Inches 1 2 3 4 5 6 7 8

Centimetres 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

Colour Chart #13

DANES PICTA .COM

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black



Part Code ST1316

DANES PICTA .COM

C M Y K

B 11 12 13 14 15 16 17 18 19

R G B WH GR BL

A 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 M

Grey Scale #13

BIBLIOTEKA OFICERSKA
2. PUŁKU STRZELCÓW PODHALAŃSKICH
651
2693.-

PRZYRZĄDY I POMIARY BALISTYCZNE BRONI I AMUNICJI

BIBLIOTEKA OFICERSKA
2. PUŁKU STRZELCÓW PODHALAŃSKICH

651

INŻ. WACŁAW HANKA

2693-

PRZYRZĄDY I POMIARY BALISTYCZNE BRONI I AMUNICJI

CZĘŚĆ I

POMIARY SZYBKOŚCI

XXII. 2.

BIBLIOTEKA OFICERSKA
2. PUŁKU STRZELCÓW PODHALAŃSKICH

BIBL. WOJSK. P.S.P.

WARSZAWA 1932
WOJSKOWY INSTYTUT NAUKOWO-WYDAWNICZY

PRAWA PRZEKŁADU I PRZEDRUKU ZASTRZEŻONE

Biblioteka [illegible] WAT
47674
im. gen. bryg. [illegible]

Drukarnia Rolnicza, Warszawa, Złota 24.

Str.	12	w odnośniku		zamiast	(§ 3 str. 23	ma być	(§ 4 str. 17)
„	14	wiersz	25	„	według 3 wzoru	„ „	według 5 wzoru
„	16	„	25	„	Wzory 10, 11 i 12	„ „	Wzory 10 i 12
„	16	„	26	„	r, D i E	„ „	r, i E
„	46	„	29	„	rys. 14 i rys. 3,	„ „	rys. 14 i rys. 8,
„	62	„	2	„	2 t △, t)	„ „	2 △ t t_1)
„	68	„	15 i 16	„	(rys. 12)	„ „	(rys. 14)
„	76	„	7 i 8	„	(t. j. które zwiększają lub kach nieznanych,— ma być — i odchylenia zmienne w obu kierunkach nieznanych.		
„	77	„	18 i 19	zamiast	— wymierzyć z dokładnością kilku milimetrów ma być — wymierzyć z dużą dokładnością.		
„	94	„	2	„	$^1/_1{}^0$	ma być	$^1/_{10}$
„	95	„	35	przed tytułem ustępu brak litery d).			
„	113	„	13	zamiast	(przy pomocy lampy)	ma być	(przy pomocy lupy)
„	115	„	14	„	pkt. b	ma być	pkt. a
„	126	„	28	„	pkt. 6	„ „	pkt. b
„	127	„	6	„	0,012 sek.	„ „	0,0021 sek.
„	136	„	3	„	tabl. 6,	„ „	tabl. 8,
„	140	„	16	„	ust. 2 c	„ „	ust. 2 f.

SPIS RZECZY

Słowo wstępne Str.
Przedmowa 1

ROZDZIAŁ I.

KRÓTKI ZARYS STOSOWANIA TEORJI BŁĘDÓW I RACHUNKU PRAWDOPODOBIEŃSTWA DO BADAŃ I POMIARÓW BALISTYCZNYCH.

§ 1. **Błędy pomiarowe** 3
§ 2. **Ogólne zasady rachunku prawdopodobieństwa** 6
1) *Ważniejsze podstawowe prawa stopnia prawdopodobieństwa* . 8
2) *Prawdopodobieństwo kilku sprzyjających zdarzeń* 9
3) *Prawdopodobieństwo złożone* 10
4) *Prawdopodobieństwo „raczej — niż"* 11
§ 3. **Najprawdopodobniejsza wartość mierzonej wielkości** 11
§ 4. **Stopień dokładności pomiarów** 12
§ 5. **Reguła chybionych mierzeń** 19
§ 6. **Ogólny wynik pomiaru w kilku serjach.** 21
§ 7. **Zastosowanie metody najmniejszych kwadratów do pomiarów balistycznych.** 25

ROZDZIAŁ II.

PRZYRZĄDY DO POMIARÓW SZYBKOŚCI POCISKÓW I KRÓTKICH OKRESÓW CZASU.

§ 8. **Ogólny opis** 29
§ 9. **Mechaniczne sposoby badania szybkości.** 33
§ 10. **Zasada działania czasomierza le Boulengé-Breger** 36
§ 11. **Opis aparatu le Boulengé-Breger** 39
1. *Czasomierz C.* 40
2. *Przerywacze prądu* 44
a) Drut i taśma miedziana 44
b) Przerywacz ramowy. 44
c) Płyta kontaktowa ruchoma 46
d) Płyta kontaktowa stała 48
e) Drewniana tarcza kontaktowa stała . . 49
f) Przerywacz elektro - akustyczny (membranowy) 49
3. *Przyrządy tablicy rozdzielczej.* 52
4. *Źródło prądu* 55
a) Akumulator. 55
b) Połączenia czasomierza. 56
5. *Przyrządy kontrolne* 57
6. *Udoskonalony aparat le Boulengé-Breger.* 60
§ 12. **Dokładność aparatu Boulengé.** 61
1. *Zależność błędów od dokładnego zmierzenia długości.* . . . 61
2. *Błędy zależne od przerywaczy* 66
3. *Błędy natury elektro - magnetycznej.* 70
4. *Błędy wskutek oporu powietrza* 72
5. *Wpływy temperatury* 73

BIBLIOTEKA OFICERSKA
2. PUŁKU STRZELCÓW PODHALAŃSKICH

PRZEDMOWA

W niniejszej pracy jest ujęta w pewną całość nauka o przyrządach balistycznych, ich budowie, sposobie użycia i pomiarach balistycznych.

W dziedzinie badań sprzętu uzbrojenia ważną rzeczą jest znajomość ich balistycznych własności, jak: wielkość ciśnienia gazów miotających, szybkość początkowa pocisków, charakterystyka ich ruchu oraz skuteczność i szybkość wybuchu materjałów wybuchowych, zachowanie się broni podczas wystrzału i t. d.

Mając pewne dane, tyczące się materjałów miotających, kruszących, kształtu pocisków, konstrukcji broni i inne, można teoretycznie, przy pomocy wzorów matematycznych bądź też empirycznych obliczyć wyżej wspomniane wielkości.

Obliczenia jednak tych wielkości przy dokładnej nawet znajomości teorji balistyki i przy nakładzie żmudnej pracy, nie są z różnych względów ścisłe i dokładne, a czasem nawet nie można ich stosować w praktyce.

Dlatego w dziale badań własności balistycznych sprzętu uzbrojenia (t. j. prochów, materjałów kruszących, amunicji, broni i t. p.) stosuje się przeważnie sposoby praktyczne, przy użyciu odpowiednich przyrządów balistycznych.

Nadmienię, że ten dział balistyki ma przed sobą jeszcze duże pole do rozwoju, zarówno pod względem udoskonalenia przyrządów co do ich dokładności jak i ulepszeń konstrukcyjnych.

Zamiar napisania tej pracy powstał jedynie wskutek braku w literaturze wojskowej ujęcia w jedną całość opisu wszystkich przyrządów i sposobów badań balistycznych do potrzeb wojska i fabryk wytwarzających sprzęt uzbrojenia.

Wiadomości te były dotychczas rozproszone w podręcznikach balistyki teoretycznej, w dziełach dotyczących broni, materjałów wybuchowych i amunicji, jako też w artykułach czasopism wojskowych.

Z obcej literatury wojskowej tej dziedziny nauki, na szczególniejszą uwagę zasługuje III tom balistyki prof. dr. inż. C. CRANZA, prof. EBERHARDA i dr. inż. K. BECKERA pod tytułem „Experimentelle Ballistik".

Dzieło to jednak ujęte ze stanowiska naukowego jest niejako encyklopedją przyrządów balistycznych, ubraną w szatę teoretyczną, dostępną dla małej garstki oficerów, pracujących w dziedzinie uzbrojenia.

Pisząc niniejszą pracę, starałem się ująć bardziej szczegółowo tylko przyrządy balistyczne niezbędne i przeważnie używane u nas

do pomiarów i badań balistycznych, a teorję ich działania i dokładności przedstawić w sposób jak najbardziej elementarny, dostępny dla wszystkich oficerów służby uzbrojenia.

Celem przedstawienia w pracy niniejszej całokształtu rozwoju tej gałęzi nauki dołączyłem również opis prawie wszystkich ważniejszych, od najdawniejszych czasów stosowanych, przyrządów balistycznych.

Poza tem starałem się ująć sposoby badań i wykonywania pomiarów tak, by każdy, mając zadanie wykonania pomiaru balistycznego, mógł go przeprowadzić na podstawie tej pracy.

Drugą ważną pobudką do napisania tej pracy było to, że u nas często ten sam pomiar balistyczny, którego wynik przeważnie służy za podstawę do wyrobu lub odbioru sprzętu uzbrojenia, bywa wykonywany w różnych instytucjach i przez różnych obserwatorów. Powoduje to otrzymywanie różnych wyników w poszczególnych instytucjach i pociąga za sobą nieporozumienia oraz koszty.

Przyczyną otrzymywania różnych wyników balistycznych, dotyczących tego samego sprzętu uzbrojenia, jest nieuchwytność zjawisk balistycznych i ich zależność od wielu różnych wpływów. Chcąc więc otrzymać chociaż przybliżone wyniki tych samych pomiarów, należałoby je wykonywać w tych samych warunkach, a nawet przez tego samego obserwatora.

Dlatego też starałem się, o ile możności, w pracy tej podać sposoby przeprowadzania badań i określić warunki w jakich pomiary balistyczne należy uskuteczniać, aby otrzymany wynik był jak najprawdopodobniejszą wartością mierzonej wielkości.

Ze swej zaś strony uważam, że wszystkie pomiary i badania balistyczne powinny być wykonywane w jednej instytucji i przez tych samych pracowników.

Z powodu braku w słownictwie polskiem wielu wyrazów i określeń tej gałęzi nauki, napotykałem w tym kierunku na dość duże trudności. Uważając jednak, że lepiej jest trzymać się terminologji poniekąd już przyjętej i stosowanej, chociażby niezupełnie odpowiedniej i logicznej, stosowałem ją z wyjątkiem niektórych tylko nazw i określeń.

W każdym takim wypadku, obok wprowadzonej nazwy nowej, podaję nazwę używaną obecnie w praktyce.

Część II tej pracy obejmie badania i pomiary długich okresów czasu i wysokich ciśnień, część III — fotografowanie zjawisk balistycznych i wszystkich innych pomiarów wykonywanych w laboratorjach balistycznych.

Wszelkie uwagi, wskazówki i t. p., dotyczące tej książki, przyjmę z wdzięcznością.

AUTOR.

Warszawa w styczniu 1930 r.

ROZDZIAŁ I.

KRÓTKI ZARYS STOSOWANIA TEORJI BŁĘDÓW I RACHUNKU PRAWDOPODOBIEŃSTWA DO BADAŃ I POMIARÓW BALISTYCZNYCH.

§ 1. Błędy pomiarowe.

Celem każdego pomiaru, czyto przy użyciu odpowiednich narzędzi i przyrządów, czyto drogą obserwacji, czy też wreszcie przy zastosowaniu jednego i drugiego, jest znalezienie prawdziwej wartości wielkości mierzonej.

Mierzona wielkość może być pewną współrzędną jakiegoś zjawiska, lub wielkością przy pomocy której, stosując odpowiednie wzory teoretyczne, obliczamy powyższą współrzędną badanego zjawiska.

Jeżeli badane zjawisko jest zjawiskiem balistycznem, to pomiar lub badanie jego współrzędnych nazywamy pomiarami lub też badaniami balistycznemi.

Ponieważ dokładność każdego pomiaru jest zależna od stopnia czułości naszych zmysłów, dokładności użytych przyrządów i stałości ośrodka (otoczenia), w którym pomiar wykonywamy, więc nigdy nie można twierdzić, iż otrzymany wynik pomiaru jest prawdziwą wartością wielkości mierzonej. Byłoby to tylko wówczas, gdyby zarówno przyrządy miernicze, jak i warunki pomiaru były idealne.

Wobec powyższego między prawdziwą wielkością mierzoną a wynikiem mierzenia istnieje w rzeczywistości zawsze pewna różnica, którą nazywamy błędem, a przyczyny, powodujące je, nazywamy źródłami błędów, przy założeniu, że pomiar jest wolny od wszelkich omyłek, spowodowanych nieumiejętnością lub nieuwagą obserwatora.

Dokładność wyniku pomiaru jest zależna od jakości i ilości występujących źródeł błędów, z których każdy wywiera większy lub

mniejszy wpływ na mierzoną wielkość, powodując t. zw. *błąd elementarny.*

Wszystkie błędy elementarne w sumie tworzą błąd całkowity mierzenia.

