cm} \cdot b_{cm}.$

„ austriacki: . . . $L_{kg} = \frac{a^2_{cm} \cdot b_{cm}}{100}.$

Na przykład, według wzoru niemieckiego granat 75 mm wz. 15, zawierający 775 g materiału wybuchowego w pozycji leżącej prze-



Ryc. 152.

bija 6,5 mm płytę na długości 22,8 cm = długości ładunku we wnętrzu granatu (ryc. 152) o grubości następującej:

$$775 = 25 \cdot a \cdot b$$

$$775 = 25 \cdot 22,8 \cdot a$$

$$a = \frac{775}{25 \cdot 22,8} = 1,35 \text{ cm}.$$

Grubość płyty przebijanej = 1,35 — 0,70 (grubość ściany skorupy) = 0,65 cm = 6,5 mm.

Przy zastosowaniu do obliczeń wzoru $L = 3,5 a^2 b$

$$a = \sqrt[3]{\frac{L}{3,5 b}} = \sqrt[3]{\frac{770}{3,5 \cdot 22,8}} = 3,1 \text{ cm.}$$

Grubość przebijanej płyty = 3,1 — 0,70 = 2,4 cm = 24 mm.

Z powyższego wynika, że jeżeli chodzi o obliczenie grubości pancerzy lub innych osłon, przeznaczonych do zabezpieczenia przed działaniem wybuchu, to należy posługiwać się wzorem $L = 3,5 a^2 b$.

Przy znacznym oddaleniu pocisku od przykrycia należy uwzględnić zmniejszanie się energii uderzenia w stosunku do kwadratu odległości

$$L = 3,5 a^2 b h^2,$$

gdzie h_{cm} = odległość środka ładunku wybuchowego od powierzchni płyty.

Bezpośrednie działania ładunków wybuchowych przyłożonych na konstrukcje drewniane oblicza się według wzoru:

$$L_g = 0,05 \left(\frac{a+b}{2} \right)^3,$$

przy drzewie zaś twardym,

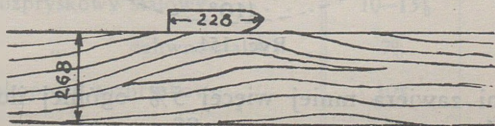
$$L_g = 0,1 \left(\frac{a+b}{2} \right)^3.$$

Działanie wyżej wymienionego granatu na ścianę z drzewa sosnowego jest następujące:

$$\begin{aligned} 770 &= 0,05 \left(\frac{a+b}{2} \right)^3 = \\ &= 0,05 \left(\frac{a+22,8}{2} \right)^3, \end{aligned}$$

skąd

$$a = 2 \sqrt[3]{\frac{770}{0,05}} - 22,8 = 26,8 \text{ cm (patrz ryc. 153).}$$

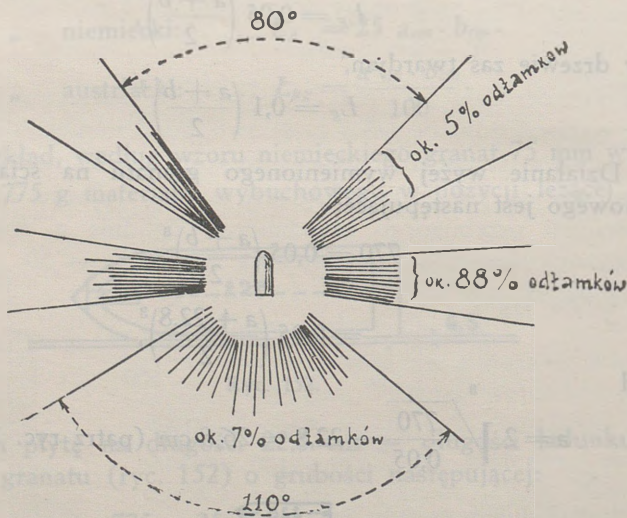


Ryc. 153.

III. DZIAŁANIE ROZPRYSKOWE CZYLI ODŁAMKOWE.

1. Działanie granatu artyleryjskiego w stanie bezwładu.

Granat zdetonowany za pomocą wkrętki pobudzającej rozpryskuje się na odłamki różnej wielkości. Ciśnienie gazów wybuchowych ładunku wewnętrznego nadaje odłamkom szybkość od 400 do 2000 m/sek, wyrzucając je w kierunkach prostopadłych do powierzchni ścian wewnętrznych skorupy. W ten sposób odłamki tworzą dwa stożki, przedni i tylny, oraz pierścień środkowy, które są tym wyraźniej oddzielone od siebie, im większa jest wytrzymałość skorupy i im mniejszy jest kąt podstawy ostrołuku (ryc. 154).



Ryc. 154.

Stożek przedni zawiera mniej więcej 5% ogólnej ilości odłamków.				
Pierścień środkowy „	„	88	„	„
Stożek tylny „	„	7	„	„

Stożek przedni rozprysku i pierścień środkowy przy granatach wydłużonych i bombach odłamkowych zlewają się ze sobą ze względu na kształt ostrołuku.

Jeżeli e jest przeciętnym ciężarem odłamków w kg, to ilość ich

$$N = \frac{G - L}{e}$$

(G — ciężar pocisku, L — ciężar ładunku wewnętrznego w kg).

Ilość odłamków, według Justrowa, jest proporcjonalna do ilości i siły materiału kruszącego oraz proporcjonalna naprężeniu na granicy płynności, odwrotnie zaś proporcjonalna do kalibru, wytrzymałości na rozerwanie, wydłużenia i grubości ścian skorupy.

$$N = \frac{L \cdot m}{d \cdot \frac{R_r \cdot A}{\sigma_p} \cdot \frac{k^2 - 1}{k^2 + 0,5}}$$

przy czym

L — ciężar ładunku wewnętrznego w gramach,

m — współczynnik siły kruszącej materiału wybuchowego,

d — kaliber pocisku w cm,

R_r — wytrzymałość na rozerwanie stali w kg/mm²,

A — wydłużenie w %,

σ_p — naprężenie na granicy płynności w kg/mm²,

k — stosunek średnicy zewnętrznej do wewnętrznej.

Znaczenie k zmienia się w zależności od grubości ścian w różnych przekrojach poprzecznych, wystarczy jednak przyjąć wielkość przeciętną lub uważać skorupę za walec wydrążony.

Poniżej umieszczona tabela podaje różne znaczenia k w zależności od typu pocisku:

T y p p o c i s k u	$\frac{L}{G}$	Przybliżone znaczenie k
Granat przeciwpancerny	2,5%	2,60
„ burzący	15–16%	1,40
„ rozpryskowy stalowy	10–13%	1,50
„ „ żeliwno-stalowy	7%	1,80
Bomby okopowe rozpryskowe	10%	1,55
„ „ burzące	13–45%	1,45–1,1

Współczynnik m zależy od własności materiału wybuchowego i według doświadczeń Justrowa posiada następujące znaczenie:

Materiały wybuchowe	Przybliżone znaczenie m
Nitrogliceryna, rtęć piorunująca	54
Kwas pikrynowy, sześciunitrodwufenyloamina .	50
Trójnitrotoluen, trójnitroanizol	46
Füllpulver 60/40, dwunitrobenzen, amonal, proch nitrocelulozowy i nadchloran potasu	40
Donaryt, perdit i t. p.	30
Proch czarny	3

Wzór na obliczenie ilości odłamków uzasadnia się w sposób następujący.

Ilość odłamków przede wszystkim zależy od ciągliwości materiału skorupy. Według Martensa ciągliwość w %

$$Z = \frac{R_r \cdot A}{\sigma_p \cdot 100}$$

Im większa ciągliwość materiału, tym mniej otrzymuje się odłamków, a więc

$$N = \frac{1}{\sigma_p \cdot 100} \cdot R_r \cdot A$$

Drugim czynnikiem wpływającym na ilość odłamków jest stosunek ilości materiału wybuchowego do kalibru, gdyż przy podobnych pociskach ze wzrostem kalibru objętość materiału wybuchowego i skorupy wzrasta w stosunku do trzeciej potęgi

$$N = 1 \cdot \frac{L}{d}$$

Ponieważ wzrost ciężaru ładunku materiału wybuchowego i skorupy postępuje proporcjonalnie do ich ciężarów właściwych, przeto wyżej wymienioną zależność można przedstawić następująco:

$$\frac{L}{d} = \frac{c \cdot d^3}{d} = c \cdot d^2,$$

gdzie c jest to stały współczynnik materiału wybuchowego, zależny od ciężaru właściwego.

Trzecim czynnikiem, od którego zależy ilość odłamków, jest ciśnienie wewnętrzne w chwili detonacji ładunku.

Wytrzymałość skorupy jako cylindra proporcjonalna jest stosunkowi

$$\frac{r_z}{r_w} = \sqrt{\frac{\sigma_p + 0,4 P_w}{\sigma_p - 1,3 P_w}}$$

gdzie

r_z — promień obwodu zewnętrznego,

r_w — promień obwodu wewnętrznego,

σ_p — naprężenie na granicy płynności w kg/mm^2 ,

P_w — ciśnienie wewnętrzne w atm/mm^2 .

Ze wzoru powyższego można ustalić zależność $k = \frac{r_z}{r_w} = \frac{d_z}{d_w}$

od stosunku $\frac{P_w}{\sigma_p}$, mianowicie

$$\frac{P_w}{\sigma_p} = \frac{k^2 - 1}{1,4 k^2 + 0,4},$$

a po zaokrągleniu przez Justrowa:

$$\frac{P_w}{\sigma_p} = \frac{3}{4} \cdot \frac{k^2 - 1}{k^2 + 0,5}.$$

Powyższy wzór dotyczy wytrzymałości cylindra na działanie ciśnienia wewnętrznego. Przy znacznym natomiast zwiększeniu stosunku

$\frac{P_w}{\sigma_p}$, jakie zachodzi przy rozerwaniu skorupy, stosunek $\frac{3}{4} \cdot \frac{k^2 - 1}{k^2 + 0,5}$

musi być odwrotny, tj. $\frac{4}{3} \cdot \frac{K^2 + 0,5}{K^2 - 1}$.

Łącząc powyższe czynniki otrzymamy następującą zależność rozerwania skorupy od stosunku:

$$\frac{L}{d} \cdot \frac{\sigma_p \cdot 100}{R_r \cdot A} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{k^2 + 0,5}{k^2 - 1}.$$

Do powyższego wzoru należy jeszcze wprowadzić współczynnik siły materiału wybuchowego m , który określa się przez zastosowanie metody porównania.

Mając np. granat 15 cm, o następujących własnościach:
 $\bar{L} = 4860$ g.

rodzaj materiału wybuchowego — kwas pikrynowy,

$$R_r = 80 \text{ kg/mm}^2,$$

$$\delta_p = 45 \text{ kg/mm}^2,$$

$$A = 10\%,$$

$$k = \frac{d_z}{d_w} = 1,49,$$

$$N = \text{ilość odłamków} = 2000,$$

to biorąc jakikolwiek bądź pocisk podobny, otrzymamy:

$$\frac{N'}{N} = \frac{\frac{L'}{d'} \cdot \frac{\sigma'_p \cdot 100}{R_r' \cdot A'} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{k'^2 + 0,5}{k'^2 - 1}}{\frac{\bar{L}}{d} \cdot \frac{\sigma_p \cdot 100}{R_r \cdot A} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{k + 0,5}{k - 1}}$$

$$N_1 = N \cdot \frac{L'}{d'} \cdot \frac{d}{\bar{L}} \cdot \frac{\sigma'_p \cdot 100}{R_r' \cdot A'} \cdot \frac{R_r \cdot A}{\sigma_p \cdot 100} \cdot \frac{k'^2 + 0,5}{k'^2 - 1} \cdot \frac{k^2 - 1}{k^2 + 0,5}$$

$$N_1 = 2000 \cdot \frac{L'}{d'} \cdot \frac{15}{4860} \cdot \frac{\sigma'_p \cdot 100}{R_r' \cdot A'} \cdot \frac{80 \cdot 10}{45 \cdot 100} \cdot \frac{k'^2 + 0,5}{k'^2 - 1} \cdot \frac{1,49^2 - 1}{1,49^2 + 0,5}$$

$$N_1 = 2000 \cdot \frac{L'}{d'} \cdot \frac{1500}{4860} \cdot \frac{\sigma'_p}{R_r' \cdot A'} \cdot 0,178 \cdot \frac{k'^2 + 0,5}{k'^2 - 1} \cdot 0,45$$

$$N_1 = \frac{49,5 \cdot L'}{d' \cdot \frac{R_r' \cdot A'}{\sigma_p} \cdot \frac{k'^2 - 1}{k'^2 + 0,5}}, \text{ gdzie } 49,5 \text{ jest współczynnikiem}$$

m dla kwasu pikrynowego.

Posługując się tym wzorem łatwo ustalić dla wszystkich pocisków podobnych wyżej wymieniony współczynnik m .

Jest to zarazem zasadniczy wzór do obliczenia ilości odłamków granatu.

Justrow podaje następującą tabelę (str. 242) ilości i ciężaru odłamków dla pocisków niemieckich, przy założeniu, że wszystkie

one posiadają skorupę cylindryczną, z płaskim dnem i ostrołukiem o promieniu $= 2d$, ładowane zaś — kwasem pikrynowym.

Po fragmentacji 12,5 kg bomby stalowej otrzymuje się około 7,6 kg odłamków w ilości około 725 sztuk, z czego około 250 ponad 10 g ciężaru.

Wielkość i kształt odłamków są nieregularne. Odłamki większe, jako posiadające większą siłę żywą, lecą na dalsze odległości. Natomiast odłamki małe o ciężarze 2 — 3 g nie lecą dalej jak na 30 m.

Na dowód można przytoczyć rozrzut większych odłamków po cisków różnych kalibrów:

promień rozrzutu dla granatu	75 mm	stalowego	od 150 — 700 m
"	"	"	105—120 mm stalowych 300 — 800 „
"	"	"	120 mm żeliwnostalowych 100 — 250 „
"	"	"	155 mm stalowych 500—1000 „
"	"	"	155 mm żeliwnostalowych 200 — 400 „

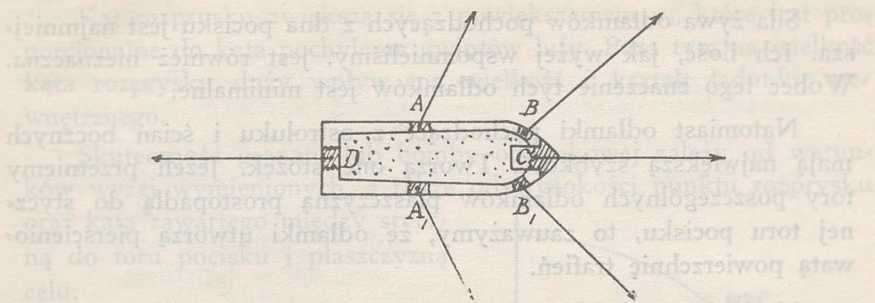
Przyjmując jako przeciętną szybkość odłamków $v_0 = 600$ m/sek. otrzymamy następujący promień działania skutecznego dla odłamków różnej wielkości:

Ciężar odłamka granatu g	V_0 m/sek.	$\frac{mv^2}{2}$	V_k na granicy skuteczności	Promień działania skutecznego
1	600	18	400	6,7
2,5	600	45	254	25
5	600	90	179	57
7,5	600	135	147	83
10	600	180	127	109
15	600	270	104	148
20	600	360	90	200

Kaliber cm	Nazwa pocisku	Ciężar pocisku		Ciężar ładunku kruszące- go Ł w kg	Współ- czynnik k	Ilość	
		w kali- brach	w kilogra- mach			Skorupy ni ²	
						$R_r = 100$	
						$A = 10$	
						$\sigma_p = 70$	
						N	$\frac{e}{g}$
7,7	Granat przeciwpancerny	15 D ³	6,33	0,16	2,62	84	73
7,7	„ zwykły	15 D ³	6,33	0,63	1,59		
10	Granat wz. 06 panc. .	15 D ³	17,4	0,43	2,62	165	103
10	„ „ 5/g. Hb burzący	12 D ³	13,9	2,09	1,4		
10	Granat wz. 14 zwykły .	15 D ³	17,4	1,30	1,79		
15	„ „ 06 panc. . .	15 D ³	50,6	1,26	2,62	337	146
15	„ „ 16/Hb. Gr zwykły	15 D ¹	50,6	5,06	1,59		
15	Granat zw. 18/H zwyk.	15 D ³	50,6	3,80	1,79		
21	„ „ 17 panc. . .	15 D ³	139	3,47	2,62	661	205
21	„ „ 17 zwykły .	12 D ³	111	13,32	1,49		
30	„ panc. wz. 5	12 D ³	405	10,12	2,62	1350	292
30	„ wydłużony wz. 5 zwykły	12 D ³	324	38,8	1,49		
42	Granat panc. wz. γ . .	15 D ³	1,110	277	2,62	2640	410
42	„ wydłużony wz. γ zwykły	12 D ³	890	106,9	1,49		
7,6	Bomba okop. pancerna	11 D ³	4,64	0,46	1,55		
7,6	„ okop. burząca .	11 D ³	4,64	0,60	1,45		
15	„ okop. burząca .	11 D ³	54	14	1,23		
25	„ „ „ .	6,4 D ³	100	45	1,10		
12,5	Bomba odłamkowa P. u. W.		12,5	1,2	1,63		
50	Bomba burząca P.u.W.		50	23	1,11		
75	„ odłamkowa P. u. W.		75	20	1,3		
100	Bomba burząca P.u.W.		100	55	1,08		
300	„ „ „		300	170	1,07		
1000	„ „ „		1000	680	1,045		

i przeciętny ciężar odłamków przy nabijaniu kwasem pikrynowym

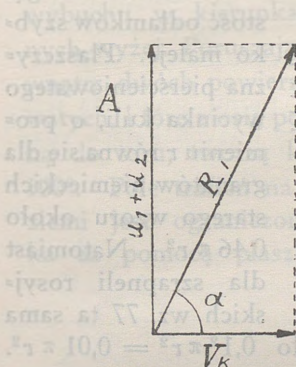
ze stali klowej		Skorupy ze stali pociskowej					Skorupy żel.staliste		
$R_r = 100$		$R_r = 80$		$R_r = 70$		$R_r = 60$	$R_r = 60$	$R_r = 40$	
$A = 15$		$A = 8$		$A = 8$		$A = 15$	$A = 12$	$A = 5$	
$\sigma_p = 60$		$\sigma_p = 50$		$\sigma_p = 38$		$\sigma_p = 33$	$\sigma_p = 30$	$\sigma_p = 25$	
N	$\frac{e}{g}$	N	$\frac{e}{g}$	N	$\frac{e}{g}$	N	$\frac{e}{g}$	N	$\frac{e}{g}$
53 116		130 60		90 68				165 37	
334 17		652 9		568 10					
104 163		203 83		177 96				352 52	
1020 12		1995 6		1735 7				1307 12	
212 232		414 119		360 137				662 74	
1335 34		2600 17		2270 20				2680 17	
416 326		812 167		706 192				1300 104	
2825 35		5520 18		4809 20					
848 466		1655 239		1440 274					
5780 50		11270 25		9820 29					
1660 653		3240 334		2820 384				5190 209	
11300 69		22100 35		19300 40					
		500 8		435 9		234 18	267 16		
		736 5		640 6		345 12	393 10		
		12650 3		11000 3,6		5940 6	6760 6		
		57100 0,9		49700 1		26800 2	30500 1,8		
		985 12,4		856 14,3				1572 7,1	
		(38333) 0,7		(33430) 0,8				61947 0,43	
		14168 3,8		12330 4,4				22876 2,4	
		(85939) 0,52		(74829) 0,5				137500 0,32	
		(204819) 0,63		(226063) 0,57				326923 0,4	
		(860760) 0,36		(750550) 0,4				1360000 0,23	



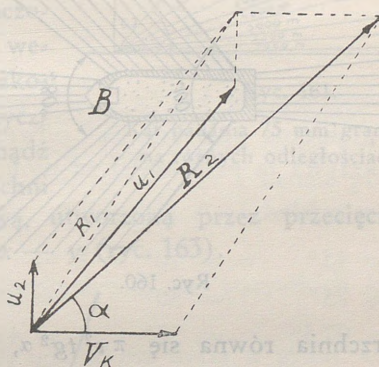
Ryc. 156.

Dla odłamka A i A_1 wypadkową szybkości znajdziemy z wykresu 157).

Dla odłamka B i B_1 składową szybkości jest R_2 (ryc. 158).



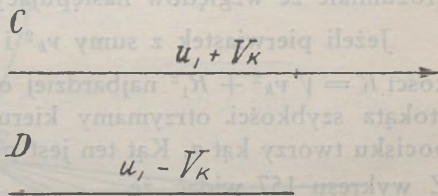
Ryc. 157.



Ryc. 158.

Dla odłamka C składową szybkości jest $u_1 + v_k$ (ryc. 159 C).

Dla odłamka D składową szybkości jest $u_1 - v_k$ (rys. 159 D).



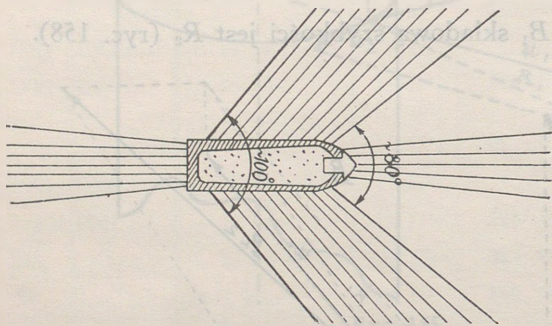
Ryc. 159.

Jeżeli oznaczymy składowe we szybkości v_k , u_1 i u_2 dla każdej cząsteczki lub przypuszczalnych odłamków oraz ich kierunek, będziemy mieli obraz rozprysku granatu na torze w chwili wybuchu ładunku wewnętrznego (ryc. 160).

Siła żywa odłamków pochodzących z dna pocisku jest najmniejsza. Ich ilość, jak wyżej wspomnieliśmy, jest również nieznaczna. Wobec tego znaczenie tych odłamków jest minimalne.

Natomiast odłamki pochodzące z ostrołuku i ścian bocznych mają największą szybkość. Tworzą one stożek. Jeżeli przetniemy tory poszczególnych odłamków płaszczyzną prostopadłą do stycznej toru pocisku, to zauważymy, że odłamki utworzą pierścieniowatą powierzchnię trafiań.

Największe znaczenie mają odłamki pochodzące z bocznych ścian skorupy, tworzące pierścieniowaty stożek rozprysku, którego kąt rozwarcia w wynosi około 100° i wewnętrzny kąt rozwarcia wynosi około 80° (ryc. 160).



Ryc. 160.

Wskutek dużego kąta rozwarcia stożka gęstość odłamków szybko maleje. Płaszczyzna pierścieniowatego wycinka kuli, o promieniu r równa się dla granatów niemieckich starego wzoru około $0,46 \pi r^2$. Natomiast dla szrapneli rosyjskich wz. 77 ta sama

powierzchnia równa się $\pi r^2 \operatorname{tg}^2 \alpha$, tj. około $0,1^2 \pi r^2 = 0,01 \pi r^2$. Z powyższego wynika, że przy jednakowej odległości gęstość odłamków granatu jest około 40 razy mniejsza niż u szrapnela. Jest to zrozumiałe ze względów następujących.

Jeżeli pierwiastek z sumy v_k^2 i R^2 , oznacza wypadkową szybkości $R = \sqrt{v_k^2 + R_1^2}$ najbardziej odchylonego odłamka, to z prostokąta szybkości otrzymamy kierunek tego odłamka, który z osią pocisku tworzy kąt α . Kąt ten jest połową kąta w rozprysku granatu. Z wykresu 157 widać, że

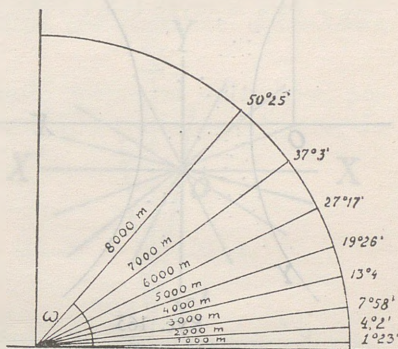
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R_1}{v_k}$$

to znaczy, że kąt rozprysku zwiększa się z odległością, ponieważ v_k stale się zmniejsza, natomiast u_1 jest stałe, zaś u_2 zmniejsza się w małym stopniu.

Kąt rozprysku zwiększa się z powiększeniem u_2 , które jest proporcjonalne do kąta pochylenia gwintów lufy. Poza tym na wielkość kąta rozprysku duży wpływ ma wielkość i kształt ładunku wewnętrznego.

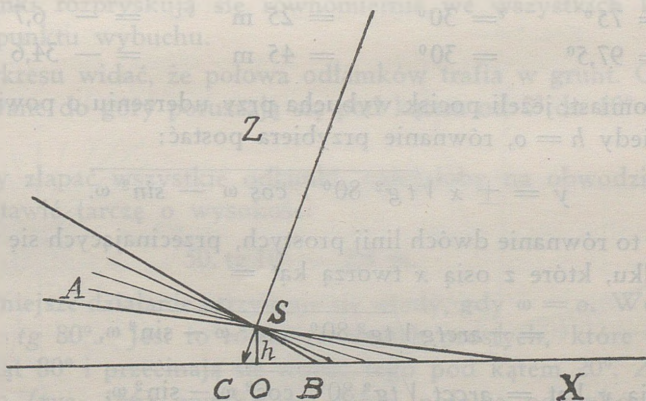
Skuteczność granatu lub bomby odłamkowej zależy od warunków wyżej wymienionych, a także od wysokości punktu rozprysku oraz kąta zawartego między styczną do toru pocisku i płaszczyzną celu.

Wyobraźmy sobie, że granat wybucha nie przy upadku, lecz na pewnej wysokości h (ryc. 162) nad powierzchnią ziemi. Odłamki poruszają się prostolinijnie od punktu wybuchu w kierunkach oznaczonych wyżej. Poruszają się one wewnątrz dwóch powierzchni stożkowych, które z osią pocisku, styczną do toru, tworzą kąt 80° bądź 100° . Pole trafień na powierzchni ziemi jest ograniczone krzywą, utworzoną przez przecięcie stożka za pomocą płaszczyzny $x - y$ (ryc. 163).



Ryc. 161.

Kąt padania 75 mm granatu na różnych odległościach.

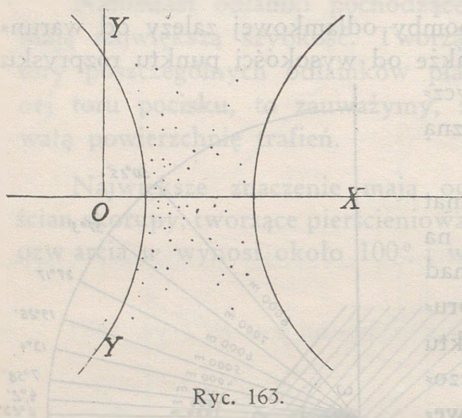


Ryc. 162.