Źródła błędów oraz wpływy, jakie wywierają one na wynik pomiaru, można podzielić, ze względu na ich charakter, na dwie różne grupy.

Do pierwszej grupy zaliczamy t. zw. *błędy systematyczne* (regularne), do drugiej *błędy przypadkowe.*

Do błędów systematycznych należą wszystkie te, których źródła lub też wpływy dadzą się według pewnych praw zgóry określić.

Ze względu na charakter praw, którym one podlegają, możemy je podzielić:

a) na błędy, które powtarzają się stale przy poszczególnych mierzeniach, jako wielkość jednakowa, tylko dodatnia lub tylko ujemna, czyli takie, które jedynie zwiększają lub zmniejszają mierzoną wielkość; przyczem ich znak algebraiczny może być znany lub nieznany;

b) na błędy, które mają wpływ taki sam, jak poprzednie z tą jednak różnicą, że posiadają wielkość zmienną.

Błędy podane w pkt. a) nie wpływają na dokładność poszczególnych mierzeń, a tylko zwiększają lub zmniejszają prawdziwą mierzoną wielkość o ten sam błąd.

Błędy opisane w pkt. b) wywierają ten sam wpływ na mierzoną wielkość co poprzednie, z tą różnicą, że powstały błąd w postaci nadmiaru lub niedomiaru nie powtarza się przy poszczególnych mierzeniach jako wielkość stała.

Wobec powyższego możemy już teraz powiedzieć, że pierwszy rodzaj błędów jest bez wpływu na odchylenie wyniku szeregu mierzeń, drugi zaś rodzaj wpływa do pewnego tylko stopnia, jednak w jednym tyko kierunku, t. j. na zwiększenie lub tylko na zmniejszenie mierzonej wielkości.

Do drugiej grupy błędów, tak zwanych *przypadkowych* zaliczamy takie, które mogą wpłynąć na mierzoną wielkość zarówno nadmiarem, jak i niedomiarem, t. j. dodatnio i ujemnie, przyczem niewiadomo który wypadek zachodzi.

Celem uwydatnienia zachodzącej różnicy między wpływami różnych kategoryj błędów, podaję niżej kilka przykładów:

1) Ładunek miotający naboju karabinowego przy temperaturze 15^0 C daje ciśnienie np. 3.000 kg/cm^2, o ile zaś temperatura prochu będzie większa lub mniejsza np. o t^0 C, to wynik pomiaru będzie zawierał w sobie błąd, który w poszczególnych mierzeniach

stale i tą samą wielkością nadmiaru lub niedomiaru będzie się powtarzał.

Znając wpływ temperatury ładunku prochowego na ciśnienie, możemy przez wprowadzenie odpowiedniej poprawki błąd ten usunąć.

2) Odmierzając w terenie pewną długość taśmą stalową, bardzo dokładną, możemy być pewni, że wynik pomiaru tej długości będzie większy od długości prawdziwej, gdyż taśma pod wpływem nierówności terenu i własnego ciężaru nie naciągnie się w linji idealnie prostej, tylko przylegać będzie do terenu po linji falistej.

Wprowadzić jednak pewną poprawkę, celem usunięcia tego błędu z pomiaru, nie jest tak łatwe, jak w przykładzie 1), gdyż wielkość jego zależna jest od wielu czynników, jak siły naciągania taśmy, jej ciężaru, falistości terenu i t. d.

Jeżeli w ten sposób wymierzona odległość w terenie służy do pewnych pomiarów balistycznych, to wyżej określony błąd będzie odchylał wynik poszczególnych mierzeń o stałą, lecz nieznaną wielkość w postaci nadmiaru lub niedomiaru w zależności od rodzaju badań.

3) W pewnej określonej odległości *s* od wylotu lufy broni jest naciągnięta cienka taśma metalowa, druga zaś taśma lub drucik metalowy jest naciągnięty i przytwierdzony do lufy u jej wylotu. Powstaje teraz pytanie, w jakiej odległości względem siebie znajdują się punkty, w których wystrzelony pocisk przerwie obie taśmy.

O ile broń podczas strzału byłaby unieruchomiona, to bezwątpienia odległość tych punktów równałaby się poprzedniej odległości taśm, t. j. *s*.

Ponieważ podczas strzału powstaje pewien odrzut broni w kierunku przeciwnym do kierunku pocisku, więc punkt przerwania taśmy, znajdującej się u wylotu lufy, oddali się od drugiej taśmy, a więc odległość poprzednia s wzrośnie.

Powstały przez to błąd, przy poszczególnych badaniach, nie będzie powtarzał się, jako ta sama wielkość stała, gdyż zarówno odrzut broni, jak i ruch pocisku w lufie zależne są od całego szeregu wpływów zmiennych; można jednak powiedzieć, że wpływ tego błędu będzie jednokierunkowy, zwiększający odległość *s*.

Wprowadzając odpowiednią poprawkę, możemy wpływ tego błędu na wynik pomiaru do pewnego stopnia usunąć.

Z powyższych przykładów widzimy, że prawo działania tych błędów da się zgóry określić, są to więc błędy systematyczne różnych kategoryj.

4) Postawmy sobie za zadanie odważenie pewnej ilości

ładunków prochowych, których ciężar powinien wynosić np. po 10 g.

Przy takiem odważaniu prawie jest pewne, że ciężar poszczególnych ładunków nie będzie absolutnie tą samą wielkością, chociażby użyto do tych mierzeń jak najczulszych i najdokładniejszych wag.

Zgóry już można powiedzieć, że każdy z ładunków prochu będzie pod wpływem różnych czynników odważony z pewnym zmiennym błędem, który może być zarówno dodatni, jak i ujemny.

W danym wypadku występują w tych mierzeniach źródła powodujące błędy przypadkowe.

Z powyższego podziału i określenia poszczególnych błędów widać, że zbadawszy źródła błędów systematycznych, a zatem i prawo ich wpływu na wynik pomiaru, można zupełnie lub częściowo je usunąć, przez wprowadzenie odpowiedniej poprawki.

Pozostała część tych błędów systematycznych łącznie z błędami przypadkowemi tworzy nieunikniony całkowity błąd mierzenia lub też spostrzeżenia.

Stosowanie zasad i praw teorji błędów umożliwia zapoznanie się z wpływem błędów przypadkowych na wynik mierzenia.

Przez stosowanie zasad i praw tej gałęzi nauki do różnych badań oraz pomiarów, a tem samem i do pomiarów balistycznych, zbliżamy się do granic absolutnie dokładnych pomiarów, jakkolwiek w rzeczywistości do tej granicy nigdy nie dojdziemy.

Ponieważ wszelkie błędy, występujące podczas pomiarów, są niezależne od woli ludzkiej, lecz są zjawiskami przypadkowemi, dlatego można stosować do nich rachunek prawdopodobieństwa, na którym właśnie opiera się teorja błędów.

§ 2. Ogólne zasady rachunku prawdopodobieństwa.

Teorja rachunku prawdopodobieństwa jest to dział matematyki, który wszelkie zjawiska i zdarzenia przypadkowe ujmuje w odpowiednie prawa matematyczne.

Zasadniczym celem rachunku prawdopodobieństwa jest znalezienie wielkości liczbowej, określającej, czy jakieś pomyślne lub niepomyślne zdarzenie może nastąpić, a raczej, jakie jest prawdopodobieństwo, że to zdarzenie nastąpi.

Jeżeli z urny, zawierającej 10 kul białych i 10 czerwonych, razem zmieszanych, dowolnie mamy wyjąć jedną kulę, to możemy

powiedzieć, że w zależności od przypadku wyjęcie zarówno kuli białej, jak i czerwonej, jest jednakowo prawdopodobne.

Gdyby w urnie znajdowało się np. 30 kul białych, a tylko 2 kule czerwone, to w tym wypadku powiemy, że wyjęcie kuli białej jest o wiele prawdopodobniejsze, niż czerwonej.

Liczba p, którą określać będziemy w podobnych wypadkach stopień, czyli wielkość prawdopodobieństwa nastąpienia jakiegoś zdarzenia, wyraża się stosunkiem ilości wypadków sprzyjających s, do ilości wszystkich możliwych wypadków n, z których jeden powinien nastąpić; a więc:

$$p = \frac{s}{n}$$

W ten sposób określone prawdopodobieństwo jakiegoś zdarzenia nazywamy prawdopodobieństwem matematycznem lub absolutnem.

Mnożąc liczbę prawdopodobieństwa matematycznego p przez 100 otrzymamy prawdopodobieństwo wyrażone w procentach; czyli prawdopodobieństwo procentowe, które wynosi:

$$p\,\% = \frac{s}{n}\ 100$$

Wobec powyższego prawdopodobieństwo matematyczne wyciągnięcia kuli białej z urny, w której znajduje się 10 kul białych i 10 czerwonych wynosi:

$$p = \frac{10}{20} = \frac{1}{2}$$

gdyż w danym przykładzie sprzyjających wypadków jest $s = 10$, a jednakowo możliwych, z których jeden nastąpi, jest $n = 20$, przyczem kule powinny być należycie zmieszane i jednakowo wielkie.

Możemy również powiedzieć, że w danym wypadku wyciągnięcie kuli białej jest prawdopodobieństwem 50 procentowem, gdyż

$$p\,\% = \frac{1}{2}.\ 100 = 50\%$$

Tego rodzaju zdarzenie, dla którego prawdopodobieństwo jest równe $^1/_2$, czyli 50%, nazywamy zdarzeniem prawdopodobnem. O ile zaś w urnie będzie 32 kul, w tem 30 białych i 2 czerwone, to prawdopodobieństwo wyciągnięcia kuli czerwonej wyniesie:

$$p = \frac{2}{32} = \frac{1}{16}$$

Na podstawie tej liczby, określającej stopień prawdopodobieństwa wyciągnięcia z urny kuli czerwonej, nie można sądzić i nie należy rozumieć, że w każdej serji 16 ciągnięć powinna być koniecznie wyciągnięta jedna kula czerwona, gdyż wypadek ten może nastąpić kilka razy zrzędu, lub wcale nie wypaść, a zależy to przedewszystkiem od przypadku, czyli, jak to się w potocznej mowie mówi, od szczęścia.

Gdybyśmy to doświadczenie wyciągnięcia kuli z urny znaczną ilość razy powtarzali, to stosunek wypadków wyjęcia kuli czerwonej do ilości wszystkich ciągnięć, tem więcej zbliżać się będzie do liczby $^1/_{16}$, im więcej wykonamy tych ciągnięć.

Stopień prawdopodobieństwa otrzymany sposobem doświadczalnym w odróżnieniu od prawdopodobieństwa matematycznego, nazywamy prawdopodobieństwem doświadczalnem.

Zgóry już można powiedzieć, że na takiem właśnie prawdopodobieństwie doświadczalnem opierać się będą wyniki pomiarów i badań balistycznych, chociażby nawet z tego względu, że niema prawie zjawisk balistycznych, któreby się dały ująć w ścisłe wzory teoretyczne. Zjawiska te bowiem zależą od różnych wpływów nieuchwytnych, których działanie w wielu wypadkach jest nam nawet nieznane.

I) Ważniejsze podstawowe prawa stopnia prawdopodobieństwa.

Ponieważ ilość wypadków sprzyjających s może być tylko mniejsza lub równa ilości wypadków możliwych n, więc stopień prawdopodobieństwa

$$p = \frac{s}{n}$$

jest mniejszy od jedności, a granicznemi wielkościami są: jeden i zero, t. j.

$$0 \leqslant p \leqslant 1$$

Stopień graniczny prawdopodobieństwa $p = 1$ istnieje wtedy, gdy $s = n$, t. j. gdy wszystkie możliwe wypadki sprzyjają zdarzeniu, co jest równoznaczne pewności, że dane zdarzenie nastąpi.

Wypadek dla którego $p = 0$ zachodzi wtedy, gdy $s = 0$, t. j. gdy nie mamy wogóle wypadku sprzyjającego, co jest równoznaczne z niemożliwością nastąpienia sprzyjającego zdarzenia.

Prawdopodobieństwo, że sprzyjające zdarzenie nie nastąpi, nazywamy prawdopodobieństwem przeciwnem p' do prawdopodobieństwa p.

Jest rzeczą pewną, że jakieś zdarzenie sprzyjające, albo nastąpi albo nie nastąpi; dlatego też możemy powiedzieć, że suma prawdopodobieństwa p i prawdopodobieństwa przeciwnego p' tego zdarzenia wynosi 1, t. j.

$$p + p' = 1 \quad \text{lub} \quad p' = 1 - p \qquad (1).$$

2) Prawdopodobieństwo kilku sprzyjających zdarzeń.

Przypuśćmy, że w urnie znajduje się n kul o różnych barwach; w tem s_1 kul czerwonych, s_2 kul zielonych, s_3 kul niebieskich i pozostała reszta $n - (s_1 + s_2 + s_3)$ białych.

Zachodzi teraz pytanie, jakie jest prawdopodobieństwo wyjęcia z urny kuli czerwonej, zielonej lub niebieskiej?

W danym przykładzie sprzyjających wypadków będzie $s_1 + s_2 + s_3$, wszystkich zaś możliwych wypadków jest n, więc prawdopodobieństwo matematyczne wyjęcia którejś z kul barwnych wynosi:

$$p = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{n} = \frac{s_1}{n} + \frac{s_2}{n} + \frac{s_3}{n}$$

Podstawmy w tym równaniu $\frac{s_1}{n} = p_1$, $\frac{s_2}{n} = p_2$, $\frac{s_3}{n} = p_3$,

to otrzymamy $p = p_1 + p_2 + p_3$; przyczem p_1, p_2 i p_3 oznaczają w danym przykładzie poszczególne prawdopodobieństwa wyjęcia z urny kuli o jednej barwie np. tylko czerwonej, zielonej lub tylko niebieskiej.

Wobec powyższego możemy wypowiedzieć następujące twierdzenie: prawdopodobieństwo kilku sprzyjających zdarzeń, wyłączających się wzajemnie, z których nastąpić może albo pierwsze albo drugie i t. d. równa się sumie prawdopodobieństw każdego z tych zdarzeń zosobna.

Prawdopodobieństwo takie można nazwać prawdopodobieństwem „albo — albo".

Twierdzenie to można stosować również i do prawdopodobieństwa doświadczalnego.

Przykład. Oddajemy większą ilość strzałów, mierząc w jeden punkt tarczy; przyczem strzelanie odbywa się w niezmiennych warunkach, amunicją jednej partji i tą samą bronią. Tarcza niech będzie podzielona na większą ilość pasków np. pionowych. Z ilości trafień w poszczególne paski pionowe do ilości wszystkich strzałów,

obliczamy poszczególne prawdopodobieństwa $p_1, p_2, \ldots p_n$ trafienia każdego z pasków tarczy; prawdopodobieństwo zaś trafienia albo paska pierwszego, albo drugiego i t. d. wyniesie wtedy

$$p = p_1 + p_2 + \ldots + p_n .$$

W danym wypadku możemy właśnie powiedzieć, że jest to stopień prawdopodobieństwa trafienia w tarczy.

3) Prawdopodobieństwo złożone.

Przypuśćmy, że dwie urny zawierają po $n = 12$ kul; w tem $s_1 = 6$ kul czerwonych, $s_2 = 2$ niebieskich i $s_3 = 4$ zielonych.

Zapytujemy się, jakie jest prawdopodobieństwo jednoczesnego wyjęcia kuli czerwonej z jednej urny i kuli niebieskiej z drugiej urny? Możliwych wypadków jest $12 \times 12 = 12^2$ (ogólnie n^2), gdyż ta sama kula pierwszej urny może być wyjęta z każdą kulą drugiej urny 12 razy, a więc wszystkie kule pierwszej urny z kulami drugiej urny mogą być wyjęte 12×12. Gdyby w drugiej urnie znajdowało się np. 20 kul, to ilość możliwych wypadków wynosiłaby wtedy 12×20. Według analogicznego rozumowania ilość sprzyjających wypadków wyniesie 6×2; ogólnie zaś $s_1 \times s_2$. Wobec powyższego prawdopodobieństwo równoczesnego wyjęcia kuli czerwonej z jednej urny i kuli niebieskiej z drugiej wynosi:

$$p = \frac{6 \times 2}{12 \times 12} = \frac{1}{12} .$$

Ogólnie zaś możemy napisać

$$p = \frac{s_1 \times s_2}{n \times n} = \frac{s_1}{n} \times \frac{s_2}{n} ,$$

a podstawiając $\frac{s_1}{n} = p_1$ i $\frac{s_2}{n} = p_2$, mamy:

$$p = p_1 \cdot p_2$$

Z przykładu tego można wyprowadzić następujące twierdzenie: prawdopodobieństwo jednoczesnego nastąpienia dwóch zdarzeń, względem siebie niezależnych, równa się iloczynowi z prawdopodobieństw tych zdarzeń.

Prawdopodobieństwo takie nazywamy złożonem, lub prawdopodobieństwem „i — i".

4) Prawdopodobieństwo „raczej — niż".

Przypuśćmy, że w urnie mamy n kul zmieszanych, w tem s_1 kul czerwonych i s_2 kul białych.

Zapytujemy teraz, jakie jest prawdopodobieństwo, że raczej wyjmiemy kulę czerwoną niż białą?

W danym przykładzie bardziej sprzyjających zdarzeń jest s_1, wypadków zaś wyjęcia albo kuli czerwonej albo białej jest $s_1 + s_2$, więc prawdopodobieństwem, że raczej wyjmiemy kulę czerwoną niż białą będzie:

$$p = \frac{s_1}{s_1 + s_2}.$$

Dzieląc licznik i mianownik tego ułamka przez n, otrzymamy:

$$p = \frac{\frac{s_1}{n}}{\frac{s_1}{n} + \frac{s_2}{n}} = \frac{p_1}{p_1 + p_2}$$

Wobec powyższego możemy powiedzieć: prawdopodobieństwo, że raczej nastąpi zdarzenie o prawdopodobieństwie p_1, niż zdarzenie o prawdopodobieństwie p_2 jest stosunkiem sprzyjającego prawdopodobieństwa p_1 do sumy prawdopodobieństw bardziej sprzyjających i mniej sprzyjających.

Prawdopodobieństwo takie nazywamy „raczej — niż". Wszystkie powyższe prawa rachunku prawdopodobieństwa matematycznego stosuje się również do prawdopodobieństw doświadczalnych.

§ 3. Najprawdopodobniejsza wartość mierzonej wielkości.

Celem każdego pomiaru jest znalezienie sposobem doświadczalnym najbardziej zbliżonej wartości dla prawdziwej mierzonej wielkości.

Ażeby jakikolwiek pomiar jak najdokładniej wykonać, dokładamy ku temu wszelkich starań, dlatego też możemy zgóry przypuszczać, a nawet twierdzić, że więcej prawdopobne jest, iż otrzymany wynik mierzenia, jeżeli posiada błąd, to raczej mniejszy niż większy.

Jeżeli zaś to samo mierzenie powtarzać będziemy wielokrotnie,

to w myśl wyżej wypowiedzianej zasady, możemy się spodziewać, że z pośród otrzymanych wyników poszczególnych mierzeń mniej będzie takich wyników, które posiadają większe błędy, a więcej takich, które zawierają w sobie małe błędy w postaci nadmiaru lub też niedomiaru.

Podane wyżej twierdzenie, daje już nam pewne wskazówki, że wynik pomiaru będzie tem prawdziwszy, im z większej ilości powtarzanych mierzeń wypływa *).

Przypuśćmy, że z jednakową dokładnością i w jednakowych warunkach mierzymy n-razy pewną wielkość X.

Ponieważ otrzymane wyniki l_1, l_2, ... l_n każdego mierzenia posiadają pewne nieuniknione błędy, przeto każdy z nich nie da nam prawdziwej wartości X, lecz tylko pewną przybliżoną wielkość tej wartości.

Zachodzi teraz pytanie, w jaki sposób z szeregu otrzymanych wyników l_1, l_2, ... l_n można otrzymać najprawdopodobniejszą wartość prawdziwej mierzonej wielkości X.

Na podstawie logicznego rozważania nasuwa się każdemu odpowiedź, że tą wielkością, zbliżoną do prawdziwej badanej, będzie zapewne jakaś wielkość średnia z otrzymanych wyników poszczególnych mierzeń.

Na podstawie rozważań teoretycznych opartych na zasadach teorji błędów, dochodzimy do najlepszego rozwiązania, przyjmując, że najprawdopodobniejszą wartością (którą oznaczmy przez $X_{śr}$) dla mierzonej wielkości X, jest średnia arytmetyczna z otrzymanych wyników poszczególnych mierzeń t. j.

$$X_{śr} = \frac{l_1 + l_2 + .. + l_n}{n} = \frac{\sum l_n}{n} \qquad (2).$$

§ 4. Stopień dokładności pomiarów.

Głównym celem zastosowania zasad teorji błędów do jakichkolwiek pomiarów, a w naszym wypadku do pomiarów balistycznych, jest uzupełnienie odpowiedniemi poprawkami otrzymanych wyników posiadających nieuniknione błędy.

---

*) W praktyce pomiarowej, a w szczególności w pomiarach balistycznych stosowanie tego prawa nie zawsze jest prawdziwe i korzystne, z powodu możliwości występowania w czasie długich badań różnych szkodliwych wpływów, jak zmiany atmosferyczne i inne nieprzewidziane przeszkody, mogące spowodować wręcz przeciwny skutek (§ 3, str. 23).

Na podstawie wielkości tych poprawek, możemy określić stopień dokładności poszczególnych mierzeń jak i otrzymanych wyników z szeregu badań sprzętu uzbrojenia.

Do badań sprzętu uzbrojenia należą: badania dokładności amunicji pod względem jej szybkości, ciśnienia i rozrzutu, badania broni pod względem celności i trwałości, badanie ścieżki prochowej pod względem czasu i jednostajności palenia się jej i t. p.

Jak już wspomnieliśmy w § 1, błąd mierzenia jest różnicą prawdziwej wielkości mierzonej i otrzymanego wyniku mierzenia l_n; błąd ten więc wynosi $\varepsilon_n = X - l_n$.

Jeżeli wielkość X jest nam dokładnie znana, to i wielkości otrzymanych błędów $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots\ldots \varepsilon_n$ w serji wykonanych mierzeń są nam dokładnie znane.

Wielkości tych prawdziwych nieuniknionych błędów $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \ldots \varepsilon_n$ tworzą wtedy niejako obraz dokładności wykonanego pomiaru, a w szczególności użytych do tych pomiarów przyrządów.

Błędy te, pochodzące ze źródeł przypadkowych, mogą być zarówno dodatnie jak i ujemne, wobec czego ich suma, a więc i średnia ich wartość

$$\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \ldots\ldots + \varepsilon_n}{n}$$

zbliżać się będzie do zera; dlatego też wielkość ta nie może służyć jako wielkość określająca dokładność pomiaru.

BIBL. WOJSK. 2 P.S.P.

Ogólna teorja błędów prowadzi do wniosku, że najprawdopodobniejszą miarą dokładności pomiaru jest pierwiastek kwadratowy średniej arytmetycznej kwadratów błędów poszczególnych mierzeń.

Oznaczając ten średni błąd mierzenia przez μ_p, mamy w myśl wyżej podanego twierdzenia:

$$\mu_p = \pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_n^2}{n}} \qquad (3).$$

gdzie $\sum \varepsilon_n^2 = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \ldots + \varepsilon_n^2$.

Ponieważ w większości doświadczeń prawie nigdy prawdziwych błędów ε_n nie znamy (X w bardzo rzadkich wypadkach jest dokładnie znane), więc i wzór 3 stosować można tylko, gdy ściśle znana jest mierzona wielkość X, a więc w bardzo rzadkich wypadkach.

Wobec powyższego, do oceny dokładności stosujemy błędy nam znane, równające się różnicy średniego wyniku pomiaru $X_{śr}$ i wyników poszczególnych powtarzanych mierzeń, $l_1, l_2, \ldots\ldots l_n$.

Błąd ten ogólnie wynosi $\lambda_n = X_{śr} - l_n$; celem odróżnienia od prawdziwego błędu ε_n nazywamy go b ł ę d e m p o z o r n y m, lub odchyleniem od średniej $X_{śr}$.

Odchylenia te $\lambda_1, \lambda_2, \ldots\ldots \lambda_n$ mają tą własność, że ich suma równa się zeru, a więc

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda_n = 0 \qquad (4).$$

jeżeli oczywiście obliczenie $X_{śr}$ było dokładnie wykonane.

Wprowadzając do wzoru 3 w miejsce prawdziwych błędów $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots\ldots \varepsilon_n$ odchylenia $\lambda_1, \lambda_2, \ldots\ldots \lambda_n$ otrzymalibyśmy (w dość prosty sposób) wzór na błąd średni poszczególnych mierzeń t. j.

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\sum \lambda_n^2}{n-1}} \qquad (5).$$

gdzie $\sum \lambda_n^2 = \lambda_1^2 + \ldots + \lambda_n^2$.

Znak algebraiczny podwójny przed pierwiastkiem, oznacza, że mamy do czynienia z błędami przypadkowemi, które mogą być zarówno dodatnie jak i ujemne.

Wzór 5 służy do obliczenia błędu średniego poszczególnych spostrzeżeń lub też mierzeń. Wielkość tego błędu charakteryzuje dokładność pomiarów.