Jeżeli S oznacza punkt rozprysku, SO — wysokość rozprysku, SC — oś stożka, styczną do toru, SCB — kąt upadku ω , $BSC = \alpha = ASC$ — połowa kąta rozwarcia stożka wewnętrznego roz-

prysku ($\omega = 80^\circ$), x — donośność, to równanie tego przekroju będzie następujące¹⁾:

$$y = \pm \sqrt{tg^2 80^\circ (h \cdot \sin \omega + x \cdot \cos \omega)^2 \cdot (h \cdot \cos \omega - x \cdot \sin \omega)^2}.$$



Jeżeli $\omega > 80^\circ$, to krzywa odpowiadająca temu równaniu jest elipsą, jeżeli $\omega = 80^\circ$ — parabolą, jeżeli zaś $\omega < 80^\circ$ — hiperbolą.

Krzywa graniczna pola rażenia (patrz ryc. 170) znajduje się w odstępnie OB od pionu, łączącego punkt rozprysku z powierzchnią trażenia:

$$OB = h \cdot ctg (\alpha + \omega) - \text{wierzchołek krzywej.}$$

Im większy jest kąt $(\alpha + \omega)$, tym bliżej pionu położona jest krzywa graniczna pola rażenia i odwrotnie. Przy dużych kątach rozprysku krzywa ta przechodzi za pion.

Na przykład:

gdy $\alpha = 45^\circ$	$\omega = 10^\circ$	$h = 5 \text{ m}$	$OB = + 3,5 \text{ m,}$
$\alpha = 75^\circ$	$\omega = 30^\circ$	$= 25 \text{ m}$	$= - 6,7 \text{ m,}$
$\alpha = 97,5^\circ$	$\omega = 30^\circ$	$= 45 \text{ m}$	$= - 34,6 \text{ m.}$

Natomiast, jeżeli pocisk wybucha przy uderzeniu o powierzchnię ziemi, kiedy $h = 0$, równanie przybiera postać:

$$y = \pm x \sqrt{tg^2 80^\circ \cdot \cos^2 \omega - \sin^2 \omega}.$$

Jest to równanie dwóch linii prostych, przecinających się w punkcie upadku, które z osią x tworzą kąt =

$$= + \arctg \sqrt{tg^2 80^\circ \cdot \cos^2 \omega - \sin^2 \omega},$$

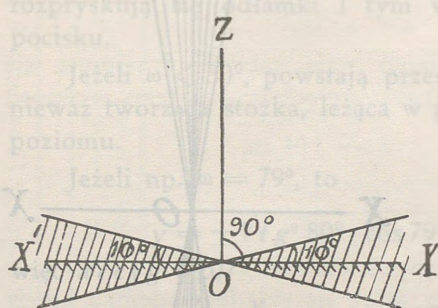
zaś z osią y kąt $= \text{arcct} \sqrt{tg^2 80^\circ \cdot \cos^2 \omega - \sin^2 \omega}.$

Wielkość tego ograniczonego 90° kąta zależy od wielkości kąta upadku ω , który przy bombie lotniczej jest zależny od wysokości,

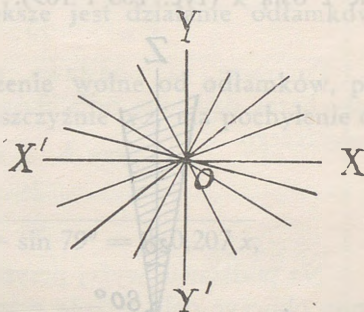
¹⁾ D. Rohne. Zeitschr. für ges. Schiess- u. Sprengstoffwesen. 1925.

z jakiej została rzucona i od szybkości poziomej samolotu. Największa wartość ω jest 90° przy szybkości płatowca $= 0$ lub przy wysokości rzucania $= \infty$, najmniejsza wartość $\omega = 0$ przy szybkości płatowca $= \infty$ i przy nieskończonej małej wysokości bombardowania.

Dla łatwiejszego zrozumienia zjawiska przedstawione są (ryc. 164 i 165) dwa stożki, przez które przesuwają się odłamki w rzucie



Ryc. 164.



Ryc. 165.

pionowym w płaszczyźnie xz i w płaszczyźnie xy . Odłamki poruszają się w przestrzeni zakreskowanej. Niezakreskowane przestrzenie są wolne od odłamków. Jeżeli $\omega = 90^\circ$, to x będzie pozorne, to znaczy nie będzie żadnej linii ograniczającej przestrzeń pokrytą odłamkami.

Odłamki rozpryskują się równomiernie we wszystkich kierunkach od punktu wybuchu.

Z wykresu widać, że połowa odłamków trafia w grunt. Odłamki skierowane do góry poruszają się pod kątem od 0° do 10° do poziomu.

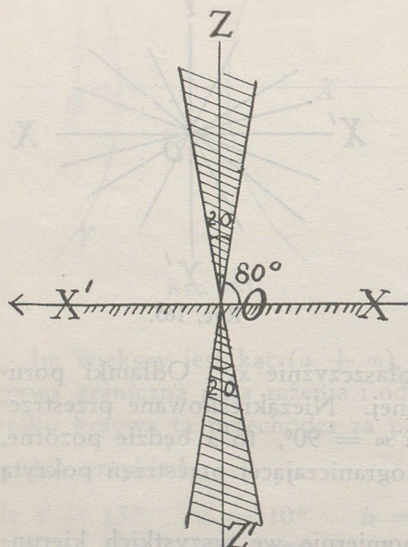
Ażeby złapać wszystkie odłamki, należałoby na obwodzie koła 50 m postawić tarczę o wysokości

$$50 \cdot \operatorname{tg} 10^\circ = 2,8 \text{ m.}$$

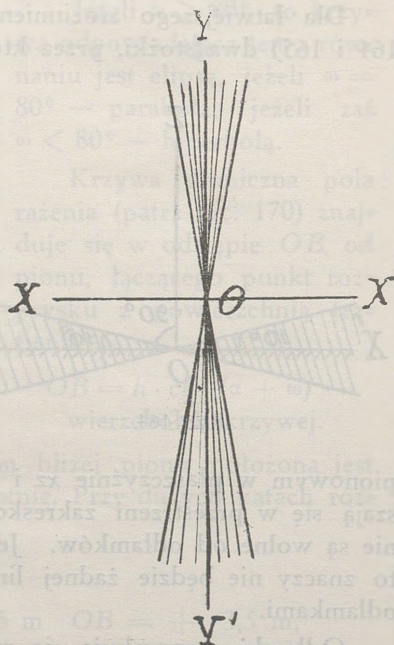
Najmniejsze działanie otrzymuje się wtedy, gdy $\omega = 0$. Wówczas $y = +x \cdot \operatorname{tg} 80^\circ$. Jest to równanie dwóch prostych, które tworzą z osią x kąt 80° i przecinają się wobec tego pod kątem 20° . Z rzutu pionowego (ryc. 166) wynika, że dobra połowa odłamków trafia w grunt, podczas gdy odłamki, lecące do góry, poruszają się pod kątem od 0° do 90° do poziomu.

Tarcza na obwodzie koła o promieniu 50 m na wysokości 1 m może być trafiona tylko na szerokości $= 2,50 \operatorname{arc} 20^\circ = 35 \text{ m.}$

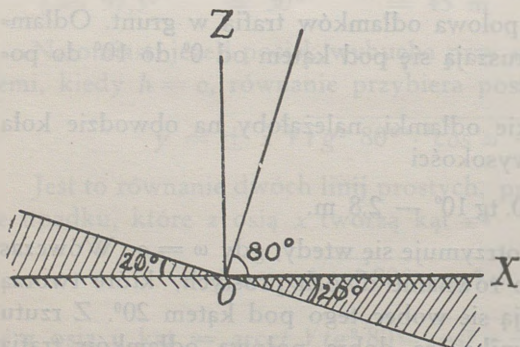
Ryc. 167 przedstawia rzut poziomy. Działanie jest zawarte w granicach odpowiadających wielkościom kąta ω . Szczególnie ciekawą rzeczą jest działanie, gdy $\omega = 80^\circ$, tj. gdy tworząca stożka, leżąca w płaszczyźnie xz , jest ułożona poziomo. Równanie wówczas $y = \pm O$, tj. proste, odpowiada-
jące obydwu równaniom, zlewają się z osią x (ryc. 168 i 169).



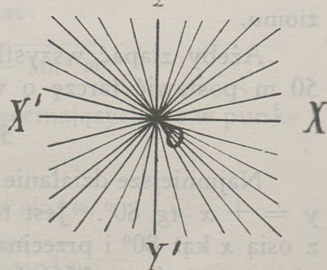
Ryc. 166.



Ryc. 167.



Ryc. 168.



Ryc. 169.

Odłamki rozpryskują się na wszystkie strony, lecz nierównomiernie. W kierunku ox rozpryskują się odłamki od 0° do 20° w dół, w kierunku zaś ox_1 — od 0° do 20° w górę.

Tarcza pionowa na obwodzie koła o promieniu 50 m przy doświadczeniach była trafiona w kierunku x tylko u podstawy. Poruszając od tego miejsca odłamki idą coraz wyżej i w x_1 osiągają wysokość do $50 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 18$ m.

Jeżeli kąt upadku $90^\circ > \omega > 80^\circ$, to odłamki rozpryskują się we wszystkich kierunkach i im bliżej ω do 90° , tym równomierniej rozpryskują się odłamki i tym większe jest działanie odłamkowe pocisku.

Jeżeli $\omega < 80^\circ$, powstają przestrzenie wolne od odłamków, ponieważ tworząca stożka, leżąca w płaszczyźnie xz , ma pochylenie do poziomu.

Jeżeli np. $\omega = 79^\circ$, to

$$y = \pm \sqrt{t g^2 80^\circ \cdot \cos 79^\circ - \sin 79^\circ} = \pm 0,207 x,$$

więc $\arctg 0,207$

$$\frac{y}{x} = \pm \operatorname{tg} 0,207 = \pm \operatorname{tg} 11^\circ 40',$$

tj. jeżeli obydwie proste, ograniczające przestrzeń pokrytą odłami, przecinają się z osią x pod kątem $11^\circ 40'$, tworząc ze sobą kąt $23^\circ 20'$ — to przestrzeń jest wolna od odłamków.

Im mniejsze ω , tym większa jest przestrzeń wolna od odłamków i tym mniejsze działanie pocisku.

a) Pole rażenia granatu.

Granicę pola rażenia określa się z równania podanego na str. 248.

Granicę odłamków skutecznych wyznacza koło o promieniu

$$r = \sqrt{x^2 - h^2}$$

(x — donośność skuteczna odłamków, h — wysokość rozprysku).

Donośnością skuteczną odłamków x nazywa się odległość od punktu rozprysku, na której odłamki mają dostateczną siłę żywą ~ 8 kgm. Zależy ona od szybkości początkowej, którą się przyjmuje*) równą $600 = 800$ m/sek dla większości odłamków. Odłamek 10-gramowy jest równoważny lotce 10-gramowej o średnicy 1,35 cm, której współczynnik balistyczny wynosi 0,0107 ($i = 5$). Jeżeli obliczyć donośność skuteczną takiej lotki według Siacci, to przy $v_0 = 600$ m/sek, $v_k = 125$ m/sek i sile żywej odłamku 8 kgm wypada $x = 109$ m, zaś przy $v_0 = 800$ wielkość $x = 114$ m.

*) Rohne. Art. Monatsheft. 1924.

Rażenie skuteczne może być osiągnięte odłamkami o różnym ciężarze w zależności od szybkości końcowej v_k , na przykład, niezbędną energię uderzenia $e_u = 8$ kgm posiadają:

odłamki	2,5 g przy v_k	252 m/sek.
"	5 " "	177 "
"	10 " "	125 "
"	15 " "	102 "

Ponieważ za podstawę obliczeń pola rażenia przyjmuje się dotychczas działanie odłamków 10-gramowych wobec tego ze wzoru powyższego

przy h	5 m	$r = 114$ m
" "	25 "	" = 111 "
" "	45 "	" = 105 "

Na podstawie wyżej przytoczonych wzorów (str. 248 i 251) możemy obliczyć pole rażenia granatu, które się składa z odcinka hiperboli i odcinka koła, ograniczonego krzywą (ryc. 170 — 172).

Pole odcinka hiperboli oblicza się jako sumę trapezów, na które się ono da podzielić. Odcinek koła $= \frac{1}{2} r^2 (\arccos \beta - \sin \beta)$. β jest kąt centralny $= 2 \arctg y/x$.

Wartości y i x są podane w tabeli na str. 253.

Rohne podaje następujące wielkości pola rażenia granatu przyjmując całkowicie wypełniony odłamkami stożek rozprysku:

α	ω	$h^1)$ m	Pole rażenia w m^2
45°	10°	5	6800 + 3600 = 10400
	10°	25	6200 + 3800 = 10000
	30°	25	6900 + 3400 = 10300
75°	10°	5	2500 + 14600 = 17100
	10°	25	3500 + 13900 = 17400
	30°	25	3300 + 15000 = 18300
97,5°	10°	5	40800 — (1600 + 1800) = 21200
	10°	45	40800 — (1200 + 14900) = 24700
	30°	45	40800 — (1100 + 16400) = 23300

¹⁾ h — wysokość rozprysku.

Tabela krzywowych granicznych rozprysku odłamków stożków pełnych (podaje $\pm y$ w metrach *).

X m	$\alpha = 45^{\circ}$				$\alpha = 75^{\circ}$				$\alpha = 97,5^{\circ}, x < 0$			
	$\omega = 10^{\circ}$ $h = 5 m$	$\omega = 10^{\circ}$ $h = 25 m$	$\omega = 30^{\circ}$ $h = 25 m$		$\omega = 10^{\circ}$ $h = 5 m$	$\omega = 10^{\circ}$ $h = 25 m$	$\omega = 30^{\circ}$ $h = 25 m$		$\omega = 10^{\circ}$ $h = 5 m$	$\omega = 10^{\circ}$ $h = 45 m$	$\omega = 30^{\circ}$ $h = 45 m$	
0												
1												
2												
3												
4												
5												
10												
15												
20												
25												
30												
35												
40												
45												
50												
60												
70												
80												
90												
100												
1												
2												
3												
4												
5												
6												
6,7												

*) Art. Mon. 1924. Str. 124.

Chcąc otrzymać rzeczywisty obraz pola rażenia należy na wykresy pól rażenia granatów o kącie rozwarcia stożka rozprysku = 150° bądź też 195° wrysować hiperbolę odpowiadającą kątowi 90° . Poszukiwane pole znajdzie się pomiędzy obu hiperbolami. W ten sposób pola rażenia mają następujące wymiary:

Rodzaj granatu	α	ω	h m	Pole rażenia w m^2
Granaty arm. pol.	75	10°	5	17100 — 10400 = 6700
		10°	25	17400 — 10000 = 7400
		30°	25	18300 — 10300 = 8000
Granaty lk. hb. pol.	97,5	10°	5	21200 — 10400 = 10800
		10°	45	24700 — 10000 = 14700
		30°	45	23300 — 10300 = 13000

Na ryc. 170 — 172 podano wykresy pól rażenia granatów armaty polowej i lekkiej haubicy polowej.

b) Gęstość rażenia granatu.

Gęstość rażenia określamy ilością trafień na $1 m^2$ celu poziomego lub pionowego. Wobec tego chcąc określić gęstość rażenia należy obliczyć pole rażenia i ilość odłamków skutecznych. Przyjmuje się, że 1 kg skorupy daje 100 odłamków skutecznych. Wobec tego granat armaty polowej powinien dać około 600 odłamków, zaś granat haubicy 105 mm — 1200 odłamków.

Odłamki rozkładają się na powierzchni pasa kulistego

$$M = 2\pi r^2 (\cos 45^\circ - \cos \alpha).$$

Zatem dla armaty polowej $M = 2,81 r^2$, dla haubicy polowej

$$M = 4,27 r^2.$$

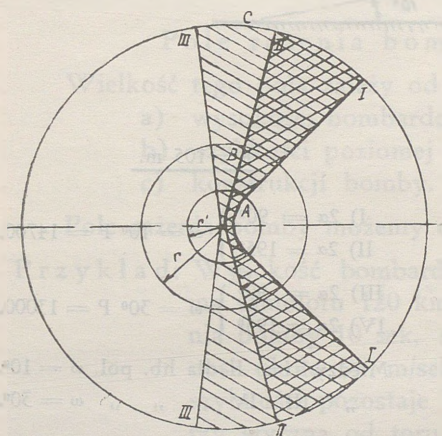
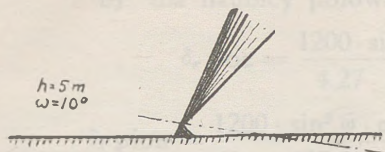
Mając określoną ilość odłamków N łatwo obliczyć gęstość rażenia δ_r dla pola M :

$$\delta_r = \frac{N}{M}$$

Przy kącie padania ω gęstość rażenia:

a) dla płaszczyzny poziomej

$$\delta_r = \frac{N \cdot \sin \omega}{M}$$



Ryc. 170.

$R = 114 \text{ m.}$

Pole rażenia

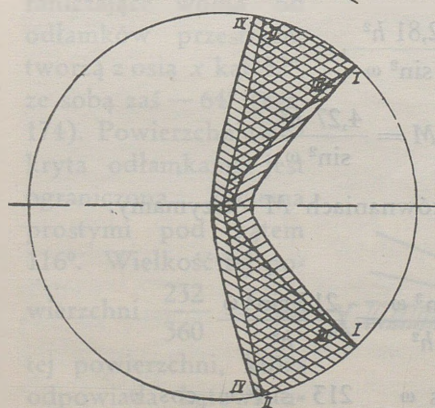
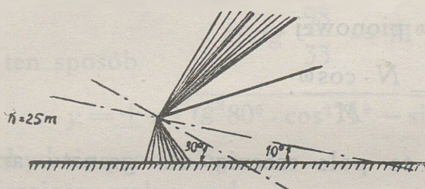
I — $2\alpha = 90^\circ$ $P = 10400 \text{ m}^2$

II — $2\alpha = 150^\circ$ $= 17100 \text{ „}$

III — $2\alpha = 195^\circ$ $= 21200 \text{ „}$

Między I a II rozsiew arm. pol.

„ I a III „ hb. pol.



Ryc. 171.

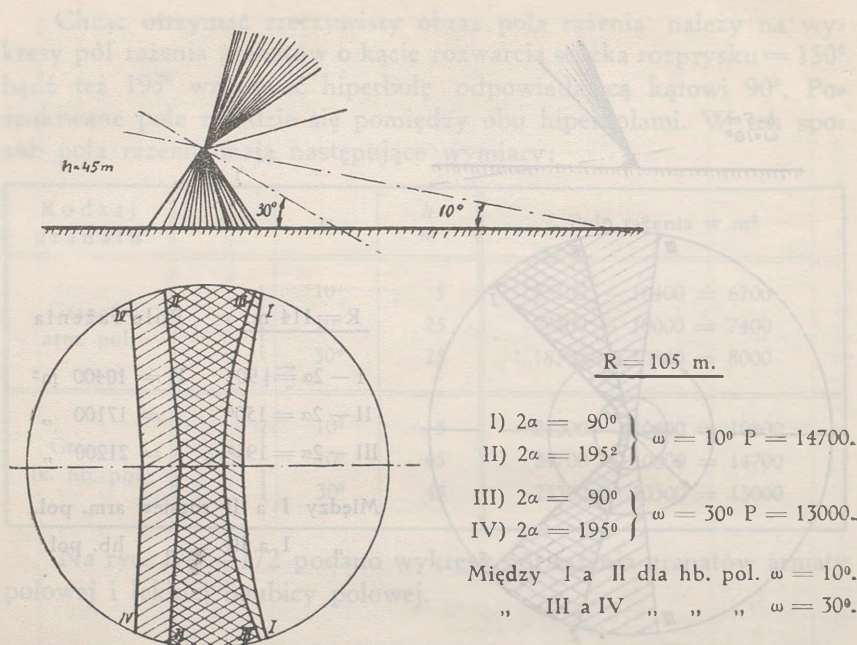
$R = 111 \text{ m.}$

$\omega = 10^\circ \left\{ \begin{array}{l} \text{I) } 2\alpha = 90^\circ P = 10000. \\ \text{II) } 2\alpha = 150^\circ P = 17400. \end{array} \right.$

$\omega = 30^\circ \left\{ \begin{array}{l} \text{III) } 2\alpha = 90^\circ P = 10300. \\ \text{IV) } 2\alpha = 150^\circ P = 18300. \end{array} \right.$

Między I a II dla arm. $\omega = 10^\circ$.

„ III a IV „ „ $\omega = 30^\circ$.



Ryc. 172.

b) dla płaszczyzny pionowej

$$\delta_r = \frac{N \cdot \cos \omega}{M}.$$

Ponieważ $r = h / \sin \omega$, to pole rażenia dla granatu armaty polowej

$$M = \frac{2,81 h^2}{\sin^2 \omega},$$

zaś dla granatu haubicy polowej $M = \frac{4,27 h^2}{\sin^2 \omega}.$

Podstawiając w powyższych równaniach M otrzymamy:

a) dla armaty polowej

$$\delta_r \text{ poz} = \frac{600 \cdot \sin^3 \omega}{2,81 \cdot h^2} = \frac{213 \sin^3 \omega}{h^2}$$

$$\delta_r \text{ pion} = \frac{600 \cdot \sin^2 \omega \cdot \cos \omega}{h^2} = \frac{213 \cdot \sin^2 \omega \cdot \cos \omega}{h^2},$$

b) dla haubicy polowej

$$\delta_r \text{ poz} = \frac{1200 \cdot \sin^3 \omega}{4,27 \cdot h^2} = \frac{288 \cdot \sin^3 \omega}{h^2}$$

$$\delta_r \text{ pion} = \frac{1200 \cdot \sin^2 \omega \cdot \cos \omega}{427 h^2} = \frac{228 \sin^2 \omega \cdot \cos \omega}{h^2}$$

Pole rażenia bomby odłamkowej.

Wielkość tego pola zależy od czynników następujących:

- wysokości bombardowania,
- szybkości poziomej samolotu,
- konstrukcji bomby.

Pole rażenia bomby możemy obliczyć w sposób następujący.

Przykład: Wysokość bombardowania 500 m. Szybkość pozioma samolotu 120 km/godz = 33 m sek. Czas spadania bomby 10 sek, składowa pionowa szybkości wynosi około 98 m/sek. Ponieważ składowa pozioma szybkości pozostaje bez zmiany, więc kąt, który tworzy styczna od toru z poziomem, w chwili uderzenia bomby, jeżeli nie uwzględniać wpływu oporu powietrza, wynosi

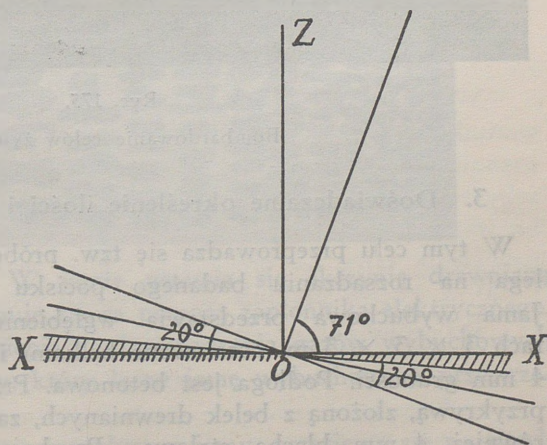
$$\arctg \frac{98}{33} = 71^\circ. \text{ (Ryc. 173).}$$

W ten sposób

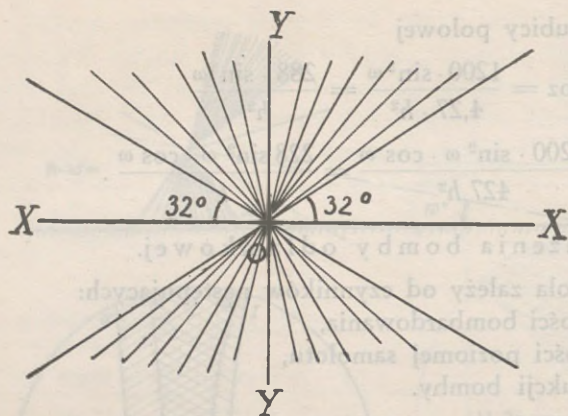
$$y = \pm x \sqrt{\tg^2 80^\circ \cdot \cos^2 71^\circ - \sin^2 71^\circ} = \cos \pm 1,59 x,$$

tj. obydwie proste, ograniczające wolną od odłamków przestrzeń, tworzą z osią x kąt 32° , ze sobą zaś — 64° (ryc. 174). Powierzchnia pokryta odłamkami jest ograniczona dwiema prostymi pod kątem 116° . Wielkość tej powierzchni $\frac{232}{360} = 64\%$

tej powierzchni, która odpowiada kątowi upadku 80° lub więcej.



Ryc. 173.



Ryc. 174.

Jeżeli rzucenie bomby nastąpiło z 1000 m i samolot posiadał szybkość 90 km/godz = 25 m/sek, to kąt upadku $\omega = \arctg \frac{140}{25} = 80^\circ$.

Skuteczność bomb odłamkowych jest proporcjonalna do wysokości rzucania oraz odwrotnie proporcjonalnie do szybkości samolotu w chwili bombardowania.

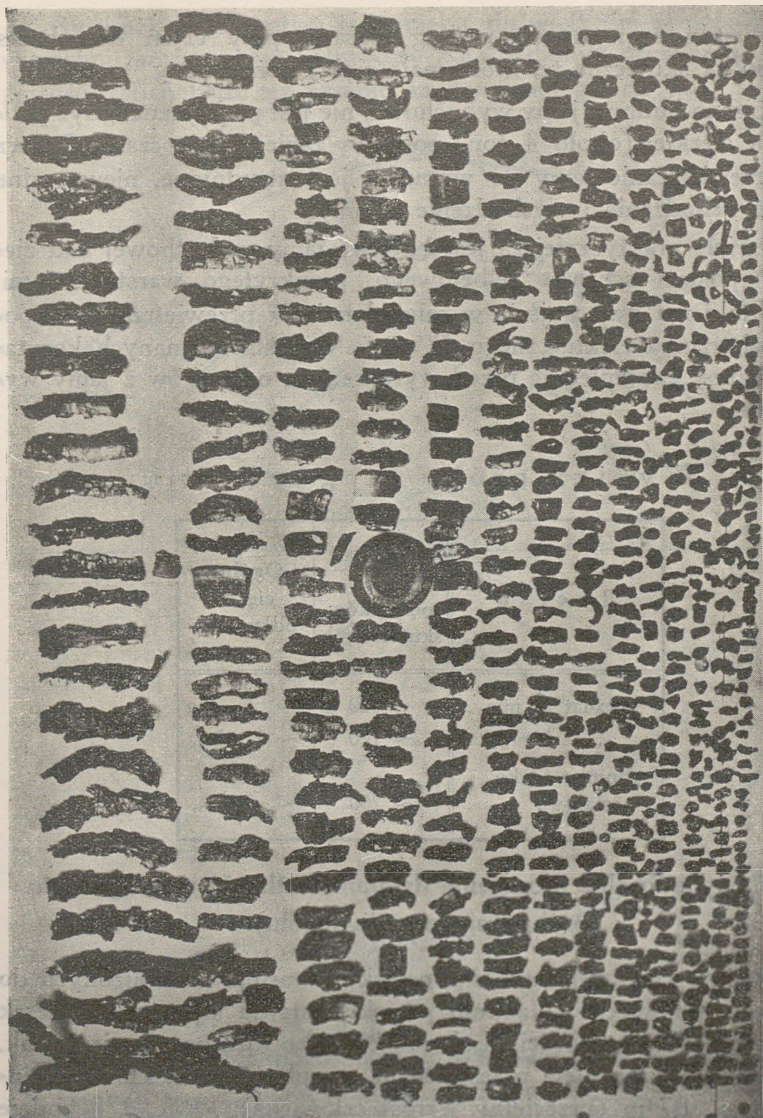


Ryc. 175.

Bombardowanie celów żywych.

3. Doświadczalne określenie ilości i ciężaru odłamków.

W tym celu przeprowadza się tzw. próbę fragmentacji, która polega na rozsadzaniu badanego pocisku w jamie wybuchowej. Jama wybuchowa przedstawia wgłębienie w ziemi o wymiarach $3 \times 3 \times 3$ m, oszalowane belkami i pokryte blachą stalową 4 mm grubości. Podłoga jest betonowa. Przykrywa się jamę ciężką przykrywą, złożoną z belek drewnianych, zabezpieczonych od spodu również 4 mm blachą stalową. Przykrywa jest podnoszona za



Ryc. 176.

Odlamki 12,5 kg bomby odlamkowej po fragmentacji.

pomocą wielokrążków. W jamie ustawia się skrzynię drewnianą skrzynki próżnej i detonuje się za pomocą zapłonika elektrycznego. Celem zmniejszenia ciśnienia i odprowadzenia gazów wybuchowych buduje się kanał boczny, który łączy jamę wybuchową z przestrzenią otwartą.

Po wybuchu podnosi się pokrywę jamy, przesiewa się na sitach piasek i zbiera się wszystkie odlamki.

Odlamki segreguje się podług ciężaru, przy czym dotychczas uważano za skuteczne te, które mają ciężar ponad 10 g^{*)}.

Opisana budowa jamy wybuchowej nie jest praktyczna, gdyż podnoszenie ciężkiej (około 4 ton) pokrywy zabiera dużo czasu. Oprócz tego przewietrzanie jamy po wybuchu jest utrudnione, niewygodne też jest wchodzenie i wychodzenie z jamy.

O wiele praktyczniejsza jest budowa jamy wybuchowej nad ziemią w postaci schronu żelbetowego, przykrytego warstwą ziemi. Schron taki ma dwa wejścia w celu ułatwienia przewietrzania za pomocą wietrznika elektrycznego. Wejścia w postaci łamanych korytarzy powinny zabezpieczać przed wyrzuceniem odlamków z jamy wybuchowej.

W y n i k i p r ó b y f r a g m e n t a c j i :

P o c i s k	Ogólna ilość odłamków skutecznych	Ogólny ciężar odłamków
Granat 75 mm .	~ 120	~ 5 kg
„ 10 „ .	~ 170	~ 11,65 „
Bomba 12 kg stalowa . . .	~ 200	~ 8,35 „

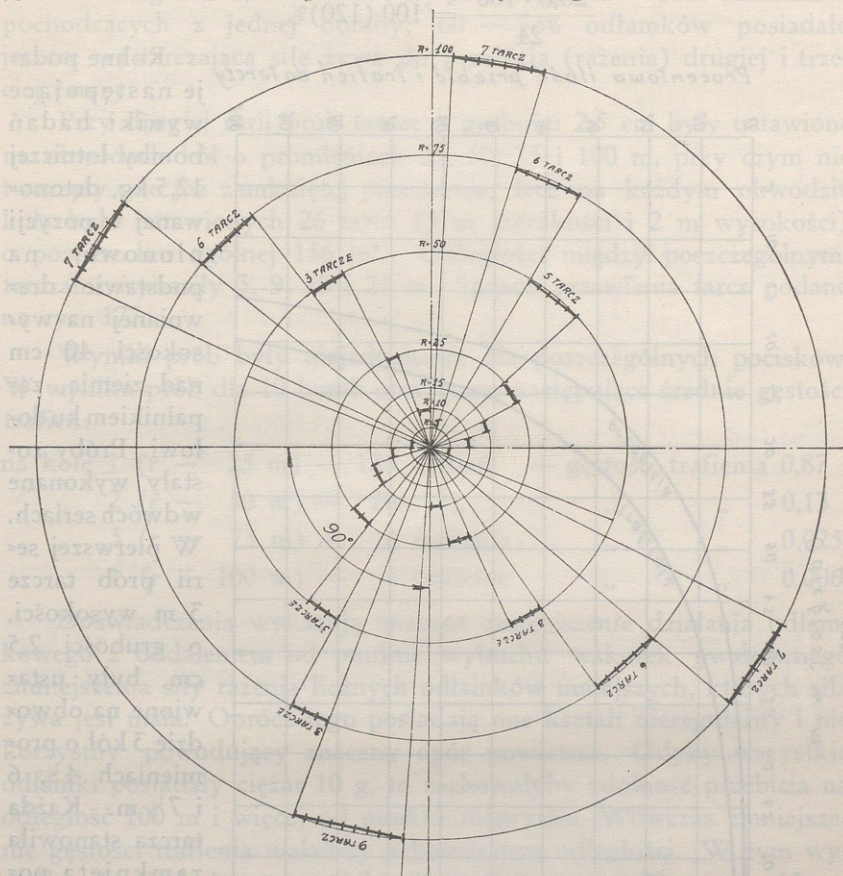
4. Doświadczalne określenie działania odlamkowego granatu (próba fragmentacji w polu).

W tym celu detonuje się pocisk w warunkach zbliżonych do warunków bojowych. Naokoło pocisku ustawia się tarcze z desek sosnowych 2,5 cm grubości na obwodach kół o różnym promieniu tak, żeby tworzyły zamkniętą przestrzeń na wysokość tarcz, która powinna wynosić 1,7 m (przeciętny wzrost człowieka). Ryc. 177 podaje ustawienie tarcz na obwodach kół o promieniach 5, 10, 15, 25, 75 i 100 m. Pocisk znajduje się w środku geometrycznym kół.

Do próby należy użyć co najmniej 10 pocisków.

^{*)} Próba ta z powodu niezachowania warunków rzeczywistych rozprysku pocisku może być stosowana jedynie jako próba porównawcza dla pocisków tego samego typu.

Stosunek ilości trafień lub przebić do wielkości prostopadłej powierzchni tarcz w m² na obwodzie koła o danym promieniu stanowi gęstość trafień bądź też przebić na danej odległości.



Ryc. 177.

Gęstość przebić można nazwać gęstością rażenia.

Np. ilość przebić 286. Na jeden pocisk przypada $\frac{286}{10} = 28,6$.

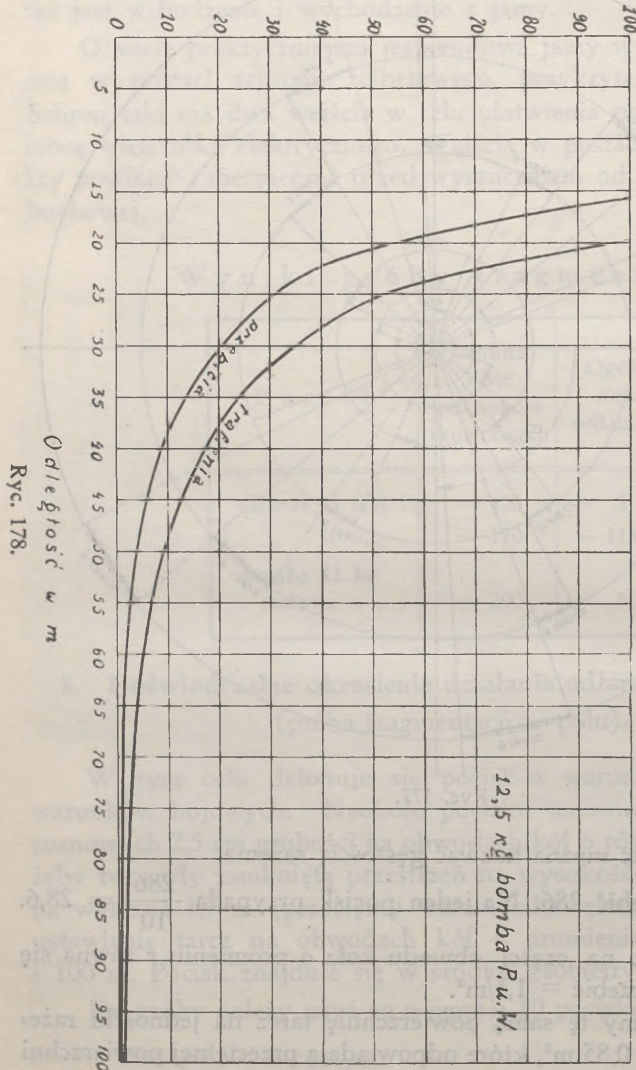
Powierzchnia tarcz na części obwodu koła o promieniu r równa się 20,4 m². Gęstość przebić = 1,4/m².

Jeżeli podzielimy tę samą powierzchnię tarcz na jednostki rażenia = $1,7 \times 0,5 = 0,85$ m², które odpowiadają przeciętnej powierzchni ludzkiego ciała, to dzieląc ilość odłamków na ilość jednostek rażenia, otrzymamy prawdopodobieństwo przebicia czy trafienia.

Powierzchnia tarcz 20,4 m² zawiera 24 jednostki rażenia. Wobec tego prawdopodobieństwo przebicia w procentach wyniesie

$$\frac{28,6 \cdot 100}{24} = 100 (120)\%.$$

Procentowa ilość przebić i trafień do tarczy



Odległość w m

Ryc. 178.

12,5 kg bomba P.u.W.

Rohne podaje następujące wyniki badań bomby lotniczej 12,5 kg, detonowanej w pozycji pionowej na podstawie drewnianej na wysokości 40 cm nad ziemią, za palnikiem kudołowi. Próby zostały wykonane w dwóch seriach. W pierwszej serii prób tarcze 3 m wysokości, o grubości 2,5 cm, były ustawione na obwodzie 3 kół o promieniach 4½, 6 i 7½ m. Każda tarcza stanowiła zamkniętą powierzchnię. Prostopadłe powierzchnie trafienia wynosiły 85, 113 i 140 m². Rozrzut odłamków był prawie równomierny na powierzchni naj-

wiejszego walca aż do wysokości ~ 1,2 m, z czego należałoby wnioskować, że odłamki były rzucone pod kątem ~ 10° do powierzchni

terenu i że wszystkie odłamki, które trafiły w dalsze tarcze, musiały przebić przed tym tarcze bliższe.

W odległości 4,5 m tarcze były przebite przez ~ 1400 odłamków, pochodzących z jednej bomby; 60 — 75% odłamków posiadało jeszcze wystarczającą siłę żywą do przebicia (rażenia) drugiej i trzeciej tarczy.

Przy drugiej serii prób tarcze o grubości 2,5 cm były ustawione na obwodach kół o promieniach 25, 50, 75 i 100 m, przy czym nie tworzyły one już zamkniętej przestrzeni, lecz na każdym obwodzie koła było ustawionych 26 tarcz (3 m szerokości i 2 m wysokości) o powierzchni ogólnej 156 m². Odległości między poszczególnymi tarczami wynosiły 3, 9, 15 i 21 m. Sposób ustawienia tarcz podano na ryc. 177.

Wyniki prób były niejednakowe dla poszczególnych pocisków. W wyniku prób dla 10 bomb otrzymano następujące średnie gęstości trafień:

na kole 1 (r — 25 m) —	136 trafień	— gęstość trafienia	0,87
„ 2 (r — 50 m) —	20 „	„ „	0,13
„ 3 (r — 75 m) —	4 trafienia	„ „	0,025
„ 1 (r — 100 m) —	1 trafienie	„ „	0,006.

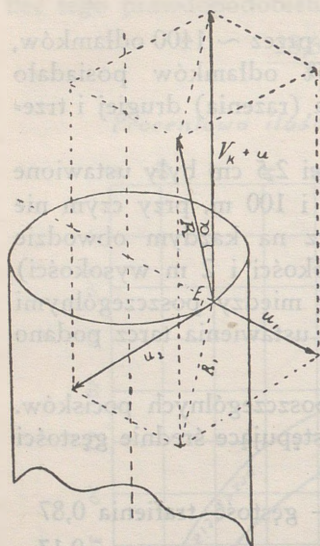
Doświadczenia wykazują znaczne zmniejszenie działania odłamkowego z oddaleniem od punktu wybuchu wskutek gwałtownego zmniejszenia siły rażenia licznych odłamków mniejszych, których siła żywa jest mała. Oprócz tego posiadają one kształt nieregularny i nie korzystny powodujący znaczny opór powietrza. Gdyby wszystkie odłamki posiadały ciężar 10 g, to zachowałyby zdolność przebicia na odległość 100 m i więcej od punktu rozprysku. Wówczas zmniejszenie gęstości trafienia malałoby z kwadratem odległości. W tym wypadku drugie koło otrzymałoby 34 trafień zamiast 20, trzecie 15 zamiast 4 i czwarte 8 zamiast 1.

W rzeczywistości bomba, detonująca na powierzchni terenu, daje mniejszą ilość odłamków skutecznych, a przez to i mniejszą gęstość trafienia, na którą poza innymi duży wpływ posiada położenie bomby w chwili rozprysku.

5. Działanie rozpryskowe szrapnela.

Szrapnel w chwili wybuchu na torze tworzy stożek rozprysku, składający się z torów poszczególnych lotek, wyrzuconych ze skorupy.

Szybkość lotek jest wypadkową 4 szybkości:



Ryc. 179.

v_k — szybkości końcowej pocisku,

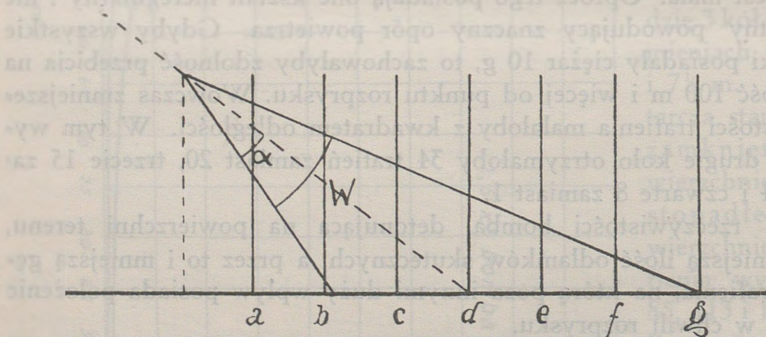
u — szybkości osiowej, którą nadaje lotkom wybuch ładunku, mającej kierunek zgodny ze styczną do toru pocisku,

u_1 — szybkości bocznej (gazy prochowe wytwarzają między lotkami ciśnienie, powodujące odchylenia boczne), zależnej od wybuchu ładunku, lecz mającej kierunek prostopadły do osi pocisku,

oraz u_2 — szybkości kątowej, wskutek działania siły odśrodkowej, mającej kierunek rozbieżny, prostopadły do osi pocisku.

Wypadkowa stanowi geometryczną sumę szybkości składowych (ryc. 179).

Lotki, wyrzucone ze skorupy, ulegając działaniu różnych sił, których kierunek nie jest jednakowy, biegają torami odmiennymi tworząc stożkową przestrzeń rozprysku (ryc. 180).



Ryc. 180.

Miarą rozpryskowego działania szrapnela jest kąt rozwarcia stożka, który oś dzieli na dwie równe części (do 2 km odległości). O znaczeniu tego kąta mówiliśmy wyżej (patrz str. 246).

v_k — określa się doświadczalnie lub odczytuje się w tabelach,

u — szybkość dodatkowa mająca kierunek szybkości początkowej. Przy szrapnelach o ładunku przednim szybkość ta ma wartość ujemną. Pétry oblicza ją dla 75 mm szrapneli francuskich na $u = -25$ m/sec. Przy ładunku środkowym $u = 0$. Przy ładunku dennym szybkość $u = 20$ do 80 m/sec. Według W. Heydenreicha $u = 50$ m/sec (jeśli ciężar ładunku prochu czarnego wynosi $\frac{1}{40}$ całkowitego ciężaru lotek) i $u = 80$ m/sec (jeśli ten sam stosunek $= \frac{1}{25}$). J. de la Llave podaje następujący wzór do obliczenia szybkości dodatkowej:

$$u = \frac{620 \cdot L^{0,6}}{P_2^{0,4}}$$

gdzie L — ciężar ładunku prochu w kg,

G_2 — „ całkowity lotek.

u_1 — dla szrapnela 75 mm wz. 97 wynosi 40 m/sec.

Pétry określił dla szrapnela belgijskiego o ładunku tylnym $u_1 = 15$ m/sec. J. de la Llave podaje następujący wzór dla określenia u_1 dla szrapneli o ładunku tylnym:

$$u_1 = \frac{3000 \cdot L^{0,6} \cdot G_2}{G \cdot G_1^{0,4}},$$

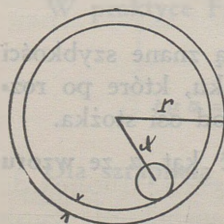
gdzie L — ciężar prochu w kg,

G — „ szrapnela w kg,

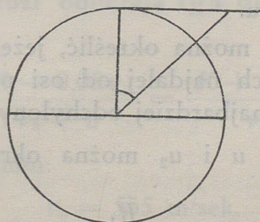
G_1 — „ poszczególnych lotek w kg,

G_2 — „ ogólny lotek w kg.

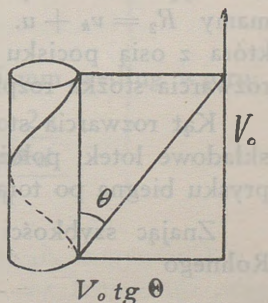
Szybkość kątowna lotek u_2 powstaje wskutek obrotu pocisku dokoła swej osi. Lotki przed wybuchem szrapnela zataczają koło dookoła osi pocisku. Szybkość kątowna lotek równa się iloczynowi szybkości obrotowej pocisku przez odległość środka ciężkości lotki od osi pocisku (ryc. 181). Po wybuchu szrapnela lotki, lecąc swobodnie, biegną wzdłuż stycznej do zataczanego łuku (ryc. 182).



Ryc. 181.



Ryc. 182.



Ryc. 183.

W chwili wylotu z lufy szybkość obwodowa jakiegokolwiek bądź punktu, znajdującego się na ścianie bocznej pocisku $u_2 = v \cdot \operatorname{tg} \Theta$ (Θ — kąt gwintu przy wylocie lufy) ryc. 183. W armacie 75 mm wz. 97 $u_2 = 535 \cdot \operatorname{tg} 7^\circ = 65$ m/sek.

Szybkość kątowna u_2 poszczególnej lotki, znajdującej się przy ścianie skorupy na odległości x od osi pocisku, równa się iloczynowi z ilości obrotów pocisku w 1 sek. i wielkości koła, które zatacza lotka przy obrocie pocisku

$$u_2 = \frac{v^0}{\frac{\pi d}{\operatorname{tg} \Theta}} \cdot 2 \pi x = v_0 \cdot \operatorname{tg} \Theta \frac{2x}{d}.$$

Dla armat 75 mm wz. 97 $\operatorname{tg} \Theta \frac{2x}{d} = 0,08$.

A. Nobel obliczał szybkość obwodową u_2 według wzoru

$$u_2 = (v_0 + v) \cdot 0,555 \cdot \operatorname{tg} \Theta.$$

Pétry natomiast podaje wzór:

$$u_2 = \lambda \cdot v_0 \cdot \operatorname{tg} \Theta,$$

gdzie λ dla szrapnela belgijskich armat oblężniczych równa się 0,75.

W. Heydenreich podaje inny wzór:

$$u_2 = (0,67 \text{ do } 0,80) \cdot v_0 \cdot \operatorname{tg} \Theta.$$

Składając określone szybkości v_k , u , u_1 i u_2 otrzymamy wypadkową R , która tworzy z osią $1/2$ kąta rozwarcia stożka $= \alpha$.

Szybkości u_1 i u_2 są prostopadłe do osi pocisku (patrz ryc. 179). Ich wypadkowa $R_1 = \sqrt{u_1^2 + u_2^2}$. Składając szybkości v_k i u otrzymamy $R_2 = v_k + u$. Wypadkowa R_1 i R_2 dają wypadkową R , która z osią pocisku tworzy właśnie kąt α , równy połowie kąta rozwarcia stożka rozprysku.

Kąt rozwarcia stożka można określić, jeżeli są znane szybkości składowe lotek, położonych najdalej od osi pocisku, które po rozprysku biegną po torach najbardziej odchylonych od osi stożka.

Znając szybkości v_k , u i u_2 można określić kąt α ze wzoru Rohnego

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R_1}{v_k + u}.$$

Nieznaną składową szybkości R_1 i u określi się, jeżeli się zmierzy dwie odległości rozprysku, a zarazem dwie v_k według kąta rozwarcia stożka rozprysku.

Otrzymuje się dwa równania z dwiema niewiadomymi. Np. na odległości 1000 m przy $v_k = 421$ m/sek. określono $\alpha = 7^\circ 38'$; na odległości zaś 4000 m przy $v_k = 274$ m/sek. $\alpha = 10^\circ 54'$.

Wobec tego

$$\operatorname{tg} (7^\circ 38') = \frac{R_1}{421 + u}; \quad \operatorname{tg} (10^\circ 54') = \frac{R_1}{274 + u};$$

Skąd $R_1 = 66$ m/sek., $u = 72$ m/sek.

Natomiast

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{66}{v_k + 72}.$$

Określone w ten sposób R_1 i u można przyjąć jako stałe dla danego działu i pocisku.

Stosunek

$$\frac{\sqrt{u_1^2 + u_2^2}}{v_k + u} = \operatorname{tg} \alpha \text{ (patrz ryc. 179).}$$

Przy szrapnelach o ładunku przednim

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{u_1^2 + u_2^2}}{v_k - u}.$$

Przy szrapnelach o ładunku środkowym ($u = 0$)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{u_1^2 + u_2^2}}{v_k}.$$

Przy szrapnelach o ładunku tylnym

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{u_1^2 + u_2^2}}{v_k + u}.$$

W praktyce Francuzi obliczają $\operatorname{tg} \alpha$ dla 75 mm według wzoru:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{29 + 0,08 v_0}{v_k + u} = \frac{K + v_0 \operatorname{tg} \Theta d}{v_k + u}.$$

Dla szrapnela 75 mm:

$v_0 = 535$ m/sek.

$u = 100$ „

Na odległości 5000 m $v_k \cong 250$ m/sek.

$$tg \alpha = \frac{29 + 0,08 \cdot 535}{250 + 100} = 0,206$$

$$\alpha = 11^{\circ}40'.$$

Kąt rozwarcia stożka rozprysku w , względnie jego połowę $\frac{w}{2} = \alpha$ oblicza się również według wzoru następującego:

$$tg \alpha = \frac{\sqrt{v_0^2 \frac{4x^2}{d^2} tg^2 \Theta + u^2}}{v_k + u},$$

przy czym x — odległość środka lotki od osi pocisku,

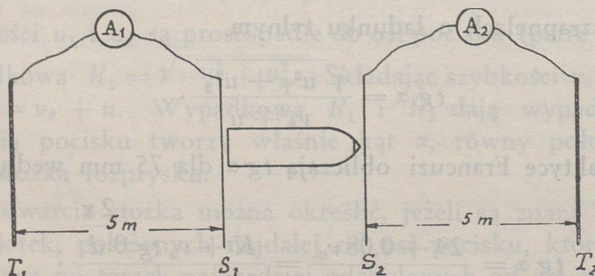
v^0 — szybkość początkowa lotek w chwili rozprysku.

Z powyższych wzorów wynika, że kąt rozwarcia stożka rozprysku, a przeto głębokość działania lotek jest proporcjonalna do $\sqrt{u^2 + v^2}$ i odwrotnie proporcjonalna do v_k i u .

Celem powiększenia głębokości działania rozpryskowego szrapnela należy: zmniejszać kąt α lub kąt pochylenia gwintów Θ , umieszczać ładunek prochowy w części tylnej pocisku, połączenie głowicy ze skorupą musi być jak najsłabsze, lotki powinny być ściśle ułożone, skorupa zaś nie powinna rozrywać się podczas wybuchu ładunku szrapnelowego.

a) Doświadczalne określenie szybkości u .

Szrapnel zawieszają się poziomo między dwiema parami tarcz, połączonych z chronografami A_1 i A_2 (ryc. 184). Następnie ładunek szrapnela zapala się za pomocą zapłonika elektrycznego.



Ryc. 184.

Chronograf A_1 określa szybkość skorupy szrapnela, rzuconej do tyłu, chronograf zaś A_2 — szybkość głowicy z zapalnikiem, rzuconych naprzód.

Szybkość lotek $u = v_2$ określa się ze wzoru

$$p v = p_1 v_1 + p_2 v_2,$$

gdzie p — ciężar skorupy,

v — szybkość skorupy,

p_1 — ciężar głowicy szrapnela wraz zapalnikiem,

v_1 — szybkość tegoż zespołu,

p_2 — ciężar zespołu: lotek, krążka wyrzutowego i rurki ogniowej,

v_2 — szybkość żądana u , określana z równania.

Średnia szybkość u dla 75 mm szrapnela francuskiego = 100 m/sek.

Poszczególne lotki na ogół posiadają szybkość niejednakową, od 0 do 200 — 250 m/sek. Im bliżej osi pocisku leżą lotki, tym mniejszą mają szybkość u .

Szybkość u można w przybliżeniu obliczyć, jeżeli spowodujemy wybuch szrapnela przed tarczą z desek sosnowych 4 cm grubości z odległości 25 m, ze wzoru na wnikanie pocisku

$$l = \frac{\alpha \cdot G \cdot v}{d^2}.$$

b) Doświadczalne określenie szybkości kątovej u_2 .

Szrapnel zawiesza się przed dwiema płóciennymi tarczami (ryc. 185).

Po wybuchu, spowodowanym za pomocą zapłonnika elektrycznego, mierzy się średnice kół rozprysku a b i c d. Stąd otrzymamy wartość kąta α :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{u_2}{u}.$$

Wobec tego

$$u_2 = u \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Dla szrapnela 75 mm francuskiego $u_2 = 44$ m/sek.