J e ż e l i d o k ł a d n o ś ć p o m i a r u z a l e ż y o d j a k i e g o ś u ż y t e g o d o p o m i a r u p r z y r z ą d u b a l i s t y c z n e g o l u b s p r z ę t u u z b r o j e n i a (np. a m u n i c j i p o d w z g l ę d e m r o z r z u t u), t o b ł ą d t e n ś r e d n i (odchylenie średnie) j e s t z a r a z e m m i a r ą d o k ł a d n o ś c i t e g o p r z y r z ą d u, lub b a d a n e g o s p r z ę t u u z b r o j e n i a.

Ponieważ obliczenie błędu średniego według 3 wzoru jest żmudne, szczególnie przy większej ilości wykonywanych pomiarów, więc na podstawie teorji błędów można również stosować do określenia dokładności pomiaru tak zwany błąd przeciętny poszczególnych mierzeń, równający się średniej arytmetycznej z wszystkich otrzymanych bezwzględnych wartości prawdziwych błędów $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots\ldots \varepsilon_n$.

Oznaczając ten błąd przeciętny literą E_p, mamy:

$$E_p = \pm \frac{\sum |\varepsilon_n|}{n} \qquad (6).$$

gdzie $\sum |\varepsilon_n| = |\varepsilon_1| + |\varepsilon_2| + \ldots |\varepsilon_n|$, t. j. sumie bezwzględnych wartości prawdziwych błędów otrzymanych z pomiaru.

Wyrażając we wzorze 6 błędy prawdziwe ε_1, ε_2, ... ε_n, błędami pozornemi, czyli odchyleniami λ_1, λ_2, ... λ_n, zależność błędu przeciętnego spostrzeżenia E_p lub też mierzenia zmieni się na:

$$E^{*}) = \pm \frac{\sum |\lambda_n|}{\sqrt{n.\,(n-1)}} \qquad (7).$$

gdzie $\sum |\lambda_n|$ oznacza sumę wszystkich bezwzględnych wartości odchyleń, t. j. $|\lambda_1| + |\lambda_2| + |\lambda_3| + ... + |\lambda_n|$.

W balistyce bardzo często, a w szczególności w Niemczech, stosowano ten błąd przeciętny do określenia dokładności szeregu poszczególnych mierzeń, a to dlatego, jak już było powiedziane wyżej, że obliczenie błędu średniego μ przy większej ilości serji strzałów wymaga bardzo dużo czasu.

Ważną rzeczą jest również znajomość określania dokładności pomiaru przy pomocy błędu, który równa się średniej arytmetycznej bezwzględnych wartości różnic między poszczególnemi po sobie następującemi wynikami mierzeń.

Różnice te wynoszą: $d_1 = l_1 - l_2$, $d_2 = l_2 - l_3$, ... $d_{n-1} = l_{n-1} - l_n$; a średnia ich wielkość

$$D = \frac{|d_1| + |d_2| + ... + |d_{n-1}|}{n-1} \qquad (8).$$

Szereg utworzony z różnic d_n wyników kolejno po sobie następujących mierzeń, uwidocznia, czy jakiś wpływ nie działa w pewnym kierunku na stopniowe zwiększanie lub zmniejszanie mierzonej wielkości; np. działanie wpływu stopniowego ogrzania lufy na szybkość, celność i t. p.

W danym wypadku mówi się, że zachodzi nieprzewidziana przeszkoda.

Oprócz wyżej podanych błędów, do określania dokładności pomiarów służy jeszcze błąd prawdopodobny, który oznaczmy literą *r*.

Błąd prawdopodobny *r*, czyli taki, którego prawdopodobieństwo wynosi $\frac{1}{2}$ (50%) określa, że w danym pomiarze błędy spostrzeżeń, czyli poszczególnych mierzeń ε_1, ε_2, ... ε_n lub λ_1, λ_2, ... λ_n najprawdopodobniej w 50 procentach znajdują się w granicach od

---

*) W Niemczech przeciętny błąd E poszczególnych mierzeń nazwano błędem (odchyleniem) średniem.

$+ r$ do $- r$, czyli ilość błędów większych od r równa się ilości błędów mniejszych od r*).

Nie wdając się w wyprowadzanie wzoru dla błędu prawdopodobnego, możemy powiedzieć, że błąd ten będzie zależny od stopnia dokładności pomiaru i to tak, że im stopień dokładności jakiegoś pomiaru jest większy, tem błąd prawdopodobny r będzie mniejszy.

Stosując prawo błędu do znalezienia funkcji dla błędu prawdopodobnego r, otrzymalibyśmy, że w dowolnych pomiarach iloczyn błędu prawdopodobnego i stopnia dokładności dla pewnego pomiaru jest ilością stałą.

Oznaczając stopień dokładności pomiaru przez h, otrzymalibyśmy według teorji błędów, następującą zależność dla h:

$$h = \frac{0{,}476936}{r} = \frac{1}{E \cdot \sqrt{\pi}} = \frac{1}{\mu \cdot \sqrt{2}} \qquad (9).$$

Z tej zależności można bardzo łatwo znaleźć związek między błędami: prawdopodobnym, przeciętnym i średnim. Z powyższego wypływają również następujące zależności dla błędu prawdopodobnego poszczególnych mierzeń:

$$r = 0{,}6845 \cdot \mu \quad (r = {}^2/_3\ \mu) \qquad (10).$$
$$r = 0{,}5978 \cdot D \qquad (11).$$
$$r = 0{,}8453 \cdot E \qquad (12).$$

Wszystkie wyżej opisane błędy spostrzeżeń, służące do określania dokładności szeregu poszczególnych mierzeń, nie przedstawiają istotnie prawdziwej wartości, lecz tylko najprawdopodobniejszą wartość danego błędu.

Wzory 10, 11 i 12 wskazują, że błąd średni μ jest znacznie większy od pozostałych błędów r, D i E. Wobec tego i ocena dokładności pomiaru tym błędem jest prawdziwsza, gdyż z większem prawdopodobieństwem rzeczywisty błąd pomiaru znajduje się w granicy błędu μ, czyli w granicy błędu największego.

W dziale nauk geodetycznych, astronomicznych i t. p., do określenia miary dokładności stosuje się przeważnie błąd średni μ.

W pomiarze balistycznym, w którym nie zachodzi żadna nieprzewidziana przeszkoda, otrzymane trzy wielkości błędu prawdopodobnego r, obliczone z μ, D lub E, powinny być do siebie zbliżone, a w szczególności te wielkości dla r, które były obliczone z D i E.

---

*) Błąd prawdopodobny r swoją bezwzględną wielkością zajmuje środkowe miejsce wśród wszystkich otrzymanych błędów poszczególnych mierzeń.

Według dowodu podanego przez Eberharda stosunek wielkości dla błędu prawdopodobnego r, otrzymanego z D i E, według wzoru 11 i 12, t. j. $\frac{0,5978}{0,8453} \cdot \frac{D}{E}$ powinien być zawarty w granicach 0,8 do 1,2; w przeciwnym bowiem razie zachodzi przypuszczenie, że zaszła nieprzewidziana przeszkoda.

W tym wypadku oblicza się prawdobodobny błąd r tylko z błędu D, według wzoru 11; oczywiście jeżeli nie powtarzamy pomiaru.

W balistyce oprócz wyżej podanych błędów, służących do oceny dokładności pomiarów, używa się jeszcze 50 procentowego prawdopodobieństwa rozrzutu*) s_{50}; przyczem $s_{50} = 2 . r$.

Każdy z wyżej podanych błędów μ, E, D i r, a w szczególności błąd średni μ poszczególnego mierzenia określa nam miarę dokładności każdego poszczególnego mierzenia.

Znajomość miary dokładności poszczególnych mierzeń, nie zadowalnia nas jeszcze w zupełności, gdyż dokładność ta nie określa z jaką ścisłością otrzymaliśmy wynik szeregu mierzeń, t. j. średnią arytmetyczną.

Jest rzeczą oczywistą, że w tej średniej $X_{śr}$ również jest zawarty pewien błąd.

Ten prawdziwy błąd wyniku ξ równa się różnicy prawdziwej mierzonej wielkości i otrzymanego najprawdopodobniejszego wyniku t. j.: $X - X_{śr} = \xi$.

Nie znając prawdziwej wielkości X nie możemy w danym wypadku obliczyć prawdziwego błędu ξ; stosując jednak prawo teorji błędów, możemy znaleźć tylko najprawdopodobniejszą średnią wartość tego błędu ξ.

Oznaczając tę wartość, czyli średni błąd wyniku literą m, na podstawie rachunku teorji błędów otrzymalibyśmy, że

$$m = \pm \frac{\mu}{\sqrt{n}} \qquad (13).$$

Wzór ten wskazuje, że błąd średni wyniku m jest $\sqrt{n}$ razy mniejszy od błędu średniego μ poszczególnego mierzenia.

Znaczy to, że powiększając ilość poszczególnych mierzeń n tej samej wielkości, powiększamy jednocześnie i dokładność z jaką otrzymujemy ostateczny wynik pomiaru, t.j. średnią arytmetyczną $X_{śr}$.

W pomiarach balistycznych twierdzenia tego nie należy stosować w całej rozciągłości, zarówno ze względu na koszty z tem

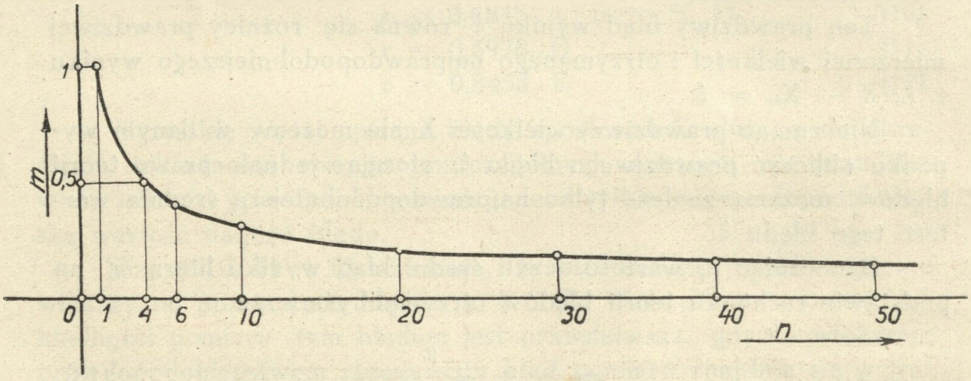
*) Niektórzy nazywają rozrzut s_{50} rozrzutem średnim.

związane (np. strata amunicji), jak i ze względu na możliwość występowania innych nieprzewidzianych przeszkód w postaci błędów, które mogą wpłynąć niekorzystnie na dokładność pomiaru (np. zmiany atmosferyczne w czasie badania, rozgrzanie broni i t. d.).

Celem uwidocznienia z ilu powtarzanych mierzeń powinien składać się pewien pomiar balistyczny (np. ile strzałów należy oddać, by zbadać celność amunicji pewnej partji), aby błąd średni wyniku był jak najmniejszy, a tem samem otrzymany wynik jak najbardziej zbliżał się do wartości rzeczywistej, wykonajmy wykres wzoru 13 (rys. 1), przyjmując, że w danym pomiarze średni błąd $\mu = 1$, t. j. $m = \frac{1}{\sqrt{n}}$. Współrzędne tej funkcji będą:

odcięte	n =	1,	2,	4,	6,	8,	10,	20,	50,	1000
rzędne	m =	1,	0,71	0,50	0,41	0,35	0,32	0,22	0,14	0,01

Wykres wzoru 13, jak i powyższe zestawienie współrzędnych, wskazują zmniejszanie się średniego błędu wyniku *m*, ze zwiększaniem ilości wykonanych pomiarów tej samej wielkości; przyczem dla $n = \infty$ błąd ten dąży do zera.



Rys. 1.

Z wykresu tego widzimy, że w przedziale od $n = 1$ do $n = 10$ zmniejszenie się błędu *m* ze zwiększeniem ilości mierzeń postępuje dość znacznie, w przedziale zaś od $n = 10$ do 20 widzimy nieznaczne zmniejszanie się błędu, a dalsze zwiększanie ilości mierzeń *n* jest prawie bez wpływu na zmniejszenie błędu wyniku.

Z powyższego wynika, że wykonywanie większej ilości mierzeń badanej wielkości byłyby bezcelowe, zarówno ze względu na stratę czasu, jak i związane z tem koszty.

Dlatego też przyjęto, aby każda serja każdego badania bali-

stycznego składała się z 5 — 15 mierzeń (zazwyczaj przyjmuje się n = 10).

To powolne z ilością pomiarów *n* zwiększanie się ścisłości ostatecznego wyniku $X_{śr}$ poddaje nam myśl, że korzystniej jest postępować po linji udoskonalania metod pomiarowych i przyrządów, aby otrzymać jak najmniejszy błąd średni *p.* poszczególnego mierzenia, aniżeli wykonywać bardzo długie i żmudne serje pomiarów z mniejszą dokładnością.