Warunki próby jednak nie są zgodne z warunkami podczas wybuchu szrapnela na torze. Dla dokładnego określenia wielkości rozwarcia stożka rozprysku Francuzi, jak podaliśmy wyżej, używają wzoru:

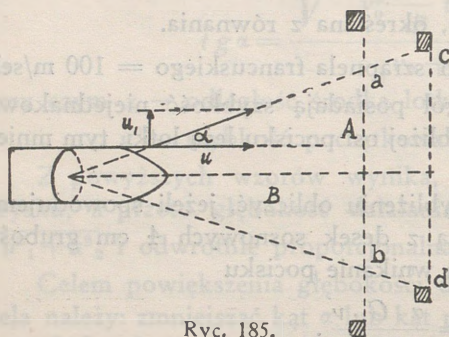
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{K + v_0 \operatorname{tg} \theta \frac{d}{2x}}{v_k + u},$$

gdzie K — współczynnik, określany doświadczalnie, zależny jest od ciężaru lotek. Dla szrapnela 75 mm o lotkach 12 gr $K = 29$, o lotkach wolframowych 6 gr $K = 23$.

c) Doświadczalne określenie kąta rozwarcia stożka rozprysku.

W odległości 25 — 30 m przed działem ustawia się tarczę A z drzewa (ryc. 185). Za tą tarczą w odstępach 10 metrów stawia się jedną lub dwie tarcze płóciennne.

Wystrzelony szrapnel przy uderzeniu o tarczę drewnianą wybucha i wyrzuca lotki w kierunku tarcz płóciennych. Wierzchołek stożka rozprysku znajduje się w miejscu przebiecia tarczy drewnianej.



Ryc. 185.

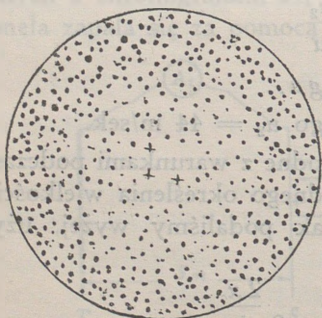
Prowadząc prostą od tego punktu do środka koła rozprysku na tarczy i mierząc promień tego koła będziemy mieli połowę kąta rozprysku.

$$\frac{A}{B} = \operatorname{tg} \frac{w}{2} = \operatorname{tg} \alpha.$$

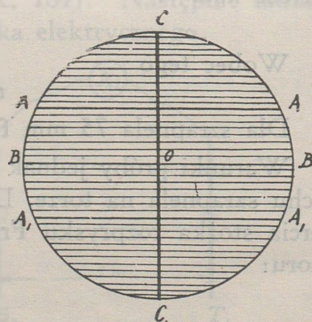
Określona szybkość jest miarodajną tylko w stosunku do mniejszych odległości.

d) Pole i gęstość rażenia.

Lotki, pod wpływem sił odśrodkowych, które nadają im szybkości u_1 i u_2 , grupują się bliżej obwodu koła rozprysku. Dlatego gęstość trafienia jest najmniejsza w środku tego koła, największa zaś — przy obwodzie (ryc. 186). Stosunek ten jest tym większy, im mniejsza jest szybkość osiowa u .



Ryc. 186.

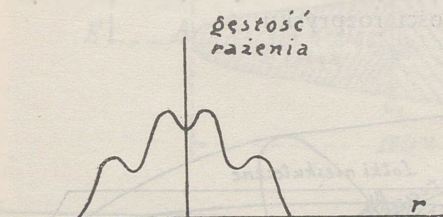


Ryc. 187.

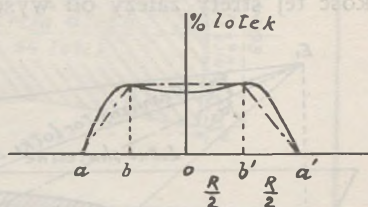
Jeżeli pionowy przekrój stożka rozprysku 75 mm szrapnela francuskiego podzielić równoległymi liniami, przeprowadzonymi w jednakowych odstępach, na 40 pasów (ryc. 187), to się okaże, że w każ-

dym z 16 pasów środkowych będzie około 10 lotek, zaś w pasach bocznych ACA i $A_1C_1A_1$ ilość lotek zmniejsza się stopniowo od 10 do 0.

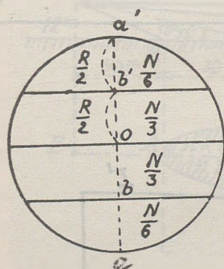
Rozmieszczenie lotek, przestudiowane na tarczach w Bourges, przedstawiają wykresy następujące: (ryc. 188 — 192).



Ryc. 188.



Ryc. 191.

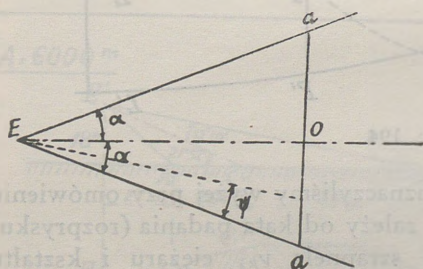


Ryc. 189.

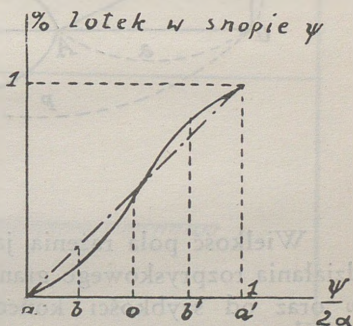
N oznacza ilość lotek szrapnelowych,
 R — promień pola rażenia na ekranie,
 Ψ — część stożka rozprysku.

Procentowa zawartość lotek w tej części stożka = $N \frac{\Psi}{2\alpha}$.

Gęstością rażenia nazywa się stosunek ilości lotek do wielkości pola rażenia.



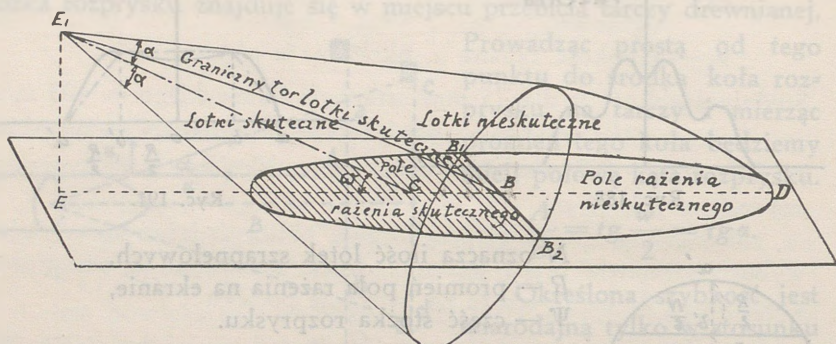
Ryc. 190.



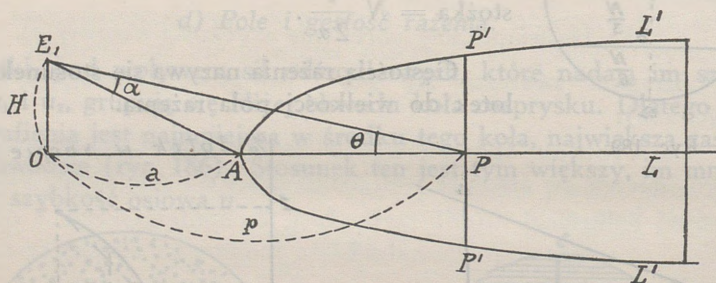
Ryc. 192.

Jeżeli E_1 — wierzchołek stożka rozprysku (ryc. 193 i 194), to płaszczyzna $P' P P'$, przechodząca przez oś stożka, dzieli poziomą płaszczyznę rażenia na dwie strefy: krótką $A P' P P'$ i długą $P' P P' L' L L'$. Strefa krótka = $p - a = H \cotg \omega - H \cotg (\omega + a)$ zawiera połowę wszystkich lotek. Szerokość jej zależy od odległości strzelania i wysokości rozprysku H . Długa strefa w skutecznej swej

części nie zawiera reszty lotek, ponieważ znaczna ich część zostaje rzucona dalej, przy czym wskutek większej drogi traci na szybkości i nie posiada dostatecznej siły rażenia $\left(\frac{mv^2}{2}\right)$. Strefę długą stanowi płaszczyzna położona między cięciwą $P' P'$ i cięciwą $L' L'$. Głębokość tej strefy zależy od wysokości rozprysku.



Ryc. 193.



Ryc. 194.

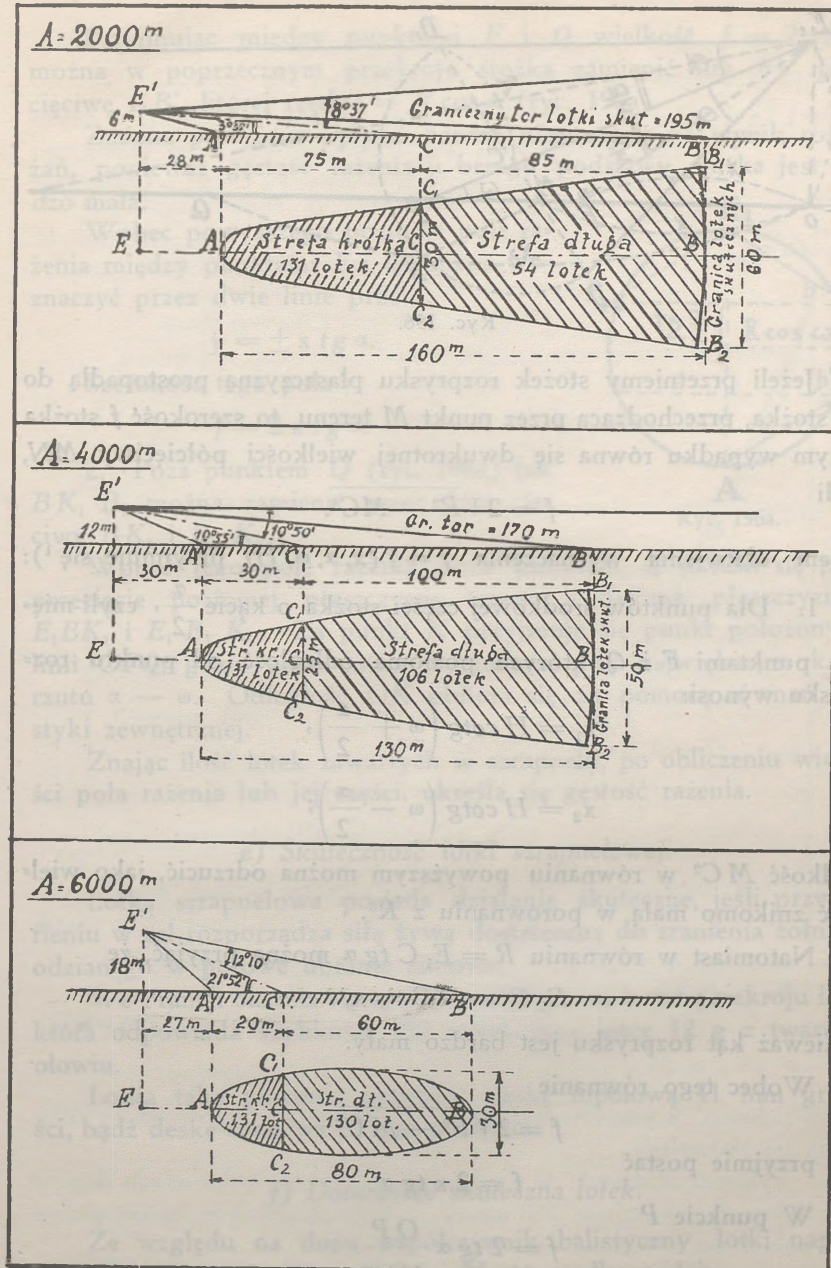
Wielkość pola rażenia, jak zaznaczyliśmy wyżej przy omówieniu działania rozpryskowego granatu, zależy od kąta padania (rozprysku) ω oraz od szybkości końcowej szrapnela v_k , ciężaru i kształtu lotek.

Jeżeli kąt rozprysku $\alpha > \omega$, to pole rażenia posiada kształt hyperboli (ryc. 195).

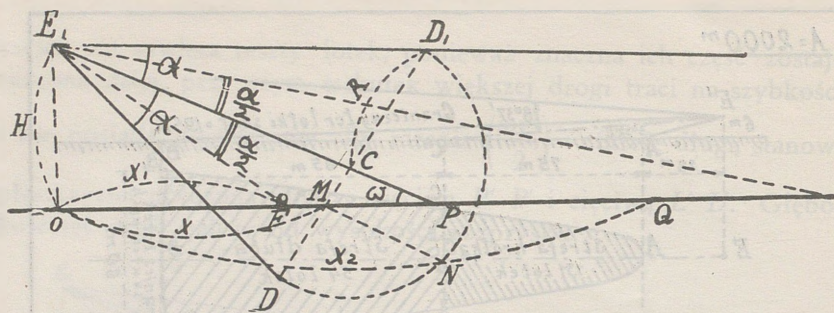
Jeżeli $\alpha < \omega$, to pole rażenia posiada kształt elipsy.

Jeżeli $\alpha = \omega$, to pole rażenia posiada kształt paraboli.

Szerokość poziomej płaszczyzny rażenia w poszczególnych punktach można określić w sposób następujący (ryc. 196).



Ryc. 195.
Pole rażenia szrapnela 75 mm.



Ryc. 196.

Jeżeli przetniemy stożek rozprysku płaszczyzną prostopadłą do osi stożka, przechodzącą przez punkt M terenu, to szerokość f stożka w tym wypadku równa się dwukrotnej wielkości półcięwiwy MN , czyli

$$f = 2 \sqrt{R^2 - MC^2}.$$

Celem ułatwienia wyznaczenia $f = f(x, \alpha, \omega, H)$ przyjmuje się ¹⁾:

1. Dla punktów środkowej części stożka o kącie $\frac{\alpha}{2}$, czyli między punktami F i Q , których pozioma odległość od punktu rozprysku wynosi:

$$x_1 = H \cotg \left(\omega + \frac{\alpha}{2} \right),$$

$$x_2 = H \cotg \left(\omega - \frac{\alpha}{2} \right);$$

wielkość MC^2 w równaniu powyższym można odrzucić, jako wielkość znikomo małą w porównaniu z R^2 .

Natomiast w równaniu $R = E_1 C \tg \alpha$ można przyjąć, że

$$E_1 C = MO = x,$$

ponieważ kąt rozprysku jest bardzo mały.

Wobec tego równanie

$$f = 2 \sqrt{R^2 - MC^2}$$

przyjme postać

$$f = 2 x \tg \alpha.$$

W punkcie P

$$f = 2 \tg \alpha \frac{OP}{\cos \omega}.$$

¹⁾ Płk. Niewiadomski i kpt. Poliński. Amunicja artyleryjska i działanie pocisków. 1924.

Przyjmując między punktami F i Q wielkość $f = 2xtg\alpha$, można w poprzecznym przekroju stożka zamienić łuk bb' przez cięciwę BB' , której rzędna $= R \cos \omega$ (ryc. 196a).

Zmiana powyższa wpływa bardzo nieznacznie na wynik rozważań, ponieważ gęstość rażenia u brzegu podstawy stożka jest bardzo mała.

Wobec powyższego poziome pole rażenia między punktami F i Q można wyznaczyć przez dwie linie proste:

$$y = \pm xtg\alpha.$$

Szerokość tego pola

$$f = 2xtg\alpha.$$

2. Poza punktem Q (ryc. 196a) łuk $BK_1 B_1$ można zamienić przez dwie cięciwy BK_1 i $B_1 K_1$.

Wobec tego pole rażenia poza punktem Q określi się przez przecięcie poziomej płaszczyzny terenu z dwoma płaszczyznami E_1BK_1 i $E_1B_1K_1$. Za punkt K przyjmuje się punkt położony na linii OFQ , gdzie pada lotka wyrzucona pod największym kątem rzutu $\alpha - \omega$. Odległość OK oblicza się za pomocą równań balistyki zewnętrznej.

Znając ilość lotek zawartych w szrapnelu, po obliczeniu wielkości pola rażenia lub jej części, określa się gęstość rażenia.

e) Skuteczność lotki szrapnelowej.

Lotka szrapnelowa posiada działanie skuteczne, jeśli przy trafieniu w cel rozporządza siłą żywą dostateczną do zranienia żołnierza odzianego w polowe ubranie zimowe.

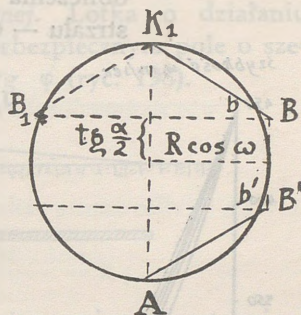
We Francji określa się tę siłę na 15 kgm na 1 cm² przekroju lotki, która odpowiada szybkości 180 m/sek. przy lotce 12 g z twardego ołowiu.

Lotka taka powinna przebijać deskę topolową 41 mm grubości, bądź deskę sosnową 25 mm grubości.

f) Donośność skuteczna lotek.

Ze względu na duży współczynnik balistyczny lotki napotykają duży opór powietrza i ich szybkość prędko maleje.

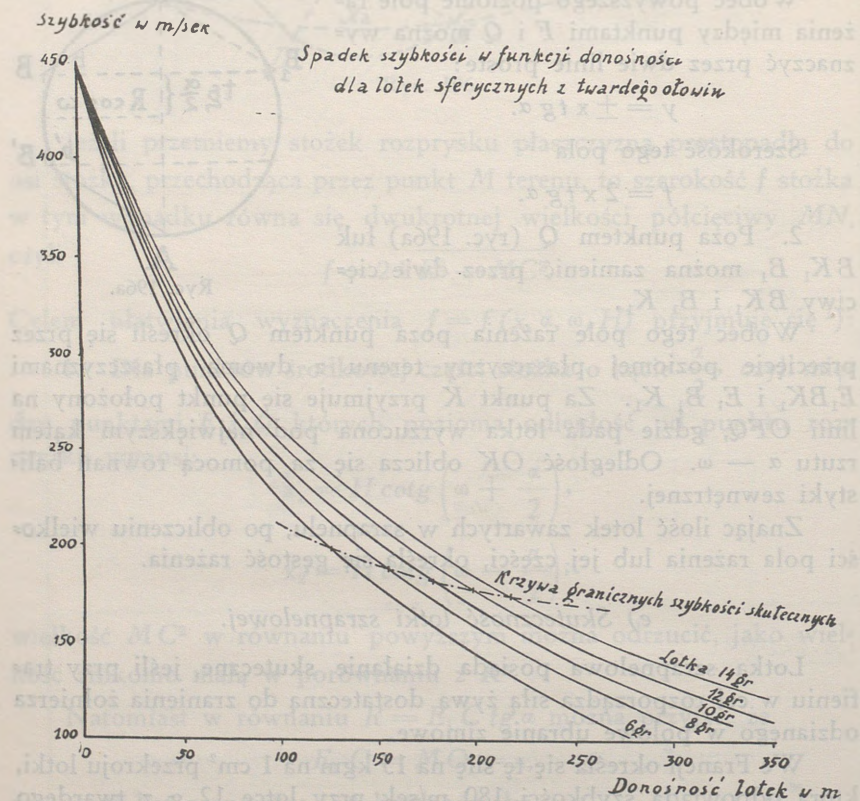
Donośność skuteczną lotek określa tor, który zakreśla najdalej rzucona lotka o sile żywej równej 15 kgm/cm². Komisja doświadczalna



Ryc. 196a.

w Bourges podaje następujący wykres spadku szybkości w funkcji donośności skutecznej lotek (ryc. 197).

Przykład: 12-gramowa lotka 77 mm szrapnela, rzucona z szybkością początkową $V_0 = 350$ m/sec. (dla szybkiego obliczenia można przyjąć $V_0 = V_k + u$). Odległość strzału — 6.000 m.



Ryc. 197.

Wiadomo, że graniczna szybkość skuteczna dla tego rodzaju lotek równa się 180 m/sec.

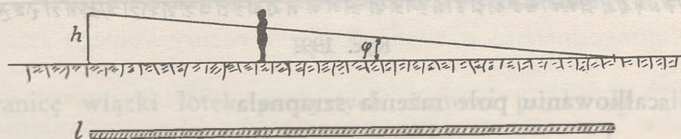
Z wykresu widzimy, że szybkości 180 m/sec. odpowiada donośność 190 m, szybkości zaś 350 m/sec. — donośność 50 m, zatem głębokość pola rażenia wynosi $190 - 50 = 140$ m.

Pole skutecznego rażenia określa graniczny tor lotki skutecznej (ryc. 195), który pozwala podzielić pole rozrzutu lotek na pole skutecznego rażenia i na pole rażenia nieskutecznego.

Szerokość pola skutecznego rażenia zależy od wysokości rozprysku, głębokość zaś od odległości strzelania i wysokości rozprysku.

g) Skuteczność szrapnela.

Obliczanie pola rażenia lotki skutecznej. Lotka o działaniu skutecznym, padając pod kątem φ , czyni niebezpiecznym pole o szerokości około 0,25 m i głębokości $= h \cdot \cotg \varphi$ (ryc. 198).



Ryc. 198.

W zależności od położenia żołnierza otrzymujemy następujące pola rażenia: $l \cdot h \cdot \cotg \varphi$:

	Przeciętna wysokość h	Szerokość niebezpieczna	Pole rażenia $lh \cotg \varphi$
Człowiek stojący . . .	1,60 m	0,25 m	$0,40 \text{ m}^2 \cdot \cotg \varphi$
„ kłęczący . .	1,00 m	0,25 m	$0,25 \text{ m}^2 \cdot \cotg \varphi$

Obliczanie pola rażenia szrapnela *).

Polem rażenia szrapnela nazywa się płaszczyzna pokryta lotkami o działaniu skutecznym.

Zakładamy, że tory lotek skutecznych są prostolinijne i że liczba lotek, zawarta w części stożka rozprysku Ψ , jest równa $N \frac{\Psi}{2\alpha}$.

Przy rozprysku, jak na ryc. 199, gdzie $\alpha > \omega$ i $x > h$ pole rażenia danej części stożka $d\Psi$ równa się:

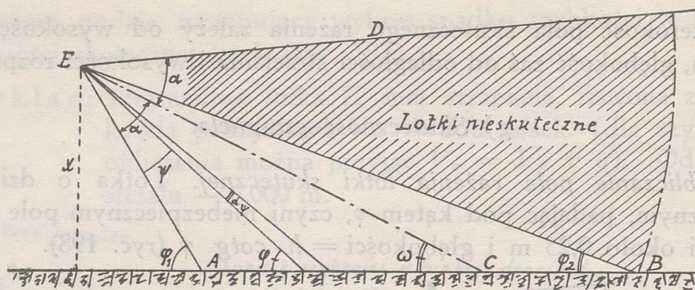
$$d\sigma = N \frac{d\Psi}{2\alpha} \cdot l \cdot h \cdot \cotg \varphi.$$

Lecz $\Psi = \alpha + \omega - \varphi$, a więc $d\Psi = -d\varphi$.

Wobec czego

$$d\sigma = \frac{-Nl \cdot h}{2\alpha} \cdot \cotg \varphi \cdot d\varphi.$$

*) Cpt. Guillemin. Munitions d'Artillerie, 1923.



Ryc. 199.

Po scałkowaniu pole rażenia szrapnela

$$\Sigma = \frac{-Nl \cdot h}{2\alpha} \cdot \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cotg \varphi \cdot d\varphi =$$

$$= \frac{Nl \cdot h}{2\alpha \log e} \cdot \log \frac{D \cdot \sin(\alpha + \omega)}{x},$$

gdzie N — ilość lotek w szrapnelu,

D — graniczny tor skutecznego lotek,

2α — rozwarcie stożka rozprysku,

ω — kąt padania pocisku,

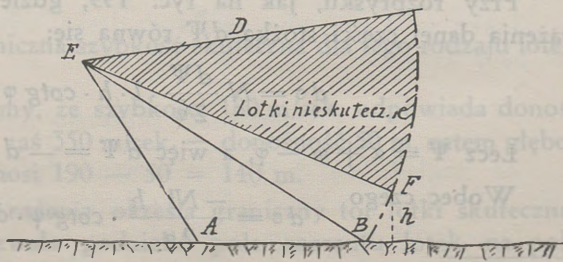
l — szerokość pola rażenia jednej lotki,

h — średnia wysokość człowieka,

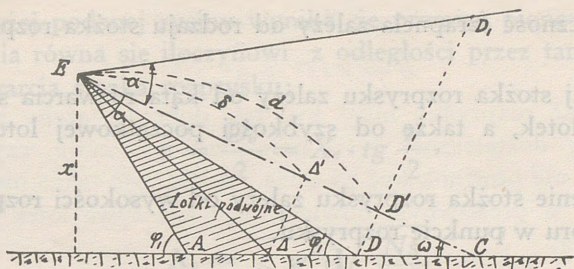
x — wysokość rozprysku,

e — zasada logarytmów.

Powyższa formułka jednak nie określa ściśle wielkości pola rażenia szrapnela, gdyż nie uwzględnia części skutecznego rażenia, odpowiadającego wiązce BEF (ryc. 200, gdzie h = wysokość wzrostu ludzkiego), a także nie uwzględnia wpływu tzw. lotek parzystych (dubletów), które nie mogą wpływać na zwiększenie gęstości rażenia. W tym wypadku pole rażenia zmniejsza się, jak to widzimy na ryc. 201.



Ryc. 200.



Ryc. 201.

Granicę wiązki lotek parzystych stanowi punkt D albo też prosta DD_1 . Gęstość rażenia można przyjąć równą $\frac{1}{l \cdot h}$.

Wobec tego

$$\frac{N}{\pi d^2 t g^2 \alpha} = \frac{1}{l \cdot h}$$

Donośność

$$d = \frac{1}{t g \alpha} \sqrt{\frac{N l h}{\pi}}$$

Donośności d odpowiada kąt φ'_1 , który można znaleźć z równania

$$t g \varphi'_1 = \frac{x \cos \omega}{d - x \sin \omega}$$

Przy donośności $\delta < d$ ze względu na lotki parzyste ilość lotek skutecznych w stożku rozprysku nie będzie $= N$, lecz N_1 , którą określa równanie następujące:

$$\frac{N_1}{\pi \delta^2 t g^2 \alpha} = \frac{N}{\pi d^2 t g^2 \alpha}$$

$$N_1 = N \cdot \frac{\delta^2}{d^2}$$

Pole rażenia wiązki o łotkach parzystych:

$$d\sigma = \frac{-N l h}{2\alpha} \cdot \frac{\delta^2}{d} \cdot \cot g \varphi \cdot d\varphi$$

$$\text{lub } d\sigma = \frac{-\pi x^2 t g^2 \alpha}{2\alpha} \cdot \frac{\cos \varphi \cdot \cos^2(\varphi - \omega)}{\sin^3 \varphi} d\varphi$$

Całkowite pole rażenia:

$$\Sigma = \frac{\pi x^2 t g^2 \alpha}{2\alpha} \cdot \int_{\varphi_1^1}^{\varphi_1} \frac{\cos \varphi \cdot \cos^2(\varphi - \omega)}{\sin^3 \varphi} d\varphi$$

Skuteczność szrapnela zależy od rodzaju stożka rozprysku i jego położenia.