Tym samym prawom co błąd średni wyniku *m*, podlega również t. zw. błąd prawdopodobny wyniku *w*, który obliczyć możemy z następującej zależności:

$$w = \frac{r}{\sqrt{n}} \qquad (14).$$

gdzie *r* — jest błędem prawdopodobnym mierzenia, *n* — ilością mierzeń (np. oddanych strzałów w poszczególnej serji badań).

§ 5. Reguła chybionych mierzeń.

Czasem może się zdarzyć podczas badań, że wynik pewnego pomiaru w serji przeprowadzonych mierzeń pewnej wielkości, z nieznanych i przypadkowych przyczyn odchyla się w dość dużym stopniu (znaczny błąd λ) od obliczonej średniej wartości.

Przyczyną tego są t. zw. nieprzewidziane przeszkody np. szybkie ogrzanie lufy broni, jej zanieczyszczenia i t. p. Objawia się to zwłaszcza przy strzałach początkowych.

W danym wypadku mówi się o absolutnie chybionych pomiarach.

Zachodzi teraz pytanie, czy podobne wyniki mierzeń należy uwzględnić w ostatecznych obliczaniach i w jakich wypadkach.

Odpowiedzi na te pytania są różne, np. na podstawie zasad Gaussa nie należy wprowadzać w danym wypadku jakichkolwiek reguł, w praktyce jednak, a w szczególności przy badaniach balistycznych wszelkie reguły pomocne do rozstrzygnięcia kwestji czy dany pomiar powinien być z dalszych obliczeń usunięty lub też nie, są pożądane, a czasem i niezbędne.

Na podstawie rozważań teoretycznych, Chauvenet, Peirce, Vallier, Mazzuoli, Heydenreich i Rohne podali różne prawa, o absolutnie chybionych pomiarach.

Prawa te wprawdzie różnią się między sobą, dadzą się jednak streścić w jednym zdaniu, a mianowicie: p o m i a r w y ł ą c z a s i ę, j e ż e l i j e g o b ł ą d λ j e s t w i ę k s z y o d *x* — k r o t n e j w a r t o ś c i p r a w d o p o d o b n e g o b ł ę d u *r*.

Na podstawie liczb wynikających z rozważań teoretycznych, ułożono do celów praktycznych zestawienie wartości x (tabl. 1).

TABLICA 1.

Ilość mierzeń w serji n	Spółczynnik x.					
	Chauvenet	Peirce	Vallier	Heidenreich	Mazzuoli	Rohne
3	—	1,8	—	—	1,46	—
4	2,27	2,05	2,27	—	1,73	1,5
5	2,43	2,24	2,43	2,76	1,91	1,79
6	2,56	2,39	3,25	2,91	2,05	2,04
7	2,66	2,51	3,45	3,03	2,18	2,27
8	2,77	2,61	3,60	3,12	2,28	2,48
9	2,83	2,70	3,69	3,20	3,36	2,67
10	2,92	2,78	3,84	3,27	2,44	2,84
12	3,02	2,92	4,00	3,37	2,58	3,18
20	3,33	3,27	4,49	3,64	2,91	4,25
25	3,41	—	4,70	3,75	3,84	4,80

Spółczynniki x podane przez Chauvenet'a na podstawie licznych prób i doświadczeń są najprawdopodobniejsze, dlatego też stosuje się je przeważnie w pomiarach balistycznych celem rozstrzygnięcia, czy dany pomiar ma być brany pod uwagę do zasadniczych obliczeń.

Przykład.

Pewną partję amunicji zbadano pod względem szybkości początkowej dziesięcioma strzałami i otrzymano następujące wyniki:

Liczba porządkowa strzałów	Zmierzona szybkość w m/sek.	Odchylenie $\lambda = v_{śr} - v$	λ^2
1	874,9	− 6,1	37,21
2	874,2	− 5,4	29,16
3	882,5	− 13,7	187,69
4	865,3	+ 3,5	12,25
5	866,1	+ 2,7	7,29
6	869,7	− 0,9	0,81
7	861,7	+ 7,1	50,41
8	863,9	+ 4,9	24,01
9	862,2	+ 6,6	43,56
10	867,5	+ 1,3	1,69
Suma . .	8688,0	0,0	381,59

Wynik pomiaru według wzoru 2 wynosi $v_{śr} = \frac{8688}{10} = 868{,}8$ m/sek. Na podstawie tej wielkości obliczono poszczególne błędy pozorne, czyli odchylenia λ.

Z powyższego pomiaru widzimy zbyt duże odchylenie strzału 3 dla którego odchylenie to $\lambda_3 = 13{,}7$ m/sek.

Celem ustalenia czy strzał ten powinien być wyłączony z pomiaru, posługujemy się regułą chybionych mierzeń, t. zn. badamy czy λ_3 jest większe od $x \,.\, r$; przyczem x z tablicy 1 według Chauvenet'a wynosi 2,92, błąd zaś prawdopodobny według wzoru 10 i 5

$$r = {}^{2}/_{3} \sqrt{\frac{381{,}59}{9}} = \text{ok. } \pm 4{,}35 \text{ m/sek., więc}$$

$$x \,.\, r = 2{,}92 \,.\, 4{,}35 = \text{ok. } 12{,}7.$$

Widzimy stąd, że $\lambda_3 = 13{,}7$ jest większe niż 12,7, strzał więc trzeci na podstawie prawa Chauvenet'a należy wyłączyć, a obliczenie przeprowadzić dla 9 pozostałych mierzeń.

§ 6. Ogólny wynik pomiaru w kilku serjach.

W praktyce doświadczalnej zdarza się często, że pomiar pewnej wielkości wykonywamy w kilku serjach, przyczem każda serja jest wykonana innym sposobem innym przyrządem i przez innego obserwatora.

W takim wypadku możemy otrzymać dla każdej serji pomiaru tej samej badanej wielkości, np. szybkości amunicji, ciśnienie gazów prochowych, rozrzutu podczas badania celności i t. p., inne średnie arytmetyczne i inny stopień dokładności: mówimy wtedy o niejednakowo dokładnych pomiarach.

Zachodzi teraz pytanie, jaki powinien być wynik ogólny tych wszystkich pomiarów badanej tej samej wielkości i jaki jest stopień dokładności całego badania.

Naprzykład, mierzymy różnemi przyrządami A, B, C, ... szybkość początkową pewnej partji amunicji, przyczem ilość strzałów serji A wynosi n_1, serji B, n_2, i t. d.

Otrzymane szybkości średnie dla każdej serji pomiarów oznaczmy przez X_1, X_2, ... X_z, a ilość wykonanych seryj w różnych warunkach przez z. Najprawdopodobniejszy ogólny wynik dla całego pomiaru t. j. średnia szybkość badanej amunicji nie będzie wynosiła jakby się zdawało $X_{śr} = \frac{X_1 + X_2 + \ldots + X_z}{z}$, tylko:

$$X_{śr} = \frac{p_1 \cdot X_1 + p_2 \cdot X_2 + \ldots\ldots + p_z \cdot X_z}{p_1 + p_2 + \ldots\ldots + p_z} \qquad (15).$$

Spółczynniki wyrównawcze występujące w tym wzorze p_1, p_2, ... p_z nazywamy wagami spostrzeżeń. Wagi te wyrównywają stopień dokładności przeprowadzonych mierzeń.

Aby wagi te w poszczególnych wypadkach obliczyć, rozważmy trzy zasadnicze przykłady, mogące zdarzyć się w pomiarach:

a) Stopień dokładności poszczególnych mierzeń każdej serji jest stały, czyli średni błąd wszystkich poszczególnych mierzeń wynosi μ, tylko ilość mierzeń (strzałów) każdej serji inna t. j. n_1, n_2, n_3 .... n_z jak i średnie arytmetyczne (wyniki) poszczególnych seryj X_1, X_2, ... X_z są różne.

W danym przykładzie ogólna średnia wynosi:

$$X_{śr} = \frac{n_1 \cdot X_1 + n_2 \cdot X_2 + \ldots + n_z \cdot X_z}{n_1 + n_2 + \ldots\ldots + n_z} \qquad (16).$$

Z wzoru 16 widzimy, że spółczynniki wyrównawcze czyli wagi wynoszą: $p_1 = n_1$; $p_2 = n_2$; .... $p_z = n_z$.

Średni błąd m ogólnej średniej $X_{śr}$ w tym wypadku wynosi:

$$m = \frac{\mu}{\sqrt{p_1 + p_2 + \ldots p_z}} \qquad (17).$$

By wykazać prawdziwość wzoru 16 i 17, przyjmijmy, że ilość mierzeń w pierwszej serji wynosi np. $n_1 = 3$, w drugiej zaś $n_2 = 5$.

Oznaczamy wielkości otrzymane z poszczególnych mierzeń pierwszej serji przez l_1, l_2, l_3, drugiej zaś l_4, l_5, l_6, l_7 i l_8.

Wobec tego założenia średnia arytmetyczna dla pierwszej serji będzie $X_1 = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{3}$ stąd $3X_1 = l_1 + l_2 + l_3$; podobnie dla następnej serji $5X_2 = l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8$.

Przy takiem założeniu ogólna średnia będzie:

$$X_{śr} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8}{8} = \frac{3X_1 + 5X_2}{3 + 4};$$

w ogólnym zaś wypadku otrzymalibyśmy:

$$X_{śr} = \frac{n_1 \cdot X_1 + n_2 \cdot X_2 + \ldots}{n_1 + n_2 + \ldots},$$

a więc $p_1 = n_1$; $p_2 = n_2$; .... $p_z = n_z$.

Biblioteka Główna AGH im. Stanisława Staszica w Krakowie

W powyższym przykładzie błąd średni każdego mierzenia przyjęliśmy jako stały, równający się μ, średni więc błąd ogólnej średniej na podstawie wzoru 13 będzie:

$$m = \frac{\mu}{\sqrt{8}} = \frac{\mu}{\sqrt{3+5}}.$$

W ogólnym wypadku $m = \frac{\mu}{\sqrt{p_1 + p_2 + \ldots + p_z}}$.

b) Ilość mierzeń w każdej serji jest jednakowa, czyli

$$n = n_1 = n_2 = \ldots = n_z$$

lecz dokładności poszczególnych mierzeń dla każdej serji są różne, a mianowicie: dla pierwszej serji średni błąd spostrzeżenia μ_1, dla drugiej μ_2, i t. d.

W danym wypadku ogólny wynik badania

$$X_{śr} = \frac{p_1 \cdot X_1 + p_2 \cdot X_2 + \ldots + p_z \cdot X_z}{p_1 + p_2 + \ldots\ldots + p_z}$$

znajdziemy, podstawiając następujące wartości dla wag:

$$p_1 = \frac{1}{\mu_1^2}, \quad p_2 = \frac{1}{\mu_2^2}, \ldots p_z = \frac{1}{\mu_z^2} \qquad (18).$$

Dokładność wyniku $X_{śr}$ całego pomiaru znajdziemy z następujących zależności:

$$\frac{1}{m^2} \text{ lub } \frac{1}{\mu^2} = \frac{1}{\mu_1^2} + \frac{1}{\mu_2^2} + \ldots + \frac{1}{\mu_z^2} \qquad (19).$$

Obliczenie to stosuje się także w wypadku gdy X_1, X_2, X_3, ... X_z, nie określają średniej arytmetycznej poszczególnych seryj pomiarów, lecz tylko są wielkościami pojedyńczych mierzeń, które z różną dokładnością zostały zbadane.

W celu uzasadnienia powyższych praw, przypuśćmy, że wykonaliśmy jakiś pomiar np. w 3 serjach; przyczem każda składa się z *n* mierzeń.

Niech średnie wyniki dla każdej serji wynoszą X_1, X_2 i X_3, a średni błąd poszczególnych mierzeń pierwszej serji μ_1, dla drugiej μ_2 i dla trzeciej μ_3.

Średnie błędy średnich arytmetycznych X_1, X_2, X_3 wynoszą w danym wypadku według wzoru 13 $\frac{\mu_1}{\sqrt{n}}$, $\frac{\mu_2}{\sqrt{n}}$ i $\frac{\mu_3}{\sqrt{n}}$.

Przypuśćmy, że pomiar każdej z tych trzech seryj równoważy się z takiemi fikcyjnemi trzema serjami pomiarów, w których średni błąd μ poszczególnych mierzeń jest wielkością stałą, lecz ilość mierzeń w każdej serji jest inna, a mianowicie: n_1, n_2 i n_3.

Te fikcyjne serje należą do wypadku opisanego w punkcie a), więc ich wagi wynoszą: $p_1 = n_1$, $p_2 = n_2$ i $p_3 = n_3$.