Rodzaj stożka rozprysku zależy od kąta rozwarcia stożka, ilości i ciężaru lotek, a także od szybkości początkowej lotek w chwili rozprysku.

Położenie stożka rozprysku zależy od wysokości rozprysku i pochylenia toru w punkcie rozprysku.

h) Najdogodniejsze warunki działania rozpryskowego szrapnela.

Jeżeli snop torów, zakreślonych przez lotki, przetniemy tarczami a, b, c, d, e, f, g (patrz ryc. 180), to zauważymy, że gęstość rażenia będzie się zmniejszała ze zwiększeniem poziomej odległości od punktu rozprysku a , która nazywa się odległością (interwałem) rozprysku.

Im większa odległość rozprysku, tym większa jest płaszczyzna rozrzutu lotek.

Duże skupienie lotek na mniejszej płaszczyźnie przy małych odległościach rozprysku jest niecelowe.

M mało skuteczny jest również strzał przy odległości nadmiernie dużej z powodu zbyt małej gęstości rażenia.

Największą skuteczność rozprysku osiąga się przy takiej odległości, przy której otrzymuje się największą płaszczyznę o dostatecznej gęstości rażenia.

Najdogodniejszą odległość można określić w sposób następujący:

Oznaczamy:

N — ilość lotek lub odłamków,

D — średnica pola rażenia przy odległości X ,

D_0 — średnica pola rażenia przy najdogodniejszej odległości X_0 ,

w — kąt rozwarcia stożka rozprysku,

s — płaszczyzna pionowa ciała ludzkiego.

Przy najdogodniejszej odległości X_0 na płaszczyznę jednego człowieka powinien wypadać 1 odłamek lub lotka. Wobec tego N lotek pokryją płaszczyznę Ns m².

$$N_s = \frac{D_0^2}{4}$$

skąd

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 N_s}{\pi}}$$

Z wyżej podanej ryciny wynika, że promień pionowej płaszczyzny rażenia równa się iloczynowi z odległości przez tangens połowy kąta rozwarcia stożka rozprysku:

$$r = \frac{D_o}{2} = X_o \cdot \operatorname{tg} \frac{w}{2},$$

skąd

$$X_o = \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{w}{2}} \sqrt{\frac{N_s}{\pi}}.$$

Jeżeli $s = 0,5 \cdot 1,8 = 0,9 \text{ m}^2$; $N = 41$ lotek, $D = 3 \text{ m}$, $X = 5,25 \text{ m}$,

$$\text{zaś } \operatorname{tg} \frac{w}{2} = \frac{1,5}{5,25} \cong 0,21$$

$$\text{to } D_o = 2 \sqrt{\frac{41 \cdot 0,9}{\pi}} = 6,86 \text{ m.}$$

$$X_o = \frac{1}{0,21} \cdot \frac{D_o}{2} = \frac{6,86}{0,42} = 16,3 \text{ m.}$$

Odległość przeciętną lotek według Cranza można obliczyć ze wzoru:

$$X_p = \frac{G_1}{K \cdot d^2 \cdot \delta} \log \operatorname{nat} \frac{V_k}{v_k},$$

gdzie X_p — odległość w m,

G_1 — ciężar lotki w kg,

d — średnica lotki w m,

δ — ciężar 1 m^3 powietrza,

$K = 0,367, 0,269, 0,166, 0,132$

$$\text{przy } \frac{V_k + v_k}{2} = 400, 300, 200, 100 \text{ m/sek.}$$

Rohne według Siacci obliczył dla niemieckiej armaty polowej, że X_p wynosi 300, 262 i 145 m dla lotek 10-gramowych przy wymaganej sile żywej 8 kgm w punkcie trafienia i $V_k = 125 \text{ m/sek.}$ w wypadku, jeżeli szybkość lotek w chwili rozprysku szrapnela wynosi odpowiednio 400, 300 i 200 m/sek.

Według przytoczonego wzoru można sprawdzić, czy odległość rozprysku obrona jest prawidłowo.

Z ryc. 202 widać że prawidłowa donośność rozprysku

$$b = \sqrt{H^2 + a^2}.$$

Wysokość rozprysku musi być tak dobrana, ażeby lotki były podzielone w dostatecznej ilości pomiędzy cele żywe, czyli że gęstość rażenia nie powinna być za duża. Wysokość także nie powinna być za duża, w przeciwnym bowiem razie siła żywa lotek może być niedostateczna.

Wysokość rozprysku jest $H = a \cdot \operatorname{tg} \omega$.

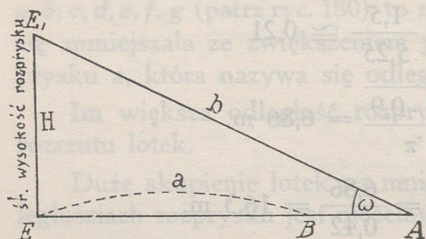
Odległość skutecznego rozprysku dla 75 mm armaty polowej wynosi 122, 94, 64 na odległości 1009, 2000 i 4000 m.

Odległość rozprysku (wezdłuż Rohne) powinna wynosić:

$$a = \frac{1}{4} v_k \cos. \omega.$$

Wobec tego wysokość rozprysku musi być:

$$H = \frac{v_k \sin \omega}{4}.$$



Ryc. 202.

Jeżeli odległość a , oraz $H = a \cdot \operatorname{tg} \omega$ i $b = a \cdot \sec \omega$ są znane, jak również kąt rozwarcia stożka rozprysku $W = 2\alpha$ dla danej odległości, to można obliczyć gęstość rażenia δ_r , wychodząc z założenia, że stożek rozprysku przecięty jest płaszczyzną pionową prostopadłą do osi stożka w odległości b od punktu rozprysku. Przekrój tego stożka będzie przedstawiał koło o promieniu ρ . Za gęstość rażenia δ_r , na płaszczyźnie kołowej uważamy ilość lotek na 1 m^2 koła.

Całkowita ilość lotek trafionych wynosi zwykle około 0,85 N ogólnej ilości lotek. Stąd na powierzchnię $\pi \rho^2$ wypada

$$\pi \rho^2 = \frac{0,85 N}{\delta_r}.$$

Wobec tego, że $\alpha = \frac{\rho}{b}$, to gęstość rażenia

$$\delta_r = \frac{0,85 N}{\pi \cdot b^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha}.$$

Dla 75 mm armaty polowej przy $N = 291$, $\alpha = 12^\circ 9'$, przy donośności rozprysku $b = 50 \text{ m}$

$$\delta_r = \frac{0,85 \cdot 291}{(50 \operatorname{tg} 12^\circ 9')^2 \cdot \pi} = 1,4 \text{ lotek na m}^2.$$

IV. DZIAŁANIE TRUJĄCE.

Działanie trujące amunicji gazowej polega na wywołaniu w organizmie żywym szkodliwych zaburzeń za pomocą zatrucia krwi, podrażnienia nerwu błędnego, regulującego funkcjonowanie organu oddechowego, podrażnienia błon śluzowych oczu i nosa oraz za pomocą oparzenia skóry.

1. Działanie gazów bojowych.

Działanie gazów bojowych zależy od stężenia bojowego c i czasu oddychania t w atmosferze zatrutej.

Stężeniem bojowym c nazywa się stosunek ciężaru gazu bojowego do objętości powietrza w g/m^3 lub stosunek objętości gazu do objętości powietrza w litrach na liter lub m^3/m^3 .

Stosunek stężenia wagowego c_{wag} do stężenia objętościowego c_{ob} wyraża równanie

$$c_{wag} = \frac{c_{ob} \cdot M}{22,4}$$

gdzie M — ciężar cząsteczki gramowej,

22,4 — objętość w litrach jednej cząsteczki gramowej gazu przy 0°C i ciśnieniu 760 mm.

Stężenie bojowe zmienia się od obojętnego do zabójczego, proporcjonalnie do ilości środka gazowego i odwrotnie proporcjonalnie do objętości rozpraszania gazu.

Działanie zabójcze gazu bojowego na organizm żywy można określić równaniem

$$W = \frac{g}{K},$$

gdzie g — ilość środka chemicznego, niezbędnego do zatrucia organizmu, w gramach,

K — ciężar organizmu żywego w kg,

W — stała dla danego gazu bojowego.

Ilość gazu bojowego, niezbędna do zatrucia przez wdychanie,
 $g = c \cdot t \cdot V$ (V — objętość powietrza wdychanego w ciągu 1 min.).

Jeżeli w powyższym równaniu podstawimy g , to otrzymamy

$$W = \frac{c \cdot t \cdot V}{K}$$

Ponieważ $\frac{V}{K}$ jest wielkością mniej więcej stałą S dla danego organizmu żywego, wobec tego otrzymamy dla niego tzw. „liczbę trującą”

$$W = c \cdot t \cdot S,$$

która jest współczynnikiem skuteczności gazów bojowych.

Haber podaje następujące wartości W dla różnych gazów bojowych:

fosgen	— 450
dwufosgen	— 500
iperyt	— 1500
chloropikryna	— 2000
chloroaceton	— 3000
bromoaceton	— 4000
bromek ksylilu	— 6000
chlor	— 7500
kwas pruski	— 1000 — 4000.

$$\text{Stężenie zabójcze } c = \frac{W}{t \cdot S}.$$

Wartości c według danych amerykańskich.

Nazwa gazu bojowego	Czas wdychania gazu bojowego t					
	5 minut		30 minut		2 godziny	
	g/m^3	V_1/V	g/m^3	V_1/V	g/m^3	V_1/V
Chlor	3,17	1: 1.000	0,32	1: 10.000	—	—
Chloropikryna . .	2,74	1: 2.500	0,34	1: 20.000	0,15	1: 50.000
Fosgen	0,88	1: 5.000	0,18	1: 25.000	0,04	1: 10.000
Iperyt	0,55	1: 13.000	0,07	1: 100.000	0,02	1: 30.000
Kwas pruski . . .	0,6	1: 2.000	0,15	1: 8.000	0,12	1: 10.000

2. Stężenia obzewładniające¹⁾.

Nazwa gazu bojowego	Stężenie powodujące w ciągu 2 minut zapalenie oskrzeli i uszkodzenie płuc		Stężenie powodujące niezdadność do walki przez podrażnienie	
	g m ³	V ₁ /V	g m ³	V ₁ /V
<i>Duszące:</i>				
Chlor	0,29	1: 10.000	0,29	1: 10.000
Fosgen	0,08	1: 50.000	0,04	1: 100.000
Palit	0,5	1: 10.000	0,05	1: 100.000
Dwufosgen	0,162	1: 50.000	0,04	1: 200.000
Chloropikryna	0,1	1: 50.000	0,026	1: 200.000
Czterochlorek cyny	0,8	1: 10.000	—	—
Chlorek fenylkarbyloaminy	0,71	1: 10.000	—	—
Bromocvjan	0,14	1: 30.000	0,035	1: 200.000
Dwuchlorometyloeter	0,47	1: 10.000	0,47	1: 10.000
<i>Trujące:</i>				
Kwas pruski			0,55	1: 2.000
		Działanie natychmiastowe zabójcze	Własności kumulujących nie posiada	
Siarkowodór	0,39	1: 10.000	1,39	1: 1.000
<i>Żrące:</i>				
Iperyty	Natychmiast nie obczwładnia, działa z opóźnieniem		0,0065	1: 1.000.000 w ciągu 60 minut
<i>Łzawiące:</i>				
Bromek benzylu			0,00349	1: 2.000.000
„ ksylilu			0,00378	1: 2.000.000
Etylojodooctan	0,17	1: 50.000	0,00437	1: 2.000.000
Bromoaceton	0,56	1: 10.000	0,0028	
Chloroaceton			0,0003	
Kamit			0,0003	1: 30.000.000
<i>Drażniące (sternity):</i>				
Dwufenylochloroarsyna	2,16		0,001	
Dwufenylocyjanoarsyna	2,08		0,001	
Adamsyt (dwufenyloaminochloroarsyna)			0,0052	
		Podrażnienie występuje po kilku minutach		
Etylodwuchloroarsyna (dik)	0,35	1: 20.000	0,014	1: 500.000
Luizyt	0,05			

¹⁾ Wedder i Walton. Wojna chemiczna. 1930.

Wytworzenie w polu stężenia zabójczego i utrzymanie go przez dłuższy czas jest rzeczą bardzo trudną. Natomiast stężenia mniejsze są możliwe do osiągnięcia. Stanowią one podstawę do obliczeń działania gazów bojowych.

Najmniejsze stężenia skuteczne obezwładniające posiadają gazy bojowe drażniące i żrące:

Łzawiące:

Kamit	— 0,0003 g/m ³
Chloroacetofenon	— 0,0003 „
Martonit	— 0,0012 — 0,0014
Eter etylojodoctowy	— 0,0014 „
Bromoaceton	— 0,0015 „
Bromek ksylilu	— 0,0018 „
Bromek benzylu	— 0,0035 „
Bromometyloetyloketon	— 0,011 „
Chloroaceton	— 0,018 „
Chloropikryna	— 0,017 „

Sternity (według F. Fleury):

Dwufenylocyjanoarsyna	— 0,00025 g/m ³
Dwufenylochloroarsyna	— 0,001 — 0,002 g/m ³
Fenylodwuchloroarsyna	— 0,010 „
Metylodwuchloroarsyna	— 0,045 „

Żrące:

Iperyt	— 0,020 — 0,035 „
--------	-------------------

Celem wytworzenia w danej przestrzeni atmosfery o pożądanym stężeniu należy użyć określonej ilości gazu bojowego:

$$L = F h c,$$

gdzie L — Ładunek gazu w gramach,

F — powierzchnia ostrzeliwana,

h — wysokość średnia rozpraszania się gazu,

c — stężenie w g/m³.

Czas trwania utworzonego obłoku zależy od stopnia lotności gazu bojowego, to znaczy od zdolności parowania, a także od warunków atmosferycznych.

Zdolność parowania Z jest proporcjonalna do temperatury powietrza t_p i odwrotnie proporcjonalna do temperatury wrzenia danego środka bojowego, t_w :

$$Z = \frac{t_p}{t_w}.$$

Stosunek $\frac{t_p}{t_w}$ rozstrzyga o prężności gazu, wobec czego Z jest proporcjonalne do prężności p , którą się mierzy wysokością słupa rtęci.

Znając prężność gazu przy danej temperaturze, oblicza się zawartość substancji gazowej g w gramach na m^3 .

$$g = \frac{M}{\Delta \cdot P_o} = \frac{M_p}{\Delta \cdot P_o}$$

gdzie Δ — ciężar $1 m^3$ powietrza przy 0° i 760 mm ciśnienia = 1,2932 kg,

P_o — ciśnienie atmosferyczne = 760 mm,

M — ciężar cząsteczki gramowej,

p — prężność pary substancji gazowej w mm.

Na przykład luizyt przy $t = 0^\circ$ posiada prężność $p = 0,087$ mm,

„ $t = 20^\circ$ „ „ „ $p = 0,395$ mm.

$$\text{Przy } 0^\circ C \quad g = \frac{207,36 \cdot 0,087}{22,4 \cdot 760} = \frac{18,040}{17024} = 0,001 \text{ g/L} = 1 \text{ g/m}^3.$$

$$\text{Przy } 20^\circ C \quad g = \frac{207,36 \cdot 0,395}{22,4 \cdot 760} = 4,54 \text{ g m}^3.$$

3. Własności fizyczne gazów bojowych¹⁾

(kolejność według temperatur wrzenia).

Nazwa	Wzór chemiczny	Ciężar cząsteczki M	$t^\circ C$		Gęstość		Lotność w $t 20^\circ C$
			topienia	wrzenia	cieczy ($H_2O = 1$)	pary (pow. = 1)	
Tlenek węgla . .	CO	28	-207	-190	0,79	0,967	gaz
Siarkowódór . .	S_2H	34,09	- 87	- 61,7	0,86	1,19	„
Arsenowódór . .	AsH_3	77,98	-113,5	- 55	3,498	2,694	„

¹⁾ I. Meyer. Der Gaskampf und die chemischen Kampf-Stoffe. 1926. Techn. Encyklopedia. T. II. Moskwa. 1928. Die Ultragifte. Ch. F. Stoltzenberg. Heft. 3. Kpt. Mącyński. Chemia i technologia gazów i dymów bojowych. 1933. Mjr. B. Sypniewski. Technika walki chemicznej.

Nazwa	Wzór chemiczny	Ciężar czą- steczki M	t°C		Gęstość		Lotność w t 20°C
			topie- nia	wrzenia	cieczy (H ₂ O = 1)	pary (pow. = 1)	
Chlor . .	Cl ₂	70,92	-102	- 33,6	1,469	2,46	„
Dwutlenek siarki . .	SO ₂	64,07	- 73	- 8	1,35	2,23	„
Chlorek nitrozyłu	NOCl	65,47	- 65	- 5,6	1,417	2,31	„
Fosgen . .	COCl ₂	98,92	-118	+ 8,2	1,432	3,4	„
Chloro- cyjan . .	ClCN	61,47	- 5,5	+ 15,5	1,22	2,19	„
Dwutlenek azotu . .	NO ₂	46,01	- 12	+ 22	-	2,65	„
Kwas pruski . .	HCN	27,02	- 15	+ 26,5	0,69	0,94	„
Czterokar- bonylek niklu . .	Ni(CO) ₄	107,68	- 25	+ 43	1,32	5,9	„
Trójtlenek siarki . .	SO ₃	80,07	+ 14,8	+ 46	1,98 (+ 16°)	2,77	„
Idoaceton .	CH ₃ COCH ₂ I	183,96	-	+ 48 (11 mm)	-	6,3	„
Bromome- tyloetylo- keton . .	CH ₂ BrCOC ₂ H ₅	150,98	-	+ 52 (20 mm. Hg)	-	5,2	„
Akroleina	CH ₂ CHCHO	56,03	-	+ 52,4	1,30	1,9	„
Czterochlo- rek krzemu	SiCl ₄	169,9	- 89	+ 57	1,49	5,86	„
Brom . . .	Br	159,84	- 7,3	+ 59	3,18	5,52	„
Bromocyjan	BrCN	105,93	+ 52	+ 61,4	2,18	3,7	549,1 g/m ³
Chlorek sulfuryłu	SO ₂ Cl ₂	134,99	-	+ 69	1,70	4,7	„
Chlorek tionylu .	SOCl ₂	118,99	-	+ 78	1,675	4,1	„
Chlorowi- nyłodwu- chloro- arsyna (luizyt) .	CHClCHAsCl ₂	207,36	- 13	+ 93 (190° 26 mm)	2,17	7,1	4,54 g/m ³

Nazwa	Wzór chemiczny	Ciężar częs- teczki M	t°C		Gęstość		Lotność w t 20°C
			topie- nia	wrzenia	cieczy (H ₂ O = 1)	pary (pow. = 1)	
Eter dwu- chlorome- tylu . . .	(CH ₂ Cl) ₂ O	114,95	—	+ 105	1,37	4,0	188,6 „
Palit . . .	$\begin{cases} \text{ClCO}_2\text{CH}_2\text{Cl} \\ \text{ClCO}_2\text{CH}_2\text{Cl} \end{cases}$	128,94	—	+ 109	1,456	4,4	46,3 „
Chloro- pikryna	CCl ₃ NO ₂	164,39	— 69,2	+ 112,8	1,69	5,7	295,8 „
Chloro- aceton . .	CH ₃ COCH ₂ Cl	92,5	—	+ 119	1,16	3,2	„
Czterochlo- rek cyny	SnCl ₄	260,54	— 33	+ 114	2,23	9,2	„
Dwufosgen	ClCO ₂ CCl ₃	197,84	—	+ 128	1,65	6,9	70,9 „
Dwuchlo- rowinylo- chloroar- syna (luizyt) .	(CHClCH) ₂ AsCl	233,37	—	+ 130 (26 mm)	1,9	8,0	„
Trójchlorek arsenu . .	AsCl ₃	181,34	— 18	+ 130,2	2,20	6,3	84,2 „
Metylo- dwuchlo- roarsyna .	CH ₃ AsCl ₂	160,90	—	+ 130,2	1,84	5,6	74,44 „
Chloro- siarczan metylu . .	ClSO ₃ CH ₃	130,55	—	+ 132	1,51	4,5	„
Czterochlo- rek tytanu	TiCl ₄	189,94	— 25	+ 136,4	1,76	6,84	„
Bromoace- ton . . .	CH ₃ COCH ₂ Br	136,96	— 54	+ 137	1,63	4,7	„
Bromooctan metylu . .	CH ₂ BrCO ₂ CH ₃	152,96	—	+ 144	—	5,3	„
Olejek gor- czyczny .	C ₃ H ₅ NCS	99,12	—	+ 161	1,03	3,4	„
Trójchloro- winyloar- syna . .	(CHClCH) ₃ As	259,39	+ 3	+ 151 (26 mm)	—	8,9	„
Eter dwu- bromome- tylu . . .	(CH ₂ Br) ₂ O	223,87	—	+ 154	2,18	7,7	31,6 g m ³

Nazwa	Wzór chemiczny	Ciężar cząsteczki M	t°C		Gęstość		Lotność w t 20°C
			topie- nia	wrzenia	cieczy (H ₂ O = 1)	pary (pow. = 1)	
Chlorosiarcz- etan etylu	ClSO ₂ C ₂ H ₅	144,57	—	+ 154	1,26	5,0	
Etylodwus- chloroar- syna . . .	C ₂ H ₅ AsCl ₂	174,92	—	+ 156	1,68	6,0	21,9 „
Kwas chlo- ro sulfo- nowy . .	ClSO ₃ H	116,54	—	+ 156	1,78	4,0	
Jodoctan- etyl . .	JCH ₂ CO ₂ C ₂ H ₅	213,98	— 43,2	+ 179	1,8	6,9	
Chlorek benzylu .	C ₆ H ₅ CH ₂ Cl	126,52	— 27	+ 179	1,11	4,4	
Siarczan dwumetyl	SO ₂ (OCH ₃) ₂	126,12	—	+ 188	1,33	4,7	
Bromek benzylu .	C ₆ H ₅ CH ₂ Br	170,98	— 3,9	+ 201	1,44	6,0	3,5 „
Trójfosgen	CO(OCCl ₃) ₂	297	+ 78	+ 206 (26 mm)	—	10,3	
Fenyl- dwuchlo- rokarby- loamina .	C ₆ H ₅ NCCl ₂	173,97	—	+ 208	1,29	6,0	2,1 „
Bromek ksylilu .	CH ₃ C ₆ H ₄ CH ₂ Br	184,99	— 2,1	+ 215	1,38	6,4	2,5 „
Iperyt . .	(ClC ₂ H ₄) ₂ S	159,05	+ 13,9	+ 217	1,27	5,5	0,565 „
Jodek ben- zylu . . .	C ₆ H ₅ CH ₂ J	217,98	+ 24	+ 226	1,77	7,5	1,2 „
Kamit . .	C ₆ H ₅ CHCNBr	195,98	+ 29	+ 231,7	1,54	6,8	
Chloroace- tofenon .	C ₆ H ₅ COCH ₂ Cl	154,52	+ 59	+ 245	—	—	
Fenyl- dwuchlo- roarsyna .	C ₆ H ₅ AsCl ₂	222,92	—	+ 252	1,64	7,7	
Dwufenyl- chloroar- syna . . .	(C ₆ H ₅) ₂ AsCl	264,5	+ 38	+ 333	1,42	9,1	0,00025 g/m ³

Nazwa	Wzór chemiczny	Ciężar czą- steczki M	t°C		Gęstość		Lotność w t 20°C
			topie- nia	wrzenia	cieczy (H ₂ O = 1)	pary (pow. = 1)	
Dwufeny- locjanoar- syna	(C ₆ H ₅) ₂ AsCN	255,05	+ 31,5	+ 346	1,45	8,8	0,00012 „
Adamsyt	(C ₆ H ₅) ₂ NH AsCl	277,49	+195	+ 410 (ob iezo- na)	—	—	

4. Prężność pary nasyconej.

t°C	p mm.	t°C	p mm.	t°C	p mm.	t°C	p mm.
Dwufosgen		25	23,81	23	0,0842	0	5,53
10	5,0	30	31,10	24	0,0916	10	10,33
20	10,3	35	40,14	25	0,0996	20	18,58
30	16,3			30	0,1500	30	31,39
		Iperyt		35	0,2220		
Palit		- 17,8	0,0045			Etylojodoocetan	
10	3,6	0	0,0100	Bromocyjan ²⁾		10	0,28
20	5,6	10	0,0256	- 17,3	5,9	20	0,54
		14	0,0379	- 15,5	6,3	30	0,87
Chloropikryna ¹⁾		15	0,0417	0	21,2		
- 20	1,5	16	0,0457	15	63,3	Dwufenylochlo- arsyna ³⁾	
- 19	1,7	17	0,0499	25	119,5		
- 18	1,9	18	0,0546	35	223,5	0	0,0001
0	5,71	19	0,0596			25	0,0003
10	10,37	20	0,0650	Czterochlorek		45	0,0039
15	13,82	21	0,0709	cyny		55	0,0065
20	18,31	22	0,0773	- 10	2,78	75	0,0282

$$^1) \text{ według wzoru } 1 \text{ gv} \cdot p = 8,2424 - \frac{2045,1}{273 + t}$$

$$^2) \text{ „ „ } 1 \text{ gv} \cdot p = 8,6944 - \frac{2281,7}{273 + t}$$

$$^3) \text{ „ „ } 1 \text{ gv} \cdot p = 7,5183 - \frac{2071}{273 + t}$$

$t^{\circ}\text{C}$	p mm.	$t^{\circ}\text{C}$	p mm.	$t^{\circ}\text{C}$	p mm.	$t^{\circ}\text{C}$	p mm.
Karbonylek niklu		25	0,188	Fenylodwuchloroarsyna ⁵⁾		- 5	350,20
- 0	94,3	37	0,558	0	0,004	0	440,11
0	144,5	Metylodwuchloroarsyna ⁴⁾		15	0,014	20	1001,87
20	329,5			25	0,035	Trójchlorek arsenu ⁶⁾	
30	461,9			30	0,049	0	2,44
Luizyt		- 16,8	0,56	35	0,076	25	11,65
0	0,087	- 15	0,67	45	0,159	35	19,53
20	0,395	0	2,17	Chlorocyjan		Fosgen	
Chloroacetofenon		15	5,94	- 30	68,3 (stały)	- 25,56	176,5
0	0,0028	25	10,83	- 20	148,21	- 15,34	282,5
15	0,0078	35	19,33	- 10	270,51	+ 0,03	553,2
						12,6	889,2

$$^4) \quad \text{„} \quad \text{„} \quad 1 \text{ g v} \cdot p = 10,3283 - \frac{2457,5}{273 + t}$$

$$^5) \quad \text{„} \quad \text{„} \quad 1 \text{ g v} \cdot p = 9,15 - \frac{3164}{273 + t}$$

$$^6) \quad \text{„} \quad \text{„} \quad 1 \text{ g v} \cdot p = 7,893 - \frac{3288}{273 + t}$$

W zależności od stopnia lotności gazy bojowe dzielą się na 3 grupy:

1. *lotne*, które posiadają t wrzenia $< 60^{\circ}$ i tworzą w terenie obłok krótkotrwały (czas trwania obłoku od kilku minut do 3 godzin w zależności od t_p , wiatru, wilgotności powietrza, od terenu i od ilości substancji gazowej);

2. *średniotrwałe* o $t_w = 60^{\circ} - 150^{\circ}$, tworzące obłok, którego czas trwania dochodzi do 3 — 12 godzin, w zależności od czynników wyżej wymienionych;

3. *trwałe* o $t_w > 150^{\circ}$, tworzące w terenie „plamę chemiczną” (skażenie), której maksymalny czas trwania wynosi od kilku dni do kilku tygodni.