Na podstawie teorji błędów wynika, że dwie serje pomiarów równoważą się wtedy, gdy ich błędy średnie *m*, średniej arytmetycznej są sobie równe, t. j. $\frac{\mu_1}{\sqrt{n}} = \frac{\mu}{\sqrt{n_1}}$, $\frac{\mu_2}{\sqrt{n}} = \frac{\mu}{\sqrt{n_2}}$ i

$\frac{\mu_3}{\sqrt{n}} = \frac{\mu}{\sqrt{n_3}}$ lub $\frac{\mu_1}{\sqrt{n}} = \frac{\mu}{\sqrt{p_1}}$, $\frac{\mu_2}{\sqrt{n}} = \frac{\mu}{\sqrt{p_2}}$ i $\frac{\mu_3}{\sqrt{n}} = \frac{\mu}{\sqrt{p_3}}$,

a stąd $p_1 = \frac{n \cdot \mu^2}{\mu_1^2}$, $p_2 = \frac{n \cdot \mu^2}{\mu_2^2}$ i $p_3 = \frac{n \cdot \mu^2}{\mu_3^2}$, a ponieważ

ogólna średnia dla trzech seryj fikcyjnych wynosi:

$$X_{śr} = \frac{p_1 \cdot X_1 + p_2 \cdot X_2 + p_3 \cdot X_3}{p_1 + p_2 + p_3}$$

$$\text{lub } X_{śr} = \frac{\frac{n \cdot \mu^2}{\mu_1^2} X_1 + \frac{n \cdot \mu^2}{\mu_2^2} X_2 + \frac{n \cdot \mu^2}{\mu_3^2} X_3}{\frac{n \cdot \mu^2}{\mu_1^2} + \frac{n \cdot \mu^2}{\mu_2^2} + \frac{n \cdot \mu^2}{\mu_3^2}},$$

więc ostatecznie zaś będzie:

$$X_{śr} = \frac{\frac{1}{\mu_1^2} X_1 + \frac{1}{\mu_2^2} X_2 + \frac{1}{\mu_3^2} X_3}{\frac{1}{\mu_1^2} + \frac{1}{\mu_2^2} + \frac{1}{\mu_3^2}}$$

czyli $p_1 = \frac{1}{\mu_1^2}$, $p_2 = \frac{1}{\mu_2^2}$, $p_3 = \frac{1}{\mu_3^2}$ i t. d.

Ponieważ w powyższych zależnościach nie występuje ilość mierzeń *n*, więc obliczenia te są ważne i dla $n = 1$, t. j. w wy-

padku gdy X_1, X_2 i X_3 nie przedstawiają wartości średnie, tylko są wielkościami pojedyńczych mierzeń, wykonanych z różną dokładnością μ_1, μ_2 i μ_3.

c) Ilość mierzeń (strzałów) n_1, n_2, ... n_z, w każdej serji jak i dokładność poszczególnych mierzeń μ_1, μ_2, ... μ_z, dla każdej serji są różne.

Biorąc pod uwagę wypadek pierwszy i drugi, opisany w punktach a) i b), lub też wyrażając w wypadku drugim μ_1, μ_2, ... μ_z, przez $\frac{\mu_1}{\sqrt{n_1}}$, $\frac{\mu_2}{\sqrt{n_2}}$, ... $\frac{\mu_z}{\sqrt{n_z}}$, otrzymamy dla tego przykładu następujące wagi:

$$p_1 = \frac{n_1}{\mu_1^2}, \quad p_2 = \frac{n_2}{\mu_2^2}, \quad \ldots \quad p_z = \frac{n_z}{\mu_z^2} \tag{20}$$

$$\text{i} \quad \frac{1}{m^2} = \frac{n_1}{\mu_1^2} + \frac{n_2}{\mu_2^2} + \ldots + \frac{n_z}{\mu_z^2} \tag{21}$$

Przykład. Zbadano szybkość początkową pewnej partji amunicji w dwóch serjach i dwoma przyrządami; przyczem w pierwszej serji oddano $n_1 = 9$ strzałów, w drugiej zaś $n_2 = 10$ strzałów.

Z obliczeń pierwszej serji oddanych strzałów otrzymano, iż średnia szybkość wynosi $v_1 = 867{,}3$ m/sek., a średnie odchylenie $\mu_1 = \pm 4{,}7$ m/sek., dla drugiej zaś serji $v_2 = 860{,}1$ m/sek. i $\mu_2 = \pm 3{,}1$ m/sek.

W danym przykładzie wagi będą wynosiły:

$$p_1 = \frac{n_1}{\mu_1^2} = \frac{9}{4{,}7^2} = 0{,}41, \quad \text{a}$$

$$p_2 = \frac{n_2}{\mu_2^2} = \frac{10}{3{,}1^2} = 1{,}04$$

Na podstawie wzoru 15 najprawdopodobniejsza średnia szybkość tej amunicji wyniesie:

$$v_{śr} = \frac{867{,}3 \cdot 0{,}41 + 860{,}1 \cdot 1{,}04}{0{,}41 + 1{,}04} = 862{,}1 \text{ m/sek.}$$

§ 7. Zastosowanie metody najmniejszych kwadratów do pomiarów balistycznych.

Z treści poprzednich paragrafów widzieliśmy, że każdy pomiar jakiejkolwiek wielkości jest zawsze obciążony nieuniknionym większym lub mniejszym błędem.

Oceną dokładności jakiegoś pomiaru obciążonego błędami były pewne wielkości w postaci różnych błędów, z których najprawdopodobniejszą wartością do oceny był błąd średni

$$\mu = \sqrt{\frac{\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \ldots + \lambda_n^2}{n-1}}$$

poszczególnych mierzeń w pewnej serji badań.

Z powyższego określania błędu średniego μ widzimy, że pomiar jakiś jest tem dokładniejszy, im ten błąd μ będzie mniejszy, t. j. gdy suma kwadratów poszczególnych odchyleń

$$\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \ldots + \lambda_n^2 = \text{minimum.} \qquad (22).$$

Oparte na tej zasadzie wyrównanie błędów pewnego pomiaru, nazywamy metodą najmniejszych kwadratów.

Metoda ta służy do rozwiązywania rozmaitych zagadnień, związanych z wyznaczaniem pewnych niewiadomych wielkości na podstawie dokonanych pomiarów, czyli do wyznaczania różnych wzorów empirycznych według których najprawdopodobniej badane zjawiska się odbywają.

Obszerne zastosowanie ma ta metoda w praktyce pomiarowej, w szczególności w miernictwie zjawisk balistycznych, oraz w ujmowaniu tych zjawisk w pewne prawa teoretyczne w postaci wzorów empirycznych.

Celem wykazania w jaki sposób stosuje się metodę najmniejszych kwadratów do wyznaczenia np. wzoru empirycznego jakiegoś badanego zjawiska balistycznego, weźmy pod uwagę następujący przykład: przypuśćmy, że badając zależność między donośnością strzału x, a czasem lotu pocisku t, otrzymaliśmy sposobem pomiarowym, że donośnościom $x = 1, 2, 3, 4, 5$ km, odpowiadają następujące czasy lotu pocisku $t = 2{,}6; 6{,}0; 10{,}1; 14{,}9$ i $20{,}50$ sek.

Zadaniem naszem jest znalezienie zależności między donośnością x, a czasem lotu pocisku t, w granicach $x = 1$ do 5 km.

Przyjmijmy, że ta zależność jest funkcją rzędu drugiego, w postaci: $t = a \cdot x + b \cdot x^2$.

O przyjęciu odpowiedniego stopnia szukanej funkcji rozstrzyga w przybliżeniu wykres wartości otrzymanych z pomiaru, wykonany w odpowiednim układzie; w danym wypadku w układzie t, x.

Do obliczeń niewiadomych spółczynników a i b posiadamy pięć równań, dotyczących pięciu mierzeń, a mianowicie:

$$2{,}6 = 1 \cdot a + 1^2 \cdot b$$
$$6{,}0 = 2 \cdot a + 2^2 \cdot b$$
$$10{,}1 = 3 \cdot a + 3^2 \cdot b \quad \text{i t. d.}$$

Z powyższego widzimy, że z każdych dwu dowolnych równań otrzymamy dla *a* i *b* różne wielkości.

Przypuśćmy, że obliczamy *a* i *b* z dwu pierwszych równań; wtedy a = 2,2; b = 0,4; a szukany wzór empiryczny będzie:

$$t = 2{,}2 \cdot x + 0{,}4 \cdot x^2.$$

Przyjmując tę zależność do naszych rozważań jako najprawdopodobniejszą, otrzymalibyśmy następujące wyniki:

obliczone:	t = 2,6;	6,0;	10,2;	15,2;	21,0 sek.
zmierzone:	t = 2,6;	6,0;	10,1;	14,9;	20,5 sek.
różnica:	λ = 0,0;	0,0;	+ 0,1;	+ 0,3;	+ 0,5 sek.

Przy tem założeniu suma kwadratów poszczególnych odchyleń wynosi:

$$\sum \lambda^2 = 0{,}1^2 + 0{,}3^2 + 0{,}5^2 = 0{,}35.$$

Z definicji metody najmniejszych kwadratów wiemy, że spółczynniki *a* i *b* wtedy będą najprawdopodobniejsze, gdy warunek $\Sigma \lambda^2$ = minimum będzie spełniony (gdyż tylko wtedy błąd λ będzie równomiernie rozłożony na poszczególne spotrzeżenia). W danem obliczeniu nie wiemy, czy $\Sigma \lambda^2 = 0{,}35$ spełnia ten warunek.

Wobec powyższego do obliczenia *a* i *b* stosujemy metodę najmniejszych kwadratów; a więc:

$$\sum \lambda^2 = (1 \cdot a + 1^2 \cdot b - 2{,}6)^2 + (2 \cdot a + 2^2 \cdot b - 6)^2 + + (3 \cdot a + 3^2 \cdot b - 10{,}1)^2 + \ldots = \text{minimum}.$$

Oznacza to, że należy dla *a* i *b* obrać takie wartości, by suma powyższych kwadratów posiadała jak najmniejszą wartość.

Wogóle wartości maksymum jak i minimum jakiejkolwiek funkcji obliczamy w ten sposób, że wyszukujemy pochodną tej funkcji i przyrównywamy ją do zera, a otrzymane wartości z tego równania $\frac{dy}{dx} = 0$ są wielkościami dla których dana funkcja y = f(x) posiada wartość największą lub najmniejszą.

Ponieważ w naszym przykładzie mamy do czynienia z funkcją o dwu zmiennych *a* i *b*, należy więc znaleźć dla niej pochodne cząstkowe i porównać je z zerem, t. j. $\frac{\partial (\Sigma \lambda^2)}{\partial a} = 0$ i $\frac{\partial (\Sigma \lambda^2)}{\partial b} = 0$; z tych dwu równań znajdziemy *a* i *b*, dla których to wartości funkcja $\Sigma \lambda^2$ = minimum.

W danym przykładzie będzie:

$$\frac{\partial (\Sigma \lambda^2)}{\partial a} = (a + b - 2{,}6) + 2 \cdot (2a + 2^2 \cdot b - 6) + 3\,(3a + 3^2 \cdot b - $$

$$- 10 \cdot 1) + 4 \cdot (4a + 4^2 \cdot b - 14{,}9) + 5 \cdot (5a + 5^2 \cdot b - 20{,}5) = 0$$

$$\frac{\partial (\Sigma \lambda^2)}{\partial b} = (a + b - 2 \cdot 6) + 2^2 \cdot (2a + 2^2 \cdot b - 6) + 3^2 \cdot (3a +$$

$$+ 3^2 \cdot b - 10 \cdot 1) + \ldots = 0 \quad \text{lub}$$

$$a\,(1 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + 5^2) + b\,(1 + 2^3 + 3^3 + 4^3 + 5^3) - (2{,}6 +$$

$$+ 2 \cdot 6 + 3 \cdot 10{,}1 + 4 \cdot 14{,}9 + 5 \cdot 20{,}5) = 0$$

$$a\,(1 + 2^3 + 3^3 + 4^3 + 5^3) + b \cdot (1 + 2^4 + 3^4 + 4^4 + 5^4) - (2{,}6 +$$

$$+ 2^2 \cdot 6 + 3^2 \cdot 10{,}1 + 4^2 \cdot 14{,}9 + 5^2 \cdot 20{,}5) = 0$$

Po zredukowaniu tych dwu równań otrzymamy:

$$55 \cdot a + 225 \cdot b = 207$$

$$225 \cdot a + 979 \cdot b = 868{,}4$$

Po rozwiązaniu tych równań otrzymujemy: $a = 2{,}2554$ i $b = 0{,}3686$. Wobec powyższego szukany wzór empiryczny, określający zależność między czasem lotu pocisku a donośnością, będzie:

$$t = 2{,}2554 \cdot x + 0{,}3686 \cdot x^2$$

Na podstawie tego wzoru empirycznego, dla $x = 1, 2, 3, 4$ i 5 km, obliczono: $t = 2{,}624$; 5,9852; 10,0836; 14,8392; 20,367 sek.
z pomiaru: $t = 2{,}6$; 6,0; 10,1; 14,9; 20,5 sek.
różnica: $\lambda = -0{,}024$; 0,0148; 0,0164; 0,0608; 0,133 sek.
więc suma kwadratów:

$$\Sigma \lambda^2 = 0{,}024^2 + 0{,}0148^2 + 0{,}0164^2 + 0{,}0608^2 + 0{,}133^2 = 0{,}02245$$

Z powyższego przykładu widzimy, że otrzymana w ten sposób suma kwadratów poszczególnych błędów jest o wiele mniejsza od poprzednio obliczonej, gdyż jest wartością najmiejszą, a więc i otrzymany wzór empiryczny jest najprawdopodobniejszą zależnością między czasem lotu pocisku a dośnością, w granicach od $x = 1$ do $x = 5$ km.

Średni błąd pomiaru w danym wypadku będzie również najmniejszy i wyniesie według praw teorji błędów

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\Sigma \lambda^2}{n - m}} \qquad (23).$$

gdzie m — oznacza ilość obliczonych spółczynników, a n — ilość wykonanych pomiarów.

Z wzoru tego $\mu = \pm \sqrt{\frac{0{,}02245}{5 - 2}} = \text{ok.} \pm 0{,}09.$

ROZDZIAŁ II.

PRZYRZĄDY DO POMIARÓW SZYBKOŚCI POCISKÓW I KRÓTKICH OKRESÓW CZASU.

§ 8. Ogólny opis.

Jedną z najważniejszych własności balistycznych pocisków jest ich wielkość szybkości początkowej, t. j. szybkości lotu pocisku tuż przy wylocie lufy, jako też szybkość w dowolnych punktach toru, gdyż od tych wielkości zależą inne własności balistyczne, jak: ruch pocisku, jego donośność, celność, skuteczność podczas uderzenia, przebijalność i t. d.

Poza tem szybkość początkowa pocisków nietylko uzmysławia sprawność amunicji, lecz również służy do oceny sprawności użytego materjału miotającego (prochu), broni i stopnia zużycia jej lufy.

Do pomiarów szybkości pocisków posiadamy przyrządy mierzące wprost szybkość pocisku w pewnym pożądanym punkcie toru pocisku t. zw. szybkościomierze i przyrządy mierzące pośrednio t. zw. czasomierze, przy pomocy których mierzy się czas lotu pocisku t w sekundach, w pewnej określonej drodze s metrów. Po zmierzeniu czasu t, z łatwością otrzymujemy z wzoru na szybkość ruchu jednostajnego średnią szybkość pocisku w drodze s, równającą się:

$$v_{s/2} = \frac{s}{t}; \qquad (24).$$

t. j. w przybliżeniu szybkość w odległości s/2 od wylotu lufy, czyli od punktu początkowego drogi s (rys. 2).

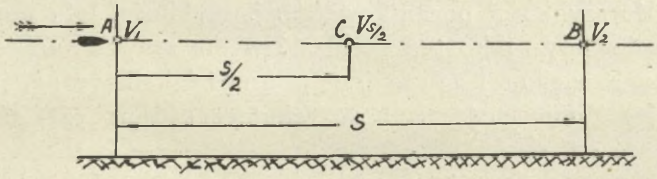
Jest to dlatego przybliżona szybkość, gdyż w rzeczywistości pocisk między punktem A i B zakreśla linję krzywą z szybkością zmienną (malejącą) z powodu działania opóźnienia, spowodowanego ośrodkiem. Przyjmując jednak odległość punktów AB = s jako sto-

sunkowo małą, możemy w przybliżeniu przyjąć drogę pocisku jako linję prostą i uważać, że szybkość w tej drodze jest jednostajnie malejącą od v_1 do v_2. Wtedy średnia szybkość w drodze s wyniesie:

$$v_{śr} = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{s}{t}. \qquad (25).$$

Według praw ruchu jednostajnie opóźnionego byłaby to szybkość, którąby pocisk posiadał po czasie t/2; ponieważ jednak różnica szybkości $v_1 - v_2$ w danym wypadku jest mała, więc w przybliżeniu możemy uważać, że jest to szybkość pocisku w punkcie C odległym o $s/_2$ od punktu A i dlatego oznaczamy ją wskaźnikiem $s/_2$ t.j. $v_{s/_2}$ (w rzeczywistości punkt C, w którym pocisk posiada tę szybkość, znajduje się w większej odległości, aniżeli $s/_2$ od punktu A).

Wobec powyższego szybkość otrzymaną w ten sposób możemy nazwać szybkością czasomierzową pocisku, a to celem odróżnienia jej od prawdziwej szybkości pocisku.



Rys. 2.

Z pierwszej grupy przyrządów tak zwanych szybkościomierzy, wyliczamy z ważniejszych następujące:

a) Szybkościomierz wahadłowy, zwany wahadłem balistycznem, służący do pomiaru szybkości w określonym punkcie toru. Punkt ten, w którym ustawia się wahadło, powinien leżeć w pobliżu wylotu lufy, by uniknąć zbyt dużych błędów, mogących powstać z powodu ukośnego uderzenia pocisku w wahadło.

b) Specjalny aparat fotograficzny, którym wykonywamy zdjęcie pocisku w locie wraz z falami powietrza, powstałemi wskutek jego ruchu w atmosferze. Metoda ta polega na tem, że im większa jest szybkość pocisku, tem mniejszy jest kąt pochylenia tych fal względem osi pocisku; cały więc pomiar szybkości polega na dokładnem zmierzeniu wielkości kąta φ nachylenia fali do osi pocisku (rys. 3).

AB — oznacza kierunek osi pocisku i jego ruchu, BC — kierunek fali (balistycznej) powietrza, v — szybkość pocisku, c — szybkość fali głosowej w atmosferze powietrza.

Punkt B uzmysławia przednią część pocisku. Pod wpływem ruchu pocisku np. od A do B rozchodzą się w powietrzu od przed-

niej części pocisku kuliste podłużne fale głosowe ze znaną szybkością c = ok. 340 m/sek. (333 m sek. przy 0°C w suchem powietrzu).

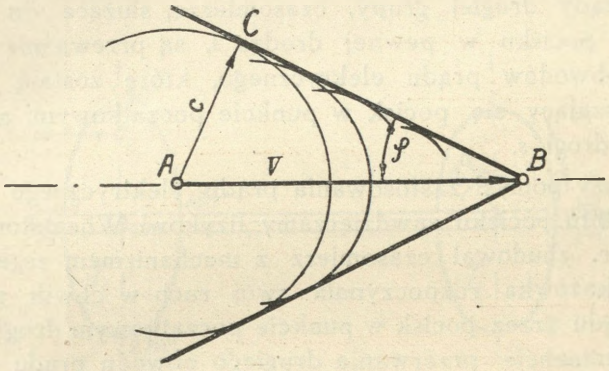
W wypadku gdy pocisk, który jest źródłem tych fal porusza się z szybkością większą od szybkości rozchodzenia się tych fal głosowych t. j. v>c to powstałe fale kuliste składają się na jedną falę stożkową, snującą się od przedniej części B pocisku.

Z trójkąta ABC otrzymamy wzór szybkości pocisku:

$$v = \frac{c}{\sin \varphi}$$

Stosując ten sposób do pomiarów szybkości pocisków, prof. E. Mach otrzymał w r. 1884 dość dobre wyniki.

Od tego czasu dopiero weszło w życie fotografowanie różnych zjawisk balistycznych do celów praktycznych.



Rys. 3.

Pomiar tą metodą można wykonywać tylko wtedy, gdy szybkość pocisku jest większa od normalnej szybkości głosu w danem ośrodku, gdyż w przeciwnym razie nie powstają charakterystyczne fale powietrza, snujące się obok i za pociskiem. Ze względu na dokładność pomiarową, sposób prof. E. Macha nie nadaje się do badania szybkości pocisku w punktach bardziej oddalonych od wylotu lufy, z powodu większych nieprzewidzianych odchyleń pocisku, uniemożliwiających dokładne uchwycenie aparatem fotograficznym.

W ostatnich latach konstrukcję aparatu fotograficznego do zdjęć zjawisk balistycznych oparto na innych zasadach i tak udoskonalono, że można fotografować loty pocisków w dowolnych punktach toru, co daje możność zbadania zmiany szybkości w czasie całego przelotu pocisku.

c) Galwanometr elektryczny, mierzący prąd zmienny, powstały

w zwojach drutu przeciętego linjami sił magnetycznych poruszającego się magnesu. Przy badaniu szybkości pocisku, poruszającym się magnesem jest pocisk namagnesowany *).

Zasada pomiarowa polega na tem, że im prędzej porusza się magnes, lub też namagnesowany pocisk, to tem silniejszy powstaje w zwojach drutu prąd indukcyjny, a tem samem powstanie większe odchylenie wskazówki galwanometru, które jest miarą badanej szybkości. Przyrządem tym można również mierzyć szybkość pocisku w lufie.

Zasada działania tego szybkościomierza może być jeszcze oparta na zmianie kierunku linji sił pola magnetycznego, wywołanego poruszającym się pociskiem **).

W nowszych czasach na podobnej zasadzie zbudowano w Ameryce czasomierz — solenoid, który jest już w użyciu (§ 15 ust. 2 b)

Przyrządy drugiej grupy, czasomierze, służące do pomiarów czasu lotu pocisku w pewnej drodze *s*, są przeważnie oparte na działaniu obwodów prądu elekrycznego, które zostają przerwane przez poruszający się pocisk w punkcie początkowym, a następnie końcowym drogi *s*.

Pierwszy pomysł zastosowania prądu elektrycznego do pomiarów czasu lotu pocisku zawdzięczamy fizykowi Wheatstonowi, który w 1840 r. zbudował czasomierz z mechanizmem zegarowym, w którym wskazówka rozpoczynała swój ruch w chwili przerwania obwodu prądu przez pocisk w punkcie początkowym drogi *s*, a kończyła w momencie przerwania drugiego obwodu prądu w punkcie końcowym drogi *s*.

Uruchomienie jak i zatrzymanie mechanizmu zegarowego odbywało się pod wpływem sił dwóch elekromagnesów, działających w momentach przerwania prądu. Czas lotu pocisku w pewnej drodze *s*, odczytywało się na tarczy zegarowej.

Przyrząd ten nie stał wówczas jeszcze na wysokości swego zadania, jednak przewodnia myśl podana przez Wheatstona, oparta na zastosowaniu prądu elektrycznego w czasomierzach, stopniowo rozwijała się przez wprowadzanie w życie przyrządów bardziej udoskonalonych, a przeważnie różniących się między sobą zmianą urzą-

---

*) Prof. A. Bernini wykazał doświadczalnie, że podczas strzelania pocisk, gazy miotające i broń do pewnego stopnia elektryzują się („Rivista di artigleria e genio" 1928).

**) O ile wiadomo szybkościomierz ten dotychczas nie ma jeszcze praktycznego zastosowania, pomimo ogłoszonego patentu i wykonanych prób.

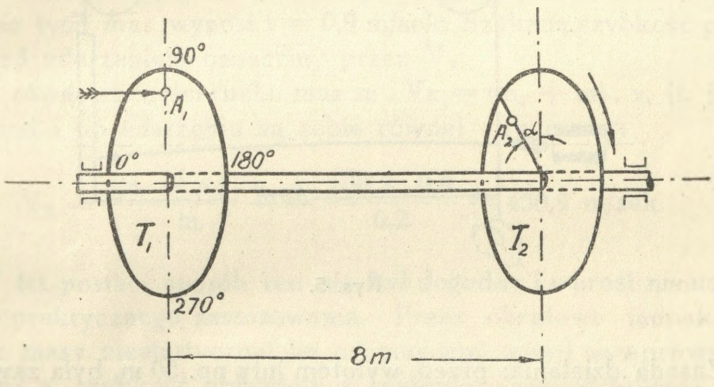
dzeń mechanizmów mierzących czas, tak zwanych chronometrów i chronografów.

Nowsze czasomierze oparte są przeważnie na zastosowaniu metod natury optycznej, akustycznej i elektro-kinematograficznej.

§ 9. Mechaniczne sposoby badania szybkości.

Najdawniejsze sposoby badania szybkości początkowej pocisków były obliczane z czasu lotu pionowego strzału, lub z donośności skośnego strzału. Wyniki badań tego rodzaju wobec małej znajomości skutku oporu ośrodka i innych wpływów występujących podczas lotu pocisku, były bardzo wątpliwe i niedokładne.

Do dawniejszych przyrządów można zaliczyć czasomierz Groberta (około 1800 r.), rys. 4, oparty na zasadzie pomiaru czasu lotu pocisku od wirującej tekturowej tarczy T_1 do T_2, z wielkości róż-



Rys. 4.

nicy kąta obrotu między jednem przedziurawieniem A_1, a drugiem A_2. Obie tarcze umieszczone na wspólnej osi wykonywały około 60 obrotów na minutę pod wpływem spadającego ciężaru uwiązanego do sznurka, który był nawinięty na tejże osi obrotowej.