5. Działanie pocisków i bomb gazowych.

Każdy pocisk lub bomba gazowa ma działanie wybuchowe i trujące.

Działanie wybuchowe powoduje ładunek materiału kruszącego pobudzacza. Jest on przeznaczony do rozerwania skorupy i rozpraszania substancji o dużej temperaturze wrzenia za pomocą ciśnienia gazów wybuchowych; przy gazach lotnych służy do rozwarcia skorupy.

Ciśnienie gazów wybuchowych oblicza się według wzorów Nobla i Abela (patrz str. 122), przy czym Δ jest stosunkiem ciężaru ładunku pobudzacza do objętości reakcyjnej V = wolnej przestrzeni w głowicy + objętość pobudzacza. Np. w pocisku gazowym 75 mm $\Delta = \frac{25 (g)}{V + 15 \text{ cm}^3}$, przy czym $V < 75 \text{ cm}^3$. Objętość tę wobec napełniania pocisków do stałego poziomu można uważać za stałą dla danego kalibru.

Ciśnienie rozrywające skorupę określa wzór*):

$$P_w = \sigma_r \left(\frac{R}{r} - 1 \right).$$

gdzie P_w — ciśnienie wewnętrzne w kg/cm^2 ,

„ σ_r — wytrzymałość na rozerwanie w kg/mm^2 ,

„ R — promień zewnętrzny skorupy w mm,

„ r — „ wewnętrzny „ „

W pocisku 75 mm wz. 1915 pobudzaczy z kwasu pikrynowego wytwarza ciśnienie :

$$P_L = f \cdot \frac{25}{90} \cdot \frac{25}{1 - \alpha \cdot \frac{25}{90}} = 3545 \text{ kg/cm}^2.$$

Natomiast ciśnienie rozrywające wynosi:

$$P_w = 7,500 \cdot \left(\frac{36,5}{29,5} - 1 \right) = 1875 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_L > P_w.$$

Wobec czego skorupa pocisku zostanie rozerwana.

*) Patrz również wzory inne, przytoczone na początku rozdziału III.

W chwili zetknięcia się pocisku z przeszkodą każda cząsteczka ładunku wewnętrznego posiada szybkość, równą szybkości pocisku końcowej, czyli posiada pewne przyśpieszenie dodatnie. Ponieważ wszystkie pociski gazowe z reguły mają zapalniki natychmiastowe, wybuch pobudzacza następuje w chwili uderzenia zapalnika o przeszkodę. Wybuch nadaje cząsteczkom gazu bojowego pewne przyśpieszenie ujemne, które jest znacznie większe od przyśpieszenia dodatniego. Jednak ze względu na to, że siła żywa tych drobnych cząstek jest bardzo mała, odrzut płynu od punktu wybuchu zwykle nie przekracza 5 metrów przy pobudzaczach ~ 200 g.

Dla przeciwdziałania żywej sile pocisku, powodującej szkodliwe zagłębienie się jego w terenie i stratę substancji gazowej, stosuje się odpowiedniej wielkości ładunki pobudzacza, które wynoszą dla

75 mm	25 g minimum,
105 mm	60 „
120 mm	60 — 90 „
155 mm	90 „

W bombach mniejszych kalibrów ładunek zawiera ~ 200 g materiału wybuchowego, a w bombach większych kalibrów ~ 1 kg.

Działanie pocisku 75 mm. Pocisk zawiera 700 g gazu bojowego. W chwili wybuchu tworzy obłok o wymiarach $2 \times 2 \times 5 = 20 \text{ m}^3$, jeżeli jest ładowany gazem lotnym lub średniotrwiałym, lub płamę 5 m^2 przy ładunkach łzawiących i płamę 20 m^2 przy ładunkach iperytowych.

Minimalna ilość pocisków potrzebnych do zagazowania określonej przestrzeni oblicza się według wzoru:

$$N = \frac{F h \cdot c}{L},$$

gdzie N — ilość pocisków gazowych,

F — długość powierzchni ostrzeliwana w m^2 ,

h — wysokość obłoku gazowego = 5 m,

c — żądane stężenie w g/m^3 ,

L — ładunek substancji gazowej w gramach.

Przykład. Do zagazowania odcinka frontu o powierzchni $100 \times 1000 \text{ m}$ fosgenem przy $c = 3 \text{ g}/\text{m}^3$ ilość 75 mm granatów wynosi

$$N = \frac{100 \times 1000 \times 5 \cdot 3}{700} = 2150.$$

W zależności od warunków strzelania i warunków atmosferycznych ilości, określone za pomocą wzoru, należy zwiększyć.

Ilość pocisków potrzebnych do pokrycia określonej powierzchni „plamami chemicznymi“ określa się równaniem:

$$N = \frac{F}{f} \cdot k,$$

gdzie k — współczynnik krycia terenu = 0,2 — 0,6,

f — powierzchnia pojedynczej plamy w m^2 .

Przykład. Dla wyżej wymienionej powierzchni ilość 75 mm granatów wynosi

$$N = \frac{100 \cdot 1000 \cdot 0,2}{20} = 1000.$$

Działanie pocisku 155 m. Pocisk zawiera 3500 g gazu bojowego. Wielkość obłoku przy gazach lotnych i średniotrwiałych = $10 \times 10 \times 5 = 500 m^3$. Wielkość plamy przy gazach trwałych = $200 m^2$.

Do zagazowania wyżej wymienionej powierzchni przy $c = 3 g/m^2$:

$$N = \frac{100 \times 1000 \cdot 5 \cdot 3}{3500} = 430 \text{ pocisków.}$$

Do pokrycia tej samej powierzchni iperytem

$$N = \frac{100 \times 1000 \times 0,2}{200} = 100 \text{ pocisków.}$$

Działanie bomby lotniczej 50 kg. Bomba zawiera 15 — 25 kg gazu bojowego. Przy większych pociskach obłok gazowy można uważać za równy kuli o promieniu

$$R_{(m)} = \sqrt[3]{\frac{Z_{(kg)} \cdot 3}{0,03 \cdot 4}} = \sqrt[3]{\frac{3Z}{0,012}},$$

ponieważ $Z = \frac{4}{3} \pi r^3 c$.

Wobec tego promień obłoku gazowego bomby 50 kg

$$R = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 15}{0,012}} \cong 15,5 m.$$

Plamę chemiczną również można przedstawić jako powierzchnię koła o promieniu

$$r_{(m)} = \sqrt{\frac{L_{(kg)}}{k_1 \cdot \pi}},$$

ponieważ

$$L = k_1 \cdot \pi r^2,$$

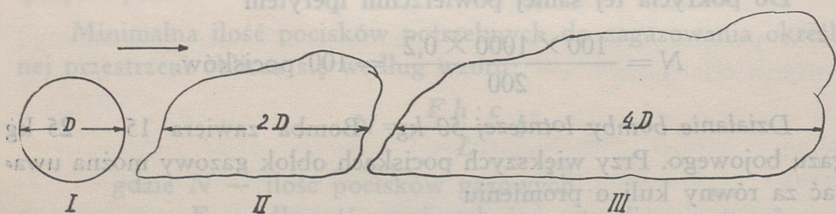
przy czym $k_1 = 0,017$ oznacza przeciętną ilość gazu, niezbędną do pokrycia 1 m^2 .

Promień plamy dla 50 kg bomby

$$R = \sqrt{\frac{15}{0,017 \cdot 3,14}} = 16,8 \text{ m}.$$

Bomby większych kalibrów są celowe tylko przy użyciu gazów lotnych, ponieważ przy gazach ciężkich nieuniknione jest nierównomierne pokrycie terenu, znaczne rozproszenie gazu w powietrzu ze względu na duży ładunek kruszący, zwiększenie zaś powierzchni zagazowanej nie postępuje w stosunku do pierwiastka kwadratowego z ładunku, lecz w stopniu mniejszym.

Należy nadmienić, że kształt kulisty obłoków gazowych wskutek wiatru natychmiast zamienia się na elipsoidalny, przy czym wymiary szerokości i wysokości obłoku w pierwszej chwili zmieniają się nieznacznie (ryc. 203).



Ryc. 203.

Pociski gazowo-odłamkowe zwykle zawierają ładunek gazów trwałych i dodatkowy ładunek materiału wybuchowego, oprócz powodząca. Stosunek ciężaru gazu bojowego do ciężaru ładunku kruszącego waha się w granicach 15 — 30% i więcej.

Osiąga się przy tym zwiększone działanie wybuchowe i odłamkowe pocisków gazowych (ostatnie jest mniej więcej 25% słabsze od

działania odłamkowego granatu). Działanie kruszące ładunku wybuchowego powoduje rozproszenie płynów żrących lub sternitów, które w postaci drobnych kropelek lub zawieszinek tworzą po wybuchu obłok. Obłok ten po rozprężeniu się ostatecznym gazów wybuchowych stopniowo znika wskutek opadania na powierzchnię terenu unoszących się w powietrzu cząsteczek pod wpływem własnego ciężaru. Substancje stałe, rozpylone w powietrzu, mają zdolność przenikania przez filtry masek przeciwgazowych. Zadaniem ich jest po drażnieniu dróg oddechowych i wywołanie kichania, które doprowadza do zrzucenia maski.

1. Charakterystyka ogólna

Ostatnie zapalające powłoki polary na wykładanym dachu
ciężki i utworzenie wysokiej masy w miejscu spadku się
ładunku wybuchowego, powstaje w powietrzu obłok, który
mnoży, dochodzący do minimum, lub jego minimum
Ładunek zapalający składa się z trzech części: z
trzy zasadnicze grupy:

- 1) część samoopalająca w zależności od powłoki;
 - 2) część palna, w zależności od zapalności i czasu spalania;
 - 3) część niepalna, która służy do zapalenia i utrzymania
- Do pierwszej grupy należy ładunek zapalający, który w postaci
masy, może być: ładunek palny
Ładunek (część) stanowi część w postaci
To drugiej grupy należy ładunek zapalający, który w postaci
masy, może być: ładunek zapalający, który w postaci
elektron itp.

Do trzeciej grupy należy ładunek niepalny, w którym skład wchodzi
jako ciała palne: spłaszczony glin, gips, tlenek żelaza, siarczki azotu
i antymonu, siarka, węgiel oraz związki organiczne: szelak, parafina
smoła, guma, kamień, jak również i niepalne, np. trotyl. Do
utrwalenia ciał palnych używa się azotanu barowego i potasowego, nadtlenku
żelaza, sodu, potasu oraz chloranu i azotanu.
Do zapalenia tych mieszanin używa się ładunków ogólnego rodzaju
palnika, którego płomień w razie potrzeby wzmacnia się za pomocą
osobnego zapalnika.

V. DZIAŁANIE ZAPALAJĄCE.

1. Charakterystyka ogólna.

Działanie zapalające pocisków polega na wydzielaniu dużej ilości ciepła i utworzeniu wysokiej temperatury w miejscu spalania się ładunku wewnętrznego pocisku, co powoduje zapalenie się przedmiotu, dotkniętego płomieniem, lub jego stopienie.

Ładunek zapalający składa się z ciał, które się da podzielić na trzy zasadnicze grupy:

- 1) ciała samozapalne w zetknięciu z powietrzem,
- 2) ciała palne, wymagające do zapoczątkowania palenia specjalnego zapалу, oraz
- 3) mieszaniny, składające się z ciał palnych i ciał utleniających, również wymagających zapalu.

Do pierwszej grupy należy fosforek wapnia Ca_3P_2 , fosfor w roztworze CS_2 oraz czysty fosfor biały.

Najbardziej czynny jest fosfor w roztworze CS_2 .

Do drugiej grupy należą wszelkie produkty destylacji smoły, — nie mające zresztą większego znaczenia praktycznego, oraz magnez, elektron itp.

Do trzeciej grupy należą mieszaniny, w których skład wchodzi jako ciała palne: sproszkowany glin, magnez, tlenki żelaza, siarczki arsenu i antymonu, siarka, węgiel oraz związki organiczne: szellak, pak, smoła, guma, parafina itp., jak również i nitrozwiązki, np. trotyl. Do utlenienia ciał palnych używa się azotan barowy i potasowy, nadtlenki ołowiu, baru, sodu, potasu oraz chlorany i nadchlorany.

Do zapalenia tych mieszanin używa się łącznika ogniowego zapalnika, którego płomień w razie potrzeby wzmacnia się za pomocą osobnego zapalu.



Ryc. 204.

Bombardowanie celów bombami zapalającymi.

2. Własności środków zapalających.

Fosfor topi się przy temperaturze 44° . Temperatura wrzenia wynosi 287°C . Na powietrzu świeci się i dymi, tworząc bezwodnik kwasu fosforowego. Przy słabym ogrzaniu zapala się i wydaje oślepiający płomień.

Fosfor biały ma zdolność zapalania się samoczynnego w zetknięciu się z powietrzem. W wodzie jest prawie nierozpuszczalny (0,3 mg na litr), rozpuszcza się w alkoholu i eterze w stosunku 1 : 100, w olejach tłuszczowych — 1 : 80, w parafinie — 1 : 70, jeszcze lepiej w benzolu i terpentynie, najłatwiej zaś w dwusiarczku węgla, który rozpuszcza 20-krotną w stosunku do swego ciężaru ilość fosforu. Fosfor rozpuszczony w CS_2 znajduje się w postaci drobnych cząstek i łatwo się zapala w zetknięciu z powietrzem. W tej postaci używa się fosforu do ładowania pocisków i bomb zapalających, w przeciwnieństwie do pocisków dymnych, zawierających czysty fosfor.

Celem zwiększenia czasu spalania i efektu dymnego stosuje się dodatek ropy naftowej lub nafty.

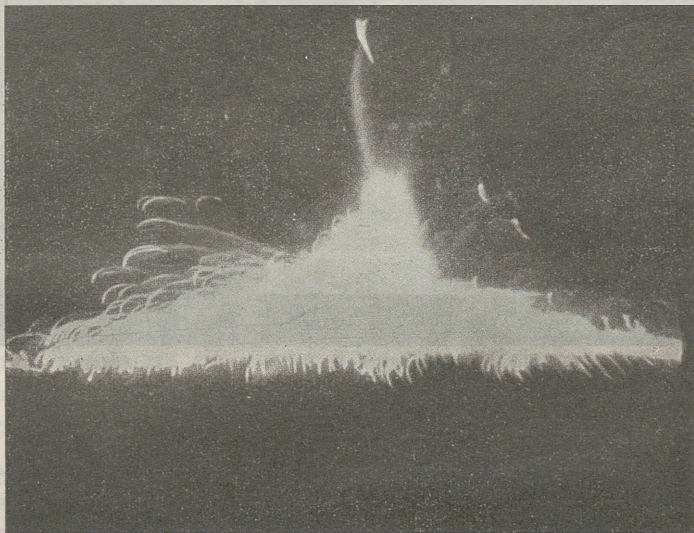
Używa się również fosforu z dodatkowym ładunkiem ropy naftowej i metalicznego sodu celem wywołania zapalenia mieszaniny przy zetknięciu się z wodą. Naftowe mieszaniny fosforu są dosyć trudnozapalne. Jeżeli jednak zmieniać stosunek nafty do fosforu, to można otrzymać mieszaniny, które się zapalają albo natychmiast po zetknięciu się z powietrzem, albo po upływie 0,5 — 2 minut.

Mimo zdolności fosforu do spontanicznego zapalania się w powietrzu, praktyka wykazuje, że może on mieć zastosowanie najwyżej do zapalania łatwopalnych materiałów, jak wodór w balonach, zbiorniki z benzyną, sucha trawa, las oraz cele żywe. Natomiast nie przedstawia żadnej wartości przy zapalaniu: drzewa i innych materiałów podobnych wskutek niskiej temperatury spalania oraz ze względu na to, że tworzący się przy spalaniu bezwodnik kwasu fosforowego jest substancją ogniotrwałą i wobec tego utrudnia spalanie przedmiotu zaatakowanego.

Fosforu używa się nie tylko do nabijania pocisków artyleryjskich i bomb, lecz i do nabijania karabinowych pocisków zapalających. Pocisk karabinowy składa się z płaszcza melchiorowego, ładunku fosforu, tłoczka i rdzenia ołowianego. W chwili strzału lut, zamykający boczny otwór, topi się i fosfor w zetknięciu z powietrzem zaczyna się palić. Przy zwolnieniu ruchu pocisku pod wpływem oporu powietrza tłoczek wyciska fosfor z komory wewnętrznej. Przy uderzeniu o przeszkodę fosfor rozpryskuje się. Jeżeli pocisk przebija przeszkodę i zagłębia się w materiale palnym, to powoduje jego zapalenie.

Termit jest mieszaniną glinu lub magnezu z tlenkami metali o rozmaitym składzie. Zapalenie termitu wymaga osobnych środków o wysokiej temperaturze spalania. W tym celu używa się substancyj

utleniających, przede wszystkim nadtlenków lub azotanów potasu i baru. Przy spalaniu termity albo wcale nie dają gazów, lub dają nieznaczną ilość; spalają się z małą stratą ciepła, są bezpieczne w użyciu i dają możliwość regulowania czasu spalania przez odpowiednie ziarnkowanie i prasowanie mieszaniny. Ryc. 205.



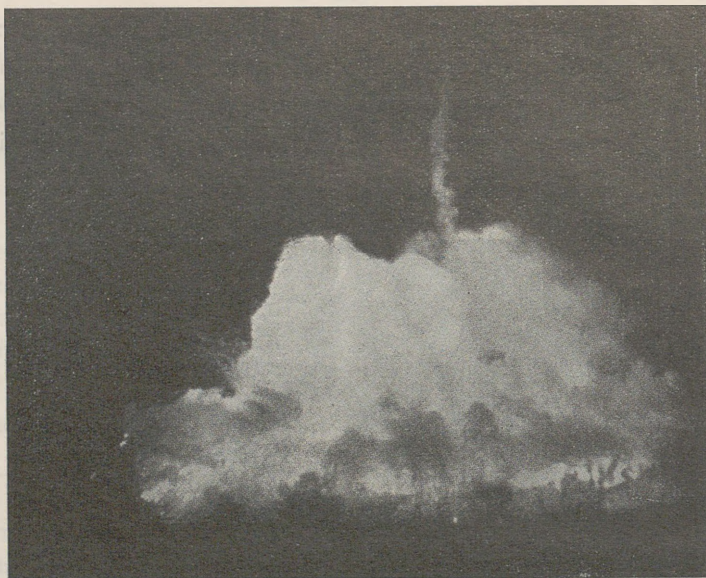
Ryc. 205.

Widok palącego się termitu.

Zapalony termit topi się z dużym wydzielaniem ciepła, przy czym roztopione żelazo spływa na dół, zaś tlenek glinu lub magnezu znajduje się na wierzchu. Temperatura spalania sięga $2000 - 3000^{\circ}\text{C}$. Szybkość spalania jest duża, gdyż 1 kg termitu może się spalić w ciągu kilku sekund. Ryc. 206.

Energia cieplna wskutek znacznej szybkości reakcji szybko się rozprasza. Wobec tego zwykle dodaje się do termitu specjalne ładunki celem przedłużenia czasu trwania ogniska. Najbardziej przydatnym, w tym wypadku, materiałem są ciężkie węglowodory, zgęszczone za pomocą mydeł.

Ładunki termitu w połączeniu ze stałymi olejami dają płomień do 4,5 m wysokości.



Ryc. 206.

Widok palącego się termitu.

Do ładowania pocisków i bomb lotniczych używano termitów o składzie następującym:

- Anglia: 1) 50 cz. zendry żelaznej,
24 cz. glinu,
26 cz. azotanu barowego,
2) 76 cz. tlenku żelaza,
22 cz. glinu,
2 cz. krzemionki.

Do zapalania powyższych termitów używano mieszaniny 50 cz. magnezu i 50 cz. nadchloranu potasowego.

Rosja: 85% tlenków żelaza (FeO i Fe_3O_4),
15% glinu.

Wewnątrz powyższego termitu umieszczano mieszaninę zapalową o składzie:

- 21% Fe_3O_4 ,
14% glinu,
44% azotanu barowego,
6% azotanu potasowego,
12% magnezu lub żelaza,
4% substancji łączących.

Celem zwiększenia działania pocisku, a jednocześnie celem zmniejszenia martwego ciężaru, co jest szczególnie ważne dla lotnictwa, stosowano w bombach zapalających lotniczych skorupy z magnezu lub elektronu¹⁾.

Pociski i bomby, zarówno elektronowe jak i termitowe, wytwarzają bardzo wysoką temperaturę, lecz promień ich działania zapalnego jest nieznaczny, wobec czego nie nadają się one do zapalania celów o większej powierzchni. Natomiast w miejscu swego działania są zdolne nie tylko do zapalenia surowego drzewa, lecz nawet przepalają żelazne i stalowe przykrycia.

3. Bomby zapalające i środki obrony przed ich działaniem.

a) Zasady konstrukcji bomb zapalających.

Bomba zapalająca jest to pocisk używany w lotnictwie, zawierający pewien ładunek energii cieplnej, niezbędnej do utworzenia ogniska w środowisku palnym.

Bomba zapalająca składa się z pięciu zasadniczych części: skorupy, brzechwy, urządzenia zawieszeniowego, ładunku wewnętrznego i zapalnika.

Skorupa służy do przenoszenia ładunku zapalającego do celu. Powinna ona odpowiadać określonym warunkom balistycznym, wytrzymałościowym i konserwacyjnym. Skorupa może posiadać lekką konstrukcję, jeśli bomba nie jest przeznaczona do przebijania mocnych osłon, i konstrukcję mocną, jeśli wymaga się od niej dużej zdolności przebijania. Skorupy słabej konstrukcji, wykonane z blachy lub cien-

¹⁾ Elektronem nazywa się stop, zawierający 88 — 99,5% magnezu oraz drobne ilości *Al*, *Mn*, *Si*, *Cu* i *Zn*. Jego ciężar właściwy wynosi około 1,8. Temperatura topienia 400 — 650°C. Ciepło właściwe 0,24. Własności wytrzymałościowe: elektronu walcowanego: $R_r = 25 - +2$, $A = 18 - 2\%$, granica elastyczności = 9 — 24; elektronu lanego: $R_r = 10 - 21$, $A = 9 - 2\%$, granica elastyczności = 3 — 5.

Skorupa elektronowa wymaga do swego zapalenia odpowiedniej wielkości ładunku termitowego, który tworzy wewnętrzny ładunek bomby, zapalany z kolei za pomocą specjalnego zapalnika. Niedostateczna ilość termitu może spowodować zgaśnięcie bomby. Poza tym bomba elektronowa działa normalnie dopiero w styczności z powietrzem, gdyż z braku tlenu palenie się skorupy elektronowej zanika. Niemcy, chroniąc swoją bombę „Elektron” przed zbyt dużym zagłębieniem się, które może spowodować jej zgaśnięcie, pomimo małego obciążenia przekroju poprzecznego, nadali jej z przodu kształt prostopadłe ściętego cylindra.

Z powyższego wynika, że zasypywanie bomb elektronowych suchym piaskiem lub ziemią stanowi skuteczny środek do ich gaszenia.

kościennych rur, stosuje się przy bombach benzynowych, benzolowych, fosforowych itp., skorupy zaś mocnej konstrukcji, tłoczone ze stali lub toczone z elektronu, przy bombach termitowych i elektro-nowych.

Brzechwa służy do stabilizacji bomby oraz do jej prowadzenia na torze w czasie lotu. Brzechwa składa się z kilku skrzydeł lub posiada kształt cylindryczny. Brzechwę wykonuje się z blachy stalowej lub aluminiowej.

Urządzenie zawieszeniowe służy do zawieszania bomby w wyrzutniku samolotu. Składa się ono z uszka, zmontowanego na skorupie, lub z pierścienia nałożonego na skorupę i zaopatrzonego w uszko.

Ładunek wewnętrzny stanowi niezbędny zasób energii cieplnej w postaci różnorodnych materiałów o wysokich własnościach zapalających, do których należy zaliczyć przede wszystkim węglowodory, mieszaniny ciał palnych z utleniaczami, termity oraz fosfor, magnez, sod i potas.

Obok ładunku zapalającego może istnieć również ładunek wybuchowy, przeznaczony do rozsadzenia skorupy i rozrzucaenia palących się kawałków masy zapalającej.

Zapalnik służy do spowodowania działania bomby. Do bomb zapalających używa się zapalników uderzeniowych, zarówno bezwładnikowych, jak i wtłoczeniowych, oraz czasowych. Zapalniki pierwszego typu są przeznaczone do spowodowania działania bomby po zderzeniu się z przeszkodą, zapalniki zaś czasowe służą do zapalania bomby w czasie lotu.

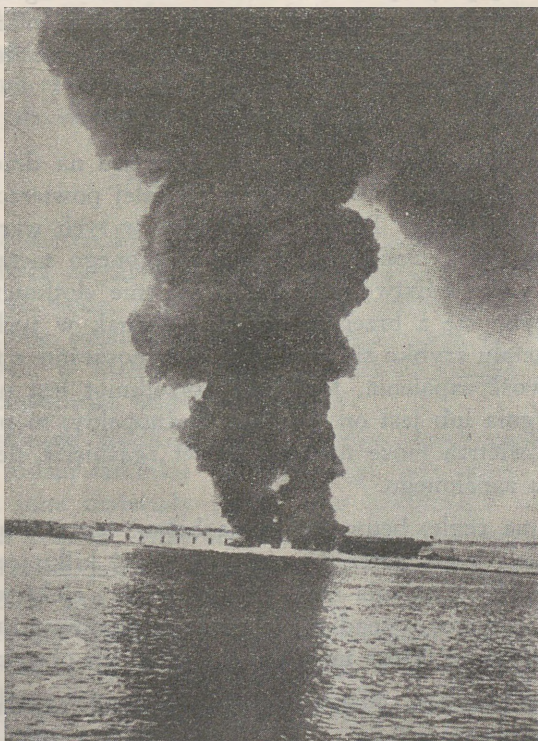
Bomby zapalające dzielą się na dwa typy: bomby ciężkie od 10 kg wzwyż i bomby lekkie, tzw. myszki lotnicze lub strzały, których ciężar nie przekracza 1 kg.

Bomby ciężkie są przeznaczone do bombardowania celów dobrze osłoniętych, lekkie zaś bomby przeznacza się do bombardowania celów odkrytych (składy materiałów palnych) lub osłoniętych dachami słabej konstrukcji.

b) Działanie bomb zapalających.

Bomba zapalająca w chwili działania tworzy jedno lub kilka ognisk. Natężenie spalania bomby a także temperatura powstającego ogniska zależą od rodzaju ładunku wewnętrznego.

Wszelkie płynne węglowodory o niskim punkcie wrzenia, oraz oleje stałe tworzą na ogół ogniska o małym natężeniu i o niskiej stosunkowo temperaturze. W przeciwieństwie do nich termity i elektron mają duże natężenie spalania i bardzo wysoką temperaturę.



Ryc. 207.

Pożar składu olejów mineralnych.

Materiały spalające się przy niskiej temperaturze, nie przekraczającej kilkuset stopni, mogą powodować zapalenie tylko przedmiotów łatwopalnych. Promień ich działania zależy od wielkości płomienia i warunków atmosferycznych, w szczególności wiatru. Działanie niszczące tych środków zapalających w głąb materiału jest nieznaczne, ponieważ przez cały czas spalania się powierzchnia zaatakowana przedmiotu pokryta jest warstwą gazu, którego temperatura nie sięga poza punkt wrzenia danego środka.

Natomiast termit i elektron, wydzielając w jednostce czasu duże ilości ciepła, stwarzają ognisko o wysokiej temperaturze, sięgającej 2000 — 3000° C, dzięki czemu umożliwiają zapalenie nawet trudno-
palnych przedmiotów.

Tworzące się przy spalaniu termitu i elektronu ognisko nie posiada dużego płomienia, wobec czego jego działanie niszczące ogranicza się do powierzchni, pokrytej roztopionym metalem. Działanie zapalające przez promieniowanie nie jest duże i nie przekracza kilkudziesięciu cm przy ładunkach jednokilogramowych.

Jeżeli chodzi o działanie termitu i elektronu na drzewo, to należy stwierdzić, że ulega ono zwęgleniu na całej powierzchni, pokrytej roztopionym metalem. Palenie się drzewa w tych warunkach jest uniemożliwione przez izolującą warstwę stopionego metalu, a także przez tworzącą się warstwę popiołu. Zapalenie dotkniętego przedmiotu rozpoczyna się z brzegów ogniska. Jednak w tych miejscach temperatura metalu szybko się zmniejsza. Równocześnie z tym zmniejsza się możliwość zapalenia. Jeśli dany przedmiot jest uodporniony na działanie ognia lub jest on w ogóle trudnopalny, to przy spokojnym stanie powietrza może nastąpić nawet zgaśnięcie tlejących części przedmiotu zapalonego.

Działając na cegłę, beton lub żelazobeton, termit i elektron powodują kruszenie tych materiałów na głębokość kilku centymetrów. Wobec tego skutki działania bomb termitowych i elektronowych nie są groźne i w żadnym wypadku nie mogą powodować takiego osłabienia ścian budynku, które mogłoby wywołać ich obruszenie.

Celem powiększenia działania promienia bomb zapalających stosuje się sposoby następujące:

a) umieszczenie wewnątrz bomby ładunku wybuchowego, mającego na celu rozerwanie bomby i rozrzucenie palącego się materiału,

b) zaopatrzenie bomb termitowych i elektronowych w dodatkowy ładunek stałego oleju, który w chwili działania bomby stapia się i rozlewa na znacznej powierzchni.

Pierwszy sposób może być stosowany z powodzeniem przy płynnych materiałach zapalających. Przy materiałach stałych, szczególnie zaś przy termitach, otrzymuje się zbytne rozproszenie ładunku, przy czym znaczna ilość rozrzuconych kawałków leci niezapalona, palące się zaś kawałki pod wpływem powietrza oziębiają się i gasną zanim spadną na przedmiot atakowany.

Drugi sposób może być stosowany tylko przy bombach termitych, o stosunkowo dużym ciężarze (10 — 15 kg), przeznaczonych do przebijania stropów lub pokładów statków. W tym wypadku ciężka skorupa stalowa pochłania dużo ciepła, wobec czego obniża się wartość kalorymetryczna ładunku termitowego, działanie zaś oleju nie wyrównywa tej straty.

Skuteczne bombardowanie osiąga się przez rzucenie na cel dużej ilości bomb małych, zdolnych do tworzenia całego szeregu ognisk, niebezpiecznych dla przedmiotów łatwopalnych.

c) Środki obrony czynnej.

Gaszenie materiałów, używanych do ładowania bomb zapalających, za pomocą zwykłych środków przeciwpożarowych, do których należy zaliczyć wodę, pianę saponinową, czterochlorek węgla, dwutlenek węgla oraz rozmaite materiały sproszkowane, nie daje wyników zadawalających, w niektórych zaś wypadkach osiąga skutek wręcz przeciwny, powodując wzmożenie ognia.

Uniwersalnym środkiem do gaszenia bomb zapalających bez względu na rodzaj ładunku wewnętrznego jest *suchy piasek*, działają również inne materiały sypkie, nie zawierające wody: *cement*, *ziemia*, *opilki żeliwne*, *minerały* oraz materiały niepalne, posiadające dużą powierzchnię, jak *wiórki stalowe* ze względu na przewodnictwo, które powoduje znaczny odpływ ciepła. Gaszenie piaskiem termitu powoduje jedynie umiejscowienie pożaru, gdyż termit nie wymaga do swego spalania się tlenu powietrznego. Pod warstwą piasku może się nadal odbywać reakcja spalania termitu, powodująca zniszczenie materiału palnego w głąb.

Woda zasadniczo nie powinna być używana do gaszenia bomb zapalających. W zetknięciu się strumienia wodnego z termitem tworzy się gaz piorunujący, powodujący wzmożenie reakcji. Po spaleniu się termitu zlewanie roztopionego metalu wodą może spowodować osłabienie reakcji na powierzchni dostępnej dla wody, jednak pod szlaką termit nadal zachowuje działanie zapalające.

W zetknięciu się z topiącym się elektronem woda, podobnie jak przy termicie, ulega rozpadnięciu się na tlen i wodór, wskutek czego podsyca się palenie i tworzy się gaz piorunujący, niebezpieczny przy gaszeniu pożaru.

Przy zetknięciu się wody z metalicznym sodem lub potasem powstaje bardzo niebezpieczna reakcja wybuchowa, która powoduje

rozrzut palącego się materiału oraz powiększenie wymiarów ogniska pierwotnego. Odrzucone cząsteczki mogą spowodować na znacznej odległości niebezpieczne oparzenia.

Przez zlewanie wodą fosforu można spowodować zwiększenie jego działania zapalającego. Przy spalaniu się ciekły fosfor znajdujący się pod wodą rozpryskuje się i powoduje tworzenie całego szeregu ognisk mniejszych.

Piana wodna, tworząca się przez dodawanie do wody substancji chemicznych, posiada działanie podobne do czystej wody, powodując w niektórych wypadkach gaszenie termitu i fosforu oraz częściowe tłumienie ognia.

Czterochlorek węgla („tetra“) przy gaszeniu termitu w zetknięciu się z roztopionym żelazem tworzy fosgen, w postaci gęstego dymu o niebieskoczarnym zabarwieniu, który jest niebezpieczny dla płuc.

W zetknięciu się z metalicznym sodem lub potasem czterochlorek węgla posiada również niebezpieczne działanie jak woda.

Z palącym się fosforem czterochlorek węgla wchodzi w reakcję, powodując utworzenie się gęstego, czarnego dymu, bez żadnego wpływu na dalsze spalanie się fosforu.

Dwutlenek węgla mimo swego niezmiernie wydajnego działania oziębiającego nie posiada wpływu na przebieg spalania się termitu i elektronu.

Substancje sproszkowane, używane w „suchych“ aparatach do gaszenia pożaru również nie posiadają skutecznego działania, jeśli chodzi o gaszenie bomb termitowych, elektronowych lub ładowanych sodem bądź potasem metalicznym.

Plewy jęczmienne jako środek przeciwpożarowy są wymienione po raz pierwszy w literaturze fachowej przez Rumpfa w jego książce: „Brandbomben“. Powyższy środek jest zalecany do gaszenia metalicznego sodu, potasu i fosforu przez zasypanie ogniska grubą warstwą plew. Zwęglone plewy tworzą szczelną skorupę, uniemożliwiającą dalsze palenie się ciał wyżej wymienionych. Po zasypaniu ogniska plewami do dalszego gaszenia można używać suchego piasku. Plewy jęczmienne podobno nie palą się, również w mieszaninie z ciekłym fosforem, lecz ulegają zwęgleniu z silnym wydzielaniem duszącego dymu.

Doświadczenia jednak wykazują zupełną nieprzydatność plew jęczmiennych do gaszenia pożaru.

Usuwanie ognisk, które się tworzą przy spalaniu się bomb termitowych i elektronowych, możliwe jest za pomocą podbierania palącej się masy na łopatę żelazną o 3—4 mm grubości brzeszczota i wrzucania do skrzyni z suchym piaskiem. Pracujący przy tym powinni mieć na sobie ubranie skórzane lub z innego materiału, odpornego na ogień.

Należy nadmienić, że promieniowanie palących się bomb, nie wyłączając termitowych i elektronowych, z racji ograniczonej ilości masy zapalającej, nie jest zbyt duże i w każdym razie umożliwia gaszenie ogniska z odległości 3 — 4 kroków.

W końcu należy stwierdzić, że woda pozostaje nadal najważniejszym *środkiem gaszenia pożaru*, spowodowanego przez działanie bomb zapalających. Biorąc pod uwagę, że całkowite spalanie bomby nie przekracza zwykle kilku minut czasu, można przypuszczać, że straż ogniowa nigdy nie będzie miała do czynienia z gaszeniem samych bomb zapalających, lecz tylko z pożarem przez nie wywołanym. Gaszenie bomb zapalających w pierwszej chwili będzie należało do ogółu ludności.

d) Środki obrony biernej.

Obrona bierna polega na zabezpieczeniu budynków, narażonych na bombardowanie, przed przebijającym działaniem bomb zapalających za pomocą dachów i stropów odpowiedniej konstrukcji, oraz na tworzeniu warunków niekorzystnych dla działania bomb wyżej wymienionych.

Używane dotychczas w wojskach europejskich bomby zapalające nie posiadają dużego działania przebijającego. Na przykład 1-kg bomba niemiecka „Elektron“ według obliczeń powinna przebić strop drewniany grubości około 20 cm. Dotychczasowe konstrukcje bomb zapalających w ogóle nie przewidują bombardowania celów dobrze osłoniętych. Uważano nawet za szkodliwe duże zagłębienie się bomby w przeszkodzie. W tym celu bomba 1-kg. niem. „Elektron“ nie posiada ostrołuku przedniego i ma dodatkowy pierścień dla zwiększenia oporu brzošwy.

Dotychczas przyjmuje się, że dachy o dużym kącie pochylenia, pokryte blachą 10-mm grubości lub płytami żelazobetonu 70 mm grubości dostatecznie zabezpieczają budynki przed działaniem bomb zapalających.

W przyszłości należy się spodziewać stosowania zarówno bomb lekkich (do celów lekko osłoniętych) jak i bomb ciężkich o wadze około 10 kg, zdolnych do przebijania dachów i stropów mocnej konstrukcji. Bomba 10 kg przy największej szybkości spadania może przebić warstwę: drzewa 75 cm grubości, betonu 15 cm grubości, cegły 30 cm grubości.

Proponowane przez niektórych autorów zasypywanie stropów piaskiem może być skuteczne przy grubości warstwy 30 — 35 cm jedynie dla bomb lekkich do 1 kg bądź cięższych, lecz o skorupach słabej konstrukcji (bomby benzynowe).

Przy bombach 10-kg o skorupie wytrzymałej na uderzenie, obrona bierna w postaci odpowiedniej konstrukcji dachów i stropów wydaje się wątpliwa. W tym wypadku obrona bierna sprowadzałaby się jedynie do uodpornienia na ogień przedmiotów palnych, znajdujących się w budynkach, za pomocą środków ogniotrwałych, do których należy w pierwszym rzędzie zaliczyć: szkło wodne, siarczany potasu, sodu, miedzi, cynku oraz chlorki wapnia, magnezu, cynku, amonu, boraks, kwas borny, węglan amonu, fosforan amonu itp. (patrz Enzyklopädie der technischen Chemie von Ullmann, T. 5. str. 389).

Niektórych z nich używa się do malowania, innych zaś do impregnowania przedmiotów wrażliwych na ogień.

Wreszcie, budynki drewniane oraz drewniane przepierzenia w mieszkaniach zabezpiecza się od ognia za pomocą zwykłej pracy murarskiej.

VI. DZIAŁANIE DYMNE.

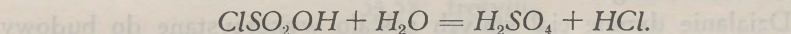
1. Charakterystyka ogólna.

Działanie dymne polega na utworzeniu w powietrzu obłoku przesłaniającego, który się składa bądź z drobnych cząsteczek rozpylonego płynu, bądź z drobnych zawieszinek stałych.

W tym celu używa się zarówno płynnych, jak i stałych materiałów dymnych.

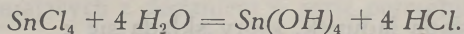
Płynne materiały dymne są to przeważnie kwasy lub bezwodniki kwasów, które po rozproszeniu dają obłok przesłaniający białego koloru. Łączą się one z parą wodną znajdującą się w powietrzu i tworzą kropelki kwasów. Do tej grupy należą następujące materiały: SO_3 , oleum (rozczyzn 20 — 30% SO_3 w H_2SO_4 stęż.) $SnCl_4$ i $ClSO_2OH$.

Działanie kwasu chlorosulfonowego polega na reakcji z wodą w powietrzu, przy czym rozkłada się on na kwas siarkowy i solny:

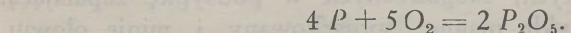


Drobne kropelki rozczyznów tych kwasów powodują utworzenie się obłoku.

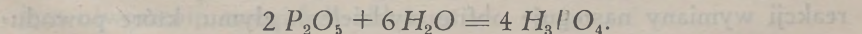
Czterochlorek cyny $SnCl_4$ dymi na powietrzu wskutek rozłożenia go przez wodę na wodorotlenek cyny i kwas solny:



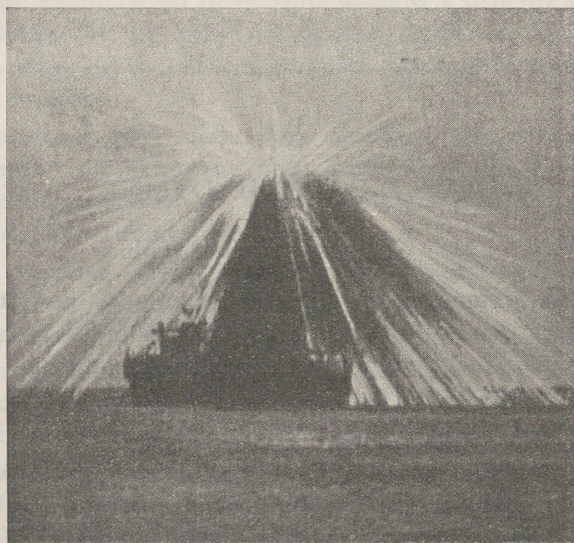
Do grupy stałych substancyj dymnych należy fosfor biały, który posiada własność zapalania się w powietrzu już w temperaturze 40° , przy czym łączy się z tlenem powietrza na pięciotlenek fosforu P_2O_5 , który jest bezwodnikiem kwasu fosforowego.



Cząsteczki kwasu fosforowego łączą się następnie z parą powietrzną.



Trwałość obłoku dymnego można przyrównać do trwałości obłoku gazów średniolotnych.



Ryc. 208.

Rozprysk bomby fosforowej.

Działanie dymne również posiadają gazy bojowe, szczególnie sternity, których obłok składa się z zawieszinek rozpylonego w powietrzu ciała stałego.

Działanie dymne ciał stałych zostało wykorzystane do budowy pocisków smugowych i rakiet. Działanie tych ostatnich polega na zdolności wytwarzania smugi dymu o różnym zabarwieniu wskutek spalania się ładunku wewnętrznego.

2. Pocisk smugowy karabinowy.

Pocisk posiada ładunek, który składa się z

azotanu barowego	55%
magnezu	35%
szellaku	10%

lub mieszanin podobnych, zaopatrzonych w podsypkę zapalającą. Podsypka zawiera zwykle magnez sproszkowany i minę ołowiu.

W chwili strzału gazy prochowe zapalają mieszaninę zapalającą, która z kolei zapala mieszaninę smugową. Przy spalaniu wskutek reakcji wymiany następuje obfite wydzielenie dymu, które powodu-

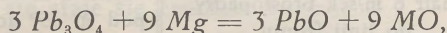
je powstanie smugi około 600 m długości. Na torze pociski smugowe mają również działanie zapalające przy przebijaniu balonów i zbiorników z benzyną.

3. Smugowe pociski artyleryjskie.

Pociski artyleryjskie francuskie posiadają ładunek dymny składający się przeważnie z 90% minii ołowiu Pb_3O_4 i 10% magnezu Mg , który zapala się za pomocą mieszaniny składającej się z

384 cz.	KNO_3 ,
80 „	siarki,
112 „	antymonu,
16 „	szellaku.

Zapalenie następuje w chwili działania zapalnika zaopatrzonego w prochowy łącznik ogniowy. Następuje reakcja wymiany



powodująca powstanie smugi.

Pociski smugowe angielskie zawierały magnezową mieszaninę dymną, którą umieszczano wewnątrz ładunku, składającego się z

40%	KNO_3
23%	S
20%	C
17%	Mg .

Natomiast pociski smugowe rosyjskie były nabite mieszaniną:

34,5%	trotylu
7,5%	$KClO_3$
58%	Al .

4. Rakiety.

Rakiety dymne zawierają ładunek, który się składa z ciał palnych i ciał utleniających z dodaniem w razie potrzeby barwników, np.

35%	saletry potasowej,
53%	tróchlorku arsenu,
12%	arsenu metalicznego
lub 68%	KNO_3
6%	S
26%	Al .

Mieszanina zapala się za pomocą prochowego ładunku miotającego gwiazdy raketowej. Przy spalaniu następuje reakcja, powodująca utworzenie smugi lub obłoku.

Rakiety dymne czerwone zawierały: rodaminy 12 części, kwasu mlekowego 10 i chloranu potasowego 9.

Rakiety dymne żółte zawierały: saletry 1 część, siarki 1 i realgaru 1.

Pocisków smugowych używa się do oznaczenia toru pocisku, celem ułatwienia wstrzeliwania się.

Pocisków dymnych używa się do oślepienia przeciwnika i do wytwarzania zasłony dymnej.

Wielkość i trwanie obłoku lub zasłony dymnej zależy od ilości i rodzaju substancji dymnej oraz od warunków atmosferycznych.

Według danych amerykańskich ilość pocisków fosforowych potrzebna do utworzenia zasłony dymnej na froncie 1.000 m i utrzymania jej w ciągu 30 minut wynosi:

Kaliber	Wiatr 6 m/sec prostopadły do linii frontu			Wiatr 6 m/sec pod $\angle 45^\circ$ do linii frontu			Wiatr 6 m/sec równoległy do linii frontu		
	Ilość dział N_1	Ilość pocisków do utworzenia zasłony N_2	Ilość pocisków do utrzymania zasłony N_3	N_1	N_2	N_3	N_1	N_2	N_3
75 mm	59	472	3422	11	88	638	7	60	453
155 mm	25	50	362	4	9	65	3	6	44

W razie słonecznej pogody lub szybkości wiatru > 6 m/sec. ilość pocisków należy zwiększyć dwukrotnie.



Ryc. 209.

Zasłona dymna.

VII. DZIAŁANIE ŚWIETLNE.

1. Charakterystyka ogólna.

Do oświetlenia przedpola lub rozpoznania terenu używa się rakiet świetlnych i pocisków oświetlających.

Działanie świetlne amunicji polega na spalaniu się ładunku, który dzięki zarzeniu się staje się źródłem światła.

Ładunek składa się ze sproszkowanych metali i ciał utleniających. Temperatura spalania sięga ponad 2.000°, dzięki czemu cząsteczki metali zostają rozżarzone do białości.

Skład chemiczny ładunku 75 mm pocisku oświetlającego: azotan barowy, magnez sproszkowany i olej lniany. Mieszaninę zapala się za pomocą pasztylki z prochu czarnego.

Podczas wielkiej wojny używano i innych mieszanin, np.

36% $Ba(NO_3)_2$		lub 20% NH_4NO_3
30% Mg		8% trotylu
4% szellaku		72% Al .

W rakietach świetlnych używano następujących mieszanin:

Składniki	Kolor		
	biały	czerwony	zielony
Azotan barowy	3,00		
Glin sproszkowany	0,8		
„ w ziarnkach	0,1		
Chloran potasu		0,6	
„ strontu		0,2	
Kwas mlekowy		0,05	
Chloran barowy			1,00
Olej rycynowy	0,06		
Szellak		0,064	
Żywica akaroidowa			0,4
Sadza		0,035	

Chcąc określić zdolność świetlną pocisku oświetlającego, mierzy się w jednostkach energii ilość energii wysyłanej przez źródło światła w kierunku promieni kuli w jednostce czasu. Jest to tak zwana dzielność (kulista) źródła.

Od dzielności źródła zależy natężenie światła. Natężeniem nazywamy ilość energii świetlnej przepływającej przez jednostkę pola w jednostce czasu na danej odległości. Natężenie światła zależy od siły źródła, od jego dzielności oraz od odległości od źródła światła. Energia promienista światła rozchodzi się po liniach prostych we wszystkich kierunkach. Wobec tego natężenie światła musi się zmniejszać w miarę zwiększania się odległości od źródła światła. Jeżeli przez i oznaczymy całkowitą ilość energii świetlnej, wysyłanej w sekundzie czasu przez źródło światła, promieniujące w kierunku promieni kuli, to przez powierzchnię każdej kuli, zakreślonej dookoła źródła promieniem światła, przechodzi w każdej sekundzie jednakowa ilość energii. Na jednostkę pola kuli wypada ilość energii

$$i = \frac{I}{4 \pi r^2}.$$

Jest to właśnie natężenie światła i w odległości r od źródła światła.

Z powyższego równania widzimy, że natężenie maleje ze wzrostem kwadratu odległości od źródła.

2. Jasność światła.

Za jednostkę dzielności czyli siły źródła światła przyjmuje się dzielność świecy Hefnera-Altenecka, która oznacza się stałością płomienia. Jest to płomień lampy spalającej czysty octan amyłowy za pomocą knota bawelnianego, który wypełnia rurkę metalową 8 mm grubości. Wysokość płomienia 40 mm.

Dzielność innych źródeł jest w przybliżeniu następująca:

1 odkryty palnik gazowy około 10 świec Hefnera				
				małych
1 palnik Auera	„ 60 „	„	„	
1 żarówka	„ 16—100 „	„	„	i więcej
1 płomień lampy naftowej	„ 15— 20 „	„	„	
1 lampa łukowa	„ 2000 „	„	„	
1 lampa żarowa wieloświecowa	„ 6000 „	„	„	

Oświetlenie, jakie daje jedna świeca normalna w odległości jednego metra na 1 cm^2 powierzchni prostopadłej do kierunku snopu światła, jest przyjęte jako jednostka oświetlenia (świeca metryczna $\acute{S}M = 1 \text{ lumen/cm}^2$) czyli jasności.

Jasność zmniejsza się w miarę zwiększenia odległości a także w zależności od kąta, który tworzy płaszczyzna oświetlona z płaszczyzną prostopadłą do kierunku promieni świetlnych. Największa jasność osiąga się, gdy snop światła trafia do powierzchni prostopadłej (Ryc. 210).

Jeżeli płaszczyzna AB jest prostopadła do promienia, to całkowity snop światła pada na tę płaszczyznę, natomiast jeżeli przechylimy ją o kąt α , żeby się znalazła w pozycji AB^1 , to zobaczymy, że pada na nią snop światła mniejszy.

Wobec tego

$$i = I \cdot \cos \alpha.$$

Jasność światła zmniejsza się ze zmniejszeniem natężenia światła, czyli odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości od źródła światła (ryc. 211).

Jeżeli źródło światła posiada dzielność $= 1$ świecy normalnej, to w odległości 1 m na 1 cm^2 jasność światła równa się 1 świecy ($\acute{S}M$). W odległości 2, 3, 4, 5 r m ten sam snop światła przy-
pada na płaszczyznę odpowiednio równą $2^2, 3^2, 4^2, 5 \dots r^2$ m. Wobec tego na 1 cm^2 w odległości r pada ilość światła.

$$i = \frac{I}{r^2} (\acute{S}M).$$

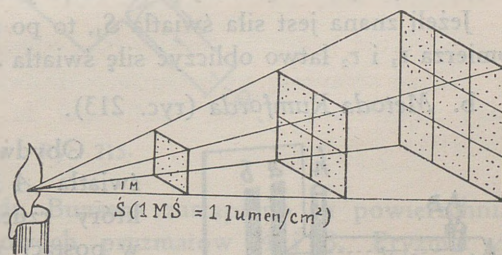
Jeżeli powierzchnia znajduje się w odległości r od źródła światła i tworzy z płaszczyzną prostopadłą do kierunku promieni kąt α , to przez połączenie wzorów poprzednich otrzymamy wzór ogólny

$$i = \frac{I}{r^2} \cos \alpha (\acute{S}M).$$



$AB = AB^1$.

Ryc. 210.



Ryc. 211.

3. Sposoby mierzenia siły światła.

Mierzenie siły światła odbywa się przez porównanie źródła badanego ze źródłem światła przyjętym za jednostkę. Pomiaru wykonywa się za pomocą światłomierzy (fotometrów).

a. Metoda Ritchie (ryc. 212).



Ryc. 212.

W skrzynce przez otwór u góry obserwuje się pasek białego papieru ABC , który pokrywa boczne powierzchnie pryzmatu. Jedną z tych powierzchni oświetla się źródłem światła S_1 , drugą zaś — źródłem S_2 .

Przesuwając źródła światła, osiąga się w końcu jednakowe oświetlenie obydwóch powierzchni, to znaczy, że siła oświetlenia x = siła oświetlenia y , czyli

$$\frac{S_1}{r_1^2} = \frac{S_2}{r_2^2},$$

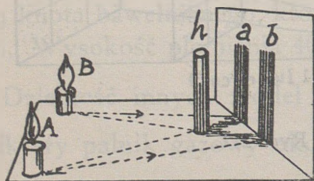
skąd

$$S_1 : S_2 = r_1^2 : r_2^2$$

tj. siły źródeł światła mają się do siebie, jak kwadraty ich odległości od płaszczyzny, oświetlanej przez nie z jednakowym natężeniem.

Jeżeli znana jest siła światła S_1 , to po ustaleniu za pomocą światłomierza r_1 i r_2 łatwo obliczyć siłę światła S_2 .

b. Metoda Rumforda (ryc. 213).



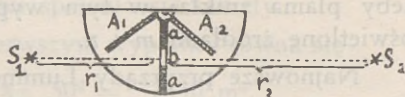
Ryc. 213.

Obydwa porównywane źródła światła A i B oświetlają słupek n , który rzuca na ekran dwa cienie, w postaci pasów a i b . Cienie te nie są zupełnie ciemne, ponieważ pas a jest oświetlony źródłem światła B , zaś pas b — źródłem A . Przesuwając obydwie źródła, dopóki cienie a i b nie zbliżą się do siebie i dopóki ich oświetlenie nie będzie jednakowe, otrzymamy znów równanie

$$S_1 : S_2 = r_1^2 : r_2^2.$$

c. *Metoda Bunsena* (ryc. 214).

Papierowy ekran a posiada w środku tłustą plamę b , która czyni papier przeźroczystym. Plama ta jest oświetlona z obydwu stron przez źródła S_1 i S_2 o niejednakowej sile światła, dzięki czemu i oświetlenie plamy nie jest jednakowe. Od strony mocniej oświetlonej plama wydaje się ciemną na tle jasnym, z drugiej zaś strony — na odwrót.

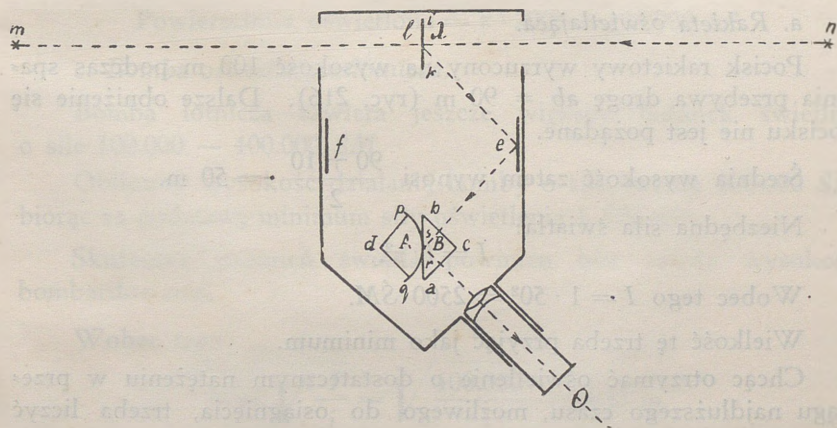


Ryc. 214.

Jedno źródło światła przesuwamy się dopóty, dopóki w obydwóch lustrach A_1 i A_2 nie otrzyma się jednakowego odbicia ekranu.

d. *Metoda Lummera i Brodhuna*.

Najpraktyczniejszy i dający rękojmię dokładności jest fotometr Lummera i Brodhuna. Ryc. 215 przedstawia schemat przyrządu.



Ryc. 215.

Tłustą plamą przyrządu Bunsena zastąpiono tu powierzchnią stykających się ze sobą dwóch pryzmatów A i B . Pryzmat A posiada ścianę ab ze szlifowaną częścią sr . Przy zetknięciu się pryzmatów w części sr nie pozostaje żadna warstwa powietrza. Nieprzezroczysta płytka ik , biała po obu stronach l i $λ$ jest oświetlona porównywanymi źródłami światła m i n ; lustro f i e odbijają światło rozproszone od stron l i $λ$ w kierunku prostopadłym do przyprostokątnych dp i bc . Oko obserwatora widzi w o przez lupę, nastawioną na powierzchnię ba , na całej powierzchni z wyjątkiem części sr światło idące od lustro e i mające na ba zupełne odbicie

wewnętrzne. Na tym tle, którego jasność zależy od stopnia oświetlenia strony λ źródłem n , widzi oko na części sr światło odbite od f i przechodzące przez sr , to znaczy plamę, której jasność zależy od oświetlenia strony l źródłem m . Źródła światła ustawia się tak, żeby plama znikła; w tym wypadku strony l i λ są jednakowo oświetlone źródłami m i n .

Najnowsze przyrządy Lummera i Brodhuna różnią się tym, że przyrząd ustawia się nie na znikanie plamy, lecz na jednakowy stopień wydzielenia dwóch części na tle dwóch innych, które otaczają te pierwsze.

4. Obliczenie siły światła pocisków oświetlających.

Ilość światła niezbędna do oświetlenia terenu powinna wynosić 1 $\acute{S}M$. Jako minimum można przyjąć 0,5 $\acute{S}M$ ze względu na stosunkowo krótki czas oświetlenia.

a. Rakietą oświetlającą.

Pocisk raketowy wyrzucony na wysokość 100 m podczas spalania przebywa drogę $ab = 90$ m (ryc. 216). Dalsze obniżenie się pocisku nie jest pożądane.

Średnia wysokość zatem wynosi $\frac{90 + 10}{2} = 50$ m.

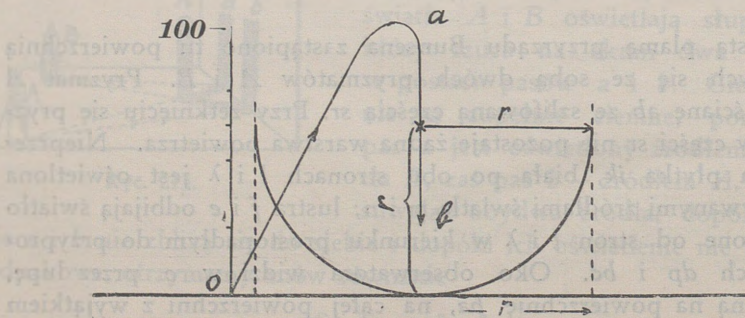
Niezbędna siła światła:

$$I = i \cdot r^2.$$

Wobec tego $I = 1 \cdot 50^2 = 2500$ $\acute{S}M$.

Wielkość tę trzeba przyjąć jako minimum.

Chcąc otrzymać oświetlenie o dostatecznym natężeniu w przeciągu najdłuższego czasu, możliwego do osiągnięcia, trzeba liczyć $r = 100$.



Ryc. 216.

Wtedy otrzymamy

$$I = 1 \cdot 100^2 = 10'000 \text{ } \acute{S}M.$$

Oświetloną powierzchnię można przyjąć za równą πr^2 , przy czym $r = h$ maksymalnej wysokości spalania się rakiety.

Oświetlona powierzchnia w pierwszym wypadku równa się

$$\pi \cdot 50^2 = 7850 \text{ m}^2,$$

$$\text{w drugim wypadku } \pi \cdot 100^2 = 31'400 \text{ m}^2.$$

b. *Pocisk oświetlający artyleryjski.*

Ładunek oświetlający pocisku ze względu na większą zawartość materiału posiada zwykle większą siłę światła, dzięki czemu promień oświetlonej powierzchni kulistej można zwiększyć do 100 m. Wtedy niezbędna siła światła

$$I = i \cdot 200^2 = 40000 \text{ } \acute{S}M.$$

$$\text{Powierzchnia oświetlona} = \pi \cdot 200^2 = 125'000 \text{ m}^2.$$

c. *Bomba oświetlająca lotnicza.*

Bomba lotnicza zawiera jeszcze większy ładunek świetlny o sile 100.000 — 400.000 $\acute{S}M$.

Obliczmy wysokość działania bomby o sile światła 400.000 $\acute{S}M$, biorąc za podstawę minimum siły oświetlenia 1 $\acute{S}M/cm^2$.

Skuteczny promień światła powinien być równy wysokości bombardowania.

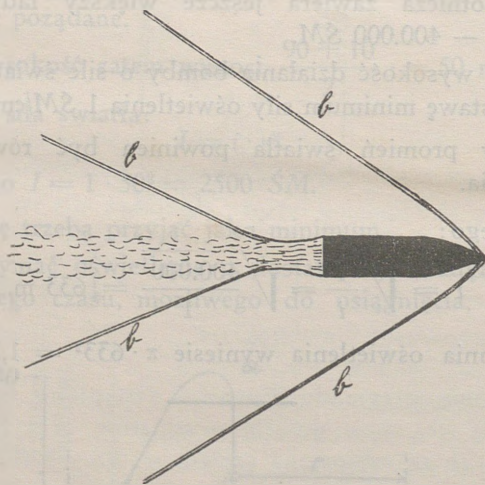
Wobec tego:

$$r = \sqrt{\frac{I}{i}} = \sqrt{\frac{400.000}{1}} = \frac{2}{5} 633 \text{ m.}$$

$$\text{Powierzchnia oświetlenia wyniesie } \pi \cdot 633^2 = 1,25 \text{ km}^2.$$

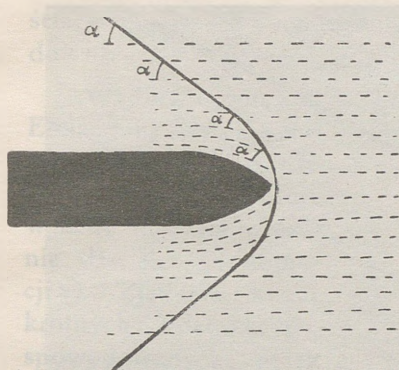
VIII. DZIAŁANIE DŹWIĘKOWE.

Pocisk, poruszający się w powietrzu, ciśnie na warstwy, znajdujące się na jego torze, wskutek czego tworzy się fala zgniotu, tzw. fala balistyczna. Za pociskiem natomiast powstaje przestrzeń, wypełniona wirami. Badania Charbonniera, Jacoba, Cranza i innych ustaliły istnienie nawet kilku fal balistycznych, występujących jednocześnie w czasie lotu jednego pocisku, w zależności od jego konstrukcji (patrz ryc. 217 — 221, *b* — fala balistyczna).

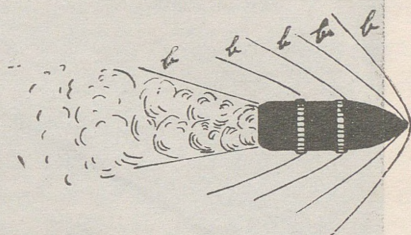


Ryc. 217.

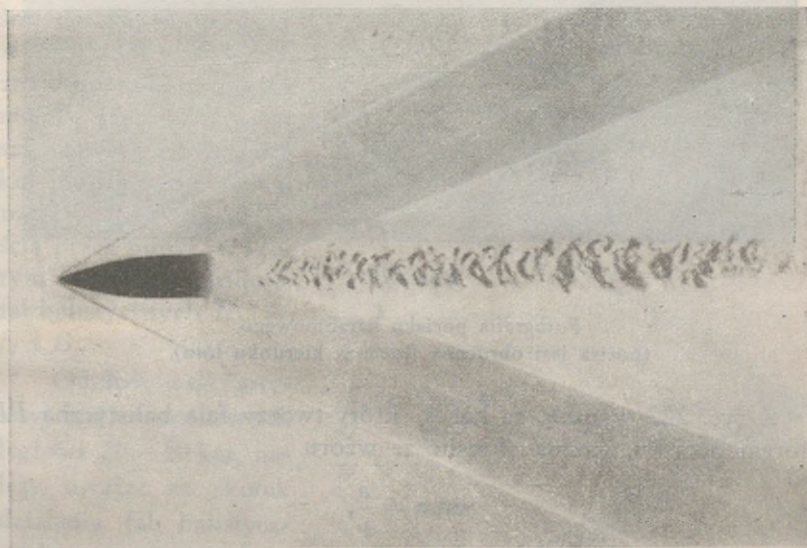
Ruch pocisku powoduje zmianę ciśnienia, wskutek czego każdy punkt przestrzeni znajdujący się na torze pocisku, zgodnie z teorią Huyghensa, staje się źródłem i środkiem fali kulistej. Fala kulista rozprzestrzenia się w danym środowisku z szybkością zależną od rodzaju tego środowiska, jego ciężaru właściwego i temperatury. Jeżeli ta szybkość jest



Ryc. 218.



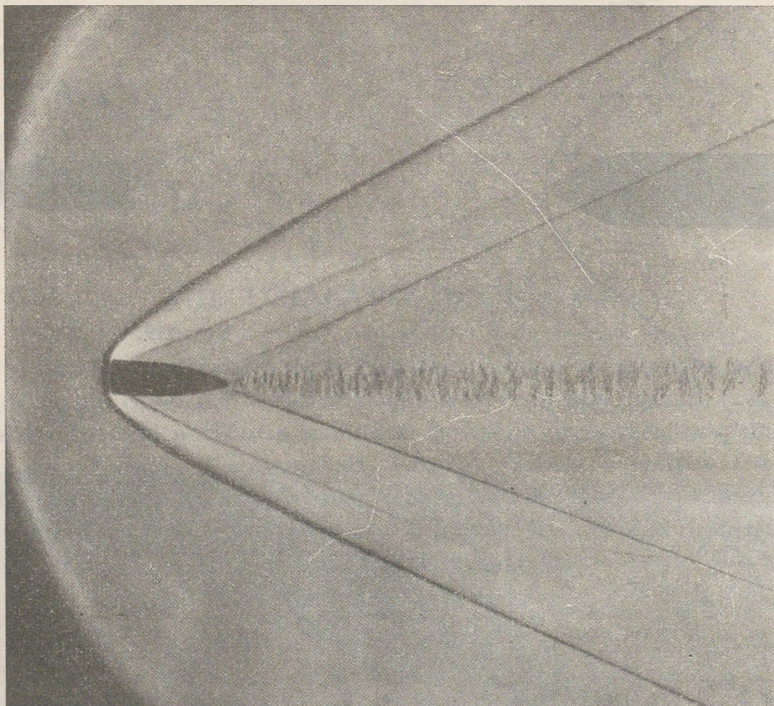
Ryc. 219.



Ryc. 220.

Fotografia pocisku karabinowego.

mniejsza od szybkości względnej środowiska w stosunku do źródła fali (ryc. 222 — źródła $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ i t. d.), powstaje fala wypadkowa, styczna do fal kulistych, biorących początek od poszczególnych źródeł, która właśnie jest falą balistyczną.



Ryc. 221.

Fotografia pocisku karabinowego
(pocisk jest obrócony dnem w kierunku lotu).

Z ryc. 222 wynika, że kąt α , który tworzy fala balistyczna PD z torem pocisku, można określić ze wzoru

$$\sin \alpha = \frac{a}{v},$$

gdzie a — szybkość dźwięku w danym środowisku (S_2D)

v — szybkość względna pocisku w stosunku do środowiska (S_2P).

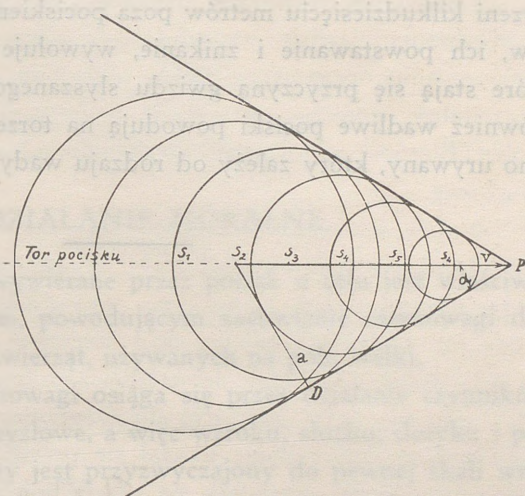
Dzięki odpychaniu na boki warstw powietrza, znajdujących się w styczności z pociskiem, fala balistyczna przyjmuje kształt hiperboliczny (ryc. 223).

Przy szybkościach pocisku większych od szybkości dźwięku fala balistyczna według Devégo wyprzedza pocisk, przy szybko-

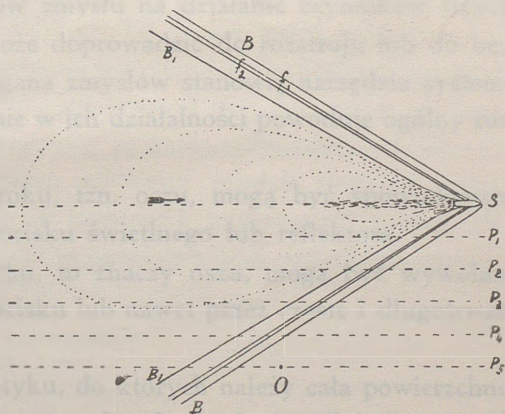
ściach mniejszych — pozostaje za pociskiem. Przechodząc przez środowisko nas otaczające, powoduje nagłą zmianę ciśnienia.

Według profesora Esclangona wszelka nagła zmiana ciśnienia w powietrzu wywołuje w uchu ludzkim wrażenie dźwięku («detonacji»). Zjawisko kilkakrotnych «detonacji», spowodowanych przez przelatujący w powietrzu pocisk zanim wybuchnie u celu, tłumaczy się właśnie działaniem fali balistycznej. Obserwator O , znajdujący się na poziomie P_5 (ryc. 223) usłyszy cztery następujące kolejno po sobie «detonacje» w chwili przejścia przez punkt, w którym on się znajduje, fal balistycznych B_1, f_1, f_2 i B .

Odgłosy walki artyleryjskiej, słyszane w odległości 20 — 40 km, należy uważać za skutek działania fal balistycznych, rozprzestrzeniających się w górnych warstwach atmosfery, szczególnie czystych i jednorodnych. Odgłosy zaś strzałów i wybuchów pocisków są słyszane na znacznie mniejszych odległościach, gdyż wywołane przez nie fale dźwiękowe rozchodzą się w niższych warstwach atmosfery, niejednolitych i silnie absorbujących te fale. Oprócz tego liczne przeszkody w postaci lasów, budynków itp. ograniczają zasięg fal tego rodzaju.

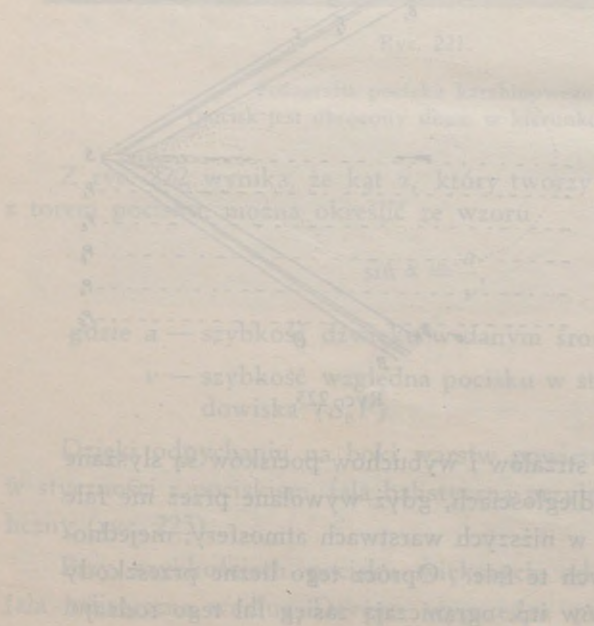
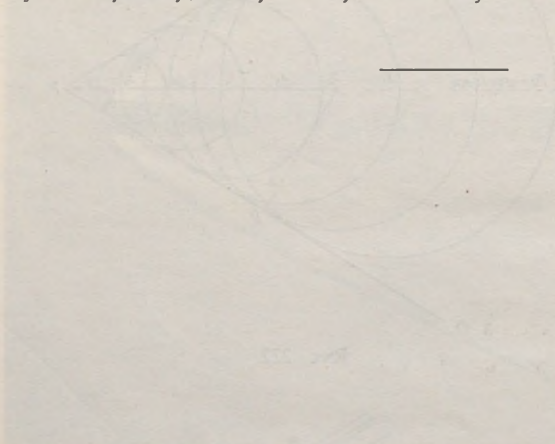


Ryc. 222.



Ryc. 223.

Tworząca się za poruszającym się pociskiem próżnia powoduje powstawanie wirów, które przy dużych kalibrach ciągną się na przestrzeni kilkudziesięciu metrów poza pociskiem. Periodyczny ruch wirów, ich powstawanie i znikanie, wywołuje stałe zmiany ciśnienia, które stają się przyczyną gwizdu słyszanego podczas lotu pocisku. Również wadliwe pociski powodują na torze gwizd, lecz nie ciągły, jeno urywany, który zależy od rodzaju wady.



IX. DZIAŁANIE MORALNE.

Działanie moralne wywierane przez pocisk u celu jest właściwie działaniem fizjologicznym, powodującym zachwianie równowagi duchowej człowieka bądź zwierząt, używanych na polu walki.

Zachwianie tej równowagi osiąga się przez działanie czynników fizycznych na organa zmysłowe, a więc wzroku, słuchu, dotyku i powonienia. Organizm żywy jest przyzwyczajony do pewnej skali wrażeń określonej mocy. Wrażenia o większej mocy powodują rozmaite cierpienia, w zależności od tego, jaki organ zmysłu został zaatakowany. Reagowanie organów zmysłu na działanie czynników fizycznych przez czas dłuższy może doprowadzić do rozstroju lub do bezwładu tychże. Ponieważ organa zmysłów stanowią narzędzia systemu nerwowego, każde zaburzenie w ich działalności powoduje ogólny rozstrój systemu nerwowego.

Cierpienia organu wzroku, tzn. oczu, mogą być spowodowane przez oślepiające światło pocisku świetlnego lub reflektora.

Cierpienia organu słuchu, to znaczy uszu, mogą być wywołane przez wybuch w pobliżu pocisku lub nawet przez częste i długotrwałe strzały karabinowe.

Cierpienia organów dotyku, do których należy cała powierzchnia ciała ludzkiego, mogą powstać wskutek działania fal balistycznych przelatujących pocisków lub fal wybuchowych spowodowanych detonacją pocisków burzących lub fal ultraakustycznych.

W końcu cierpienia organów powonienia mogą się zjawiać pod wpływem gazów bojowych.

Cierpienia powyższe, nadwerężając cały system nerwowy, jednocześnie wywierają znaczny wpływ na ludzką wyobraźnię, która w za-

leżności od duchowych właściwości człowieka, ukazuje przed nim, jak w kalejdoskopie, jeden ponury obraz za drugim.

Zachwianie równowagi fizycznej i duchowej w miarę trwania lub potęgowania zjawisk, wywołujących zaburzenia w normalnym funkcjonowaniu organów zmysłów, wywołuje uczucie niepewności losu, szczególnie wówczas, gdy dany osobnik pozostawiony jest samemu sobie. Bierność w tej chwili może spowodować zupełne załamanie się duchowe.

Najwyższe napięcie nerwów, charakteryzujące tę chwilę, wymaga odprężenia, które wyraża się w czynie: wtedy człowiek szuka sposobu obrony przed czynnikiem, powodującym nieznośny dla niego stan, np. szuka schronienia pod ostrzałem artyleryjskim lub ucieka z pola walki, albo dąży do usunięcia przyczyny wrogiego mu zjawiska, gdy np. przy podejściu do nieprzyjaciela rzuca się na karabin maszynowy, który nagle ukazał się przed jego oczyma. Znany jest wypadek, kiedy pozostały na placu boju kawalerzysta, dogoniony przez samochód pancerny, zsiadł z konia i strzelał z pistoletu do opancerzonej maszyny bez żadnej nadziei na ratunek.

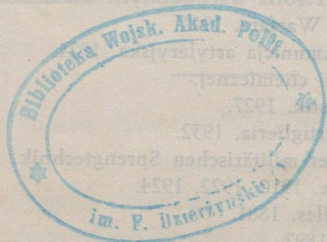
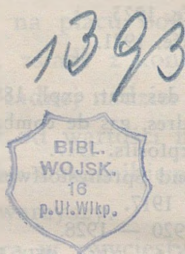
Los całej bitwy zależy od wartości moralnej jednego człowieka w danej chwili. Jest on jakby wskaźnikiem kierunku reakcji, odbywającej się w duszach jego towarzyszy.

W tym wypadku wiara w zwycięstwo i niezłomna wola mogą nawet fizycznie słabego człowieka uczynić sztandarem zwycięstwa. Wystarczy przypomnieć Leonidasa w Termopilach, Napoleona na moście Arcole lub Kozietulskiego w wąwozie Samo-Sierra.

LITERATURA.

- Mitteilungen über Gegenstände des Artillerie- und Geniewesens 1898, 1907,
1909 — 1917.
Guillemin. Munitions d'Artillerie.
Gomes. Munitions.
Instruction Générale sur le tir de l'Artillerie. 1922.
A. Marshall. Explosives. 1917.
H. Brunswick. Explosivstoffe. 1923.
Kast. Zünd- und Sprengstoffe. 1921.
Escales. Nitrosprengstoffe.
M. Berthelot. Sur la force des mat. expl. 1883.
P. Pasqual. Explosifs, poudres, gas de combat. 1930.
Jouguet. Mécanique des Explosifs. 1917.
Zeitschr. für ges. Schiess- und Sprengstoffwesen. 1916 — 1935.
Aide mémoire d'Artillerie. 1917.
Technik und Wermacht. 1920 — 1928.
Wiadomości techniczno-artyleryjskie (Wiadomości techniczne uzbrojenia).
1930 — 35.
Przegląd Wojskowo-Techniczny. 1929 — 35.
Sucharewski. Wzrywczatyje wieszczestwa i wzrywnyje raboty.
Sucharewski i Pierszakow. Teoria wzrywczatych wieszczestw. 1932.
Fries and West. Chemical Warfare. 1921.
Niewiadomski i Poliński. Amunicja artyleryjska. 1924.
Sypniewski. Technika walki chemicznej.
Crantz. Lehrbuch der Balistik. 1927.
E. Ravelli. Costruzioni d'artiglieria. 1932.
B. Zschokke. Handbuch der militärischen Sprengtechnik. 1911.
Artilleristische Monatshefte. 1910, 1922, 1924.
E. P. Jouffret. Les projectiles. 1881.
H. Maudry. Waffenlehre. 1897.
H. Rohne. Schiesslehre für Infanterie. 1906.
Revue d'Artillerie. 1908 — 1911, 1925 — 1931.
Technik und Wehrmacht. 1921.
Maschat. Obus. 1923.
R. Wille. Das „Kleinste“ Gewehrkaliber. 1893.
R. Wille. Waffenlehre. 1905.

- Vedder i Walton. Wojna chemiczna. 1930.
Bulletin Belge des Sciences Militaires. Revue technique. 1934.
Rumpf. Brandbomben. 1932.
H. Schosberger. Baumtechnischer Luftschutz. 1934.
E. Agokas. Wozdusznaia artillerija. 1928.
Justrow. Konstruktion und Wirkung von Fliegerbomben. „Heerestechnik“, 1927.
S. Sklarenko i N. Swiesznikow. Fiziczeskije i fiziko-chimiczeskije osnovy wojenno-chimiczeskago diela. 1934.
Flury-Zernik. Schädliche Gase. 1931.
G. Liberman. Chimiija i tehnologija otrawljajuszczich wieszczestw. 1931.
Mączyński. Chemija i technologia gazów i dymów bojowych. 1933.
Techniczeskaja encikłopedija. T. II. Moskwa. 1928.
Army Ordnance. 1921, 24, 27, 29 — 34.
M. Tarnowski. Rozbrajanie i niszczenie amunicji. 1927.
M. Tarnowski. Działanie bomb lotniczych. 1935.





49184 /
12