Ze względu na niemożliwość dokładnego zmierzenia różnicy kąta przebić α i ilości obrotów tarczy, pomiar tym czasomierzem był bardzo niedokładny.

By błąd ten zmniejszyć, udoskonalono ten czasomierz zwiększając ilość obrotów tarczy z 60 do 480 obrotów na minutę i odległość tarcz z 4 m do 8 m, stosując jednocześnie napęd przy pomocy kół zębatych.

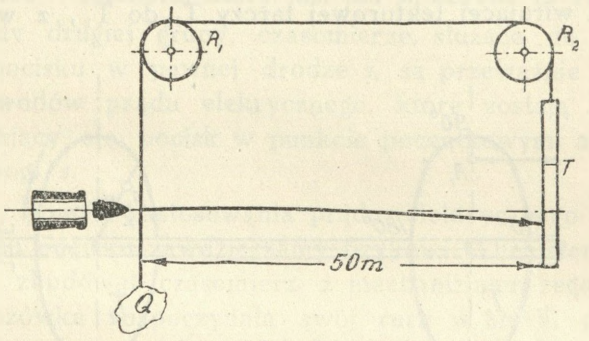
Dokładność pomiarowa szybkości tym czasomierzem według

teoretycznych rozważań wynosić mogła od 1,5 do 2,5%, oczywiście przy badaniu szybkości o wiele mniejszej, aniżeli obecnej amunicji.

W nowszych czasach na podobnej zasadzie został skonstruowany przez Hartmanna i Brauna czasomierz, którego budowa jest bardzo podobna do czasomierza dawniejszej konstrukcji Mathey'a. Zasadniczą częścią tego czasomierza jest wirujący próżny walec (kartonowy). Szybkość oblicza się z wielkości odchylenia otworów powstałych na powierzchni walca przez wlot i wylot pocisku, podczas jego ruchu wirowego o znanej ilości obrotów.

Pod względem dokładności jednak czasomierz ten niewiele jest lepszy od dawnych czasomierzy zbudowanych na podobnej zasadzie.

W r. 1834 kpt. Debooza zastosował do pomiaru szybkości pocisku przyrząd, którego schemat widzimy na rys. 5.



Rys. 5.

Zasada działania: przed wylotem lufy np. 50 m, była zawieszona na sznurku przeprowadzonym przez dwie rolki R_1, R_2 tarcza T utrzymana w stanie równowagi ciężarkiem Q. Po oderwaniu ciężarka Q wylatującym z broni pociskiem, tarcza swobodnie spadała i po pewnym czasie została przebita pociskiem.

Z wysokości spadania tarczy, można było obliczyć czas lotu pocisku od momentu przerwania sznura aż do chwili przebicia tarczy.

Czasomierz ten był niejako poprzednikiem obecnie stosowanego czasomierza le Boulengé (§ 10).

Dokładność tego czasomierza, jak już sama budowa i zasada pomiarowa wskazuje, była bardzo mała.

W 1911 r. na tej samej zasadzie zbudowali czasomierz Lachausée i Genouceux do celów pomiarowych szybkości poszczególnych lotek naboju śrutowego. Zasadniczemi częściami tego czasomierza są dwie tarcze ustawione równolegle w pewnej znanej

odległości; pierwsza przy wylocie lufy jest stała, druga ruchoma jest utrzymana w stanie wiszącym siłą elektromagnesu.

W chwili przebijania pierwszej tarczy lotkami śrutowemi elektromagnes przestawał działać, a tarcza druga rozpoczynała ruch swobodnego spadania.

Pomiar polegał na odmierzaniu wysokości spadania ruchomej tarczy przez porównanie przebić poszczególnych lotek śrutowych.

Stosując później podany sposób przez Cassiniego, a polegający na przelaniu szybkości mniejszej masy pocisku, na większą nieelastyczną masę swobodnie spoczywającą (przez uderzenie), otrzymano dokładniejsze wyniki badań szybkości, gdyż większa masa otrzymuje o wiele mniejszą szybkość, którą łatwiej i dokładniej możemy zbadać.

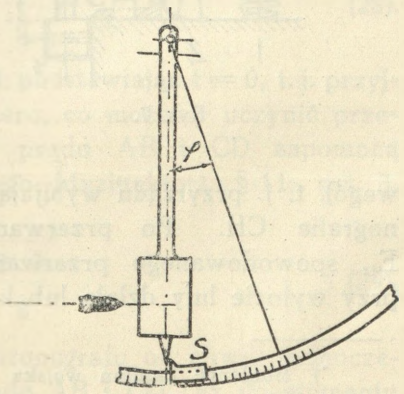
Przykład: masa pocisku $m = 0{,}2$,
masa nieelastyczna $m_1 = 100$.

Po uderzeniu pocisku w masę nieelastyczną, niech zbadana szybkość obu tych mas wynosi $v = 0{,}9$ m/sek. Szukaną szybkość pocisku tuż przed uderzeniem oznaczmy przez V_x.

Z równoważności ruchu mas $m \cdot Vx = (m_1 + m) \cdot v$, (t. j. pędy mas przed i po uderzeniu są sobie równe) otrzymamy:

$$V_x = \frac{(m_1 + m) \cdot v}{m} = \frac{100{,}2 \cdot 0{,}9}{0{,}2} = 450{,}9 \text{ m/sek.}$$

W tej postaci sposób ten nie był dogodny i wprost nie nadawał się do praktycznego zastosowania. Przez obrotowe jednak umieszczenie masy nieelastycznej na osi poziomej, został on wprowadzony w życie, a szybkość obliczano z wielkości kąta odchylenia się tej masy w chwili uderzenia pocisku. W ten sposób został wynaleziony i z biegiem czasu coraz bardziej udoskonalony szybkościomierz wahadłowy, np. tak zwane wahadło balistyczne Didion—Morin-Piobert. Wahadło to posiadało kształt dużej skrzyni drewnianej z piaskiem lub ołowiem o wadze do 6000 kg powieszonej na osi stojaka, rys. 6.

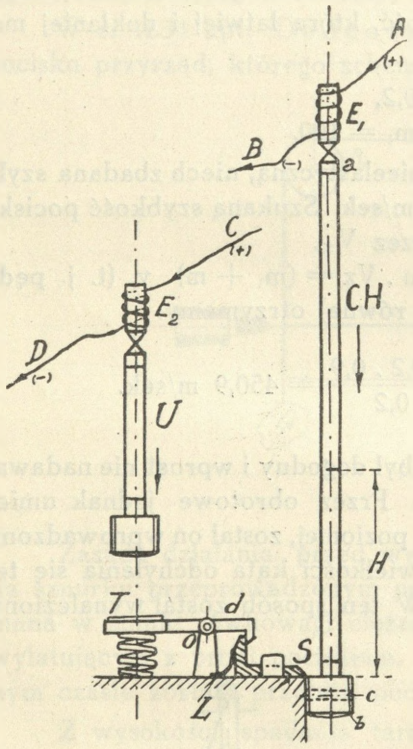


Rys. 6.

Odchylenie wahadła, spowodowane uderzeniem pocisku, odczytywało sięna podziałce kątowej, umieszczonej pod wahadłem. Maksymalną wielkość tego kąta od-

znaczał suwak S, umieszczony na łuku podziałki. Przesunięcie tego suwaka było spowodowane odchyleniem wahadła.

Budowę tego wahadła balistycznego udoskonalił później Chev. S Minarelli — Fitzgerald, zastępując skrzynię drewnianą wypełnioną piaskiem lub ołowiem, płytą stalową. Dokładność pomiarowa udoskonalonego później wahadła balistycznego była już bardzo duża; np. wahadłem konstrukcji Didion'a i Sonnet'a otrzymano szybkość początkową z dokładnością kilku dm. na sekundę. Zaznaczę tutaj, że im bliżej znajduje się wahadło od wylotu lufy, tem pomiar będzie dokładniejszy; należy jednak zwrócić przytem uwagę, aby gazy wylotowe, wyprzedzające pocisk, nie uderzały przedwcześnie w wahadło.



Rys. 7.

Pomimo dość dużej dokładności, szybkościomierza tego obecnie do pomiarów się nie stosuje, a to ze względu na niedogodność jego użycia, trudną obsługę i niemożliwość stosowania go do innych pomiarów, z wyjątkiem badań szybkości początkowej pocisku.

§ 10. Zasada działania czasomierza le Boulengé-Breger *).

Schemat tego czasomierza widzimy na rys. 7.

Eletromagnesy E_1 i E_2 zasilane prądem elektrycznym z baterji, swoją siłą elektromagnetyczną utrzymują w stanie wiszącym ciężarek CH, t. zw. chronograf (chronometr) i ciężarek U służący do uruchomienia dźwigni *d* przyrządu cechującego (mechanizmu spustowego), t. j. przyrządu wybijającego ostry znak na spadającym chronografie CH. Po przerwaniu obwodu prądu elektromagnesu E_1, spowodowanego przerwaniem obwodu elektrycznego AB tuż przy wylocie lufy działa lub karabina, pociskiem wylatującym, siła

*) Boulengé kapitan wojska belgijskiego był wynalazcą tego czasomierza w 1864 r., Breger zaś kapitan wojska francuskiego udoskonalił ten czasomierz.

magnetyczna elektromagnesu E_1 znika, a chronograf CH zaczyna swobodnie spadać. W momencie zaś przerwania obwodu prądu elekromagnesu E_2 spowodowanego również przerwaniem obwodu elektrycznego CD lecącym pociskiem, w miejscu odległym np. s = 50 m od wylotu lufy, ciężarek uruchamiający (opadnik) U, spadając swobodnie na talerz T, swoim ciężarem obraca dźwignię *d* dokoła osi O, — ta zaś oswobadza suwak ostro zakończony S, który pod wpływem siły sprężyny spustowej L, uderza w spadający chronograf, wybijając na nim ostry znak.

Odległość otrzymanego w ten sposób znaku, od znaku stałego chronografu, znajdującego się naprzeciw ostrza suwaka S, gdy chronograf znajduje się w stanie wiszącym, nazywamy wysokością H spadania chronografu w czasie

$$T = t + t_1 \qquad (26).$$

gdzie *t* jest czasem lotu pocisku w drodze *s* znajdującej się między przerywaczami obwodów elektrycznych AB i CD, t_1 czasem od chwili swobodnego spadania ciężarka (opadnika) U, aż do momentu wybicia znaku na chronografie CH przez ostrze S; — czas ten nazwijmy czasem oderwania (dyzjunkcji).

By otrzymać czas lotu pocisku *t*, z wz. 26, musimy znać całkowity czas spadania T chronografu i czas oderwania (dyzjunkcji) t_1.

Z wzoru wysokości swobodnego spadania ciał pod wpływem siły ciężkości $H = \frac{1}{2} g . T^2$ (gdzie $g = 9{,}81$ m/sek.^{2}), otrzymamy:

$$T = \sqrt{\frac{2 . H}{g}} \qquad (27).$$

lub

$$t + t_1 = \sqrt{\frac{2 . H}{g}} \qquad (28).$$

Czas oderwania t_1 znajdziemy z wz. 28, podstawiając $t = 0$, t. j. przyjmując, że czas lotu pocisku wynosi zero, co możemy uczynić przerywając równocześnie oba obwody prądu AB i CD zapomocą odpowiedniego wyłącznika elektrycznego (dyzjunktor), § 11, ust. 3.

Więc

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 . h}{g}} \qquad (29).$$

gdzie *h* jest wysokością spadania chronografu od chwili jednoczesnego przerwania obu kontaktów prądu AB i CD, aż do momentu wybicia znaku na nim.

Czasomierz można tak wyregulować przez ustawienie na takiej wysokości elektromagnesu E_2, aby wysokość spadania chronografu $h = 110{,}37$ mm; wtedy z wz. 29,

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 110{,}37}{9810}} = 0{,}15 \text{ sek.};$$

jest to przyjęty stały czas oderwania (dyzjunkcji) dla czasomierza Boulengé, według którego należy przed użyciem czasomierz ten wyregulować.

Znając już czas T i t_1 otrzymamy z wz. 27 i 29:

$$t = T - t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} - \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} \qquad (30).$$

lub

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} - 0{,}15 \text{ sek.} \qquad (31^*).$$

Mając dany czas lotu pocisku t, według wz. 24 otrzymamy szybkość (początkową) pocisku $v_{s/2} = \frac{s}{t}$ t. j. szybkość w odległości $\frac{1}{2}$. s od wylotu lufy.

Mierząc czasomierzem Boulengé czas lotu pocisku, przyjmujemy zazwyczaj $s = 50$ m i otrzymujemy wtedy szybkość pocisku v_{25} t. j. w odległości 25 m od wylotu lufy karabina lub działa.

Przy pomiarach większej szybkości przyjmuje się $s = 100$, 150 i 200 m, a odpowiednie szybkości będą: v_{50}, v_{75} i v_{100}.

Powyższa zasada obliczania szybkości lotu pocisków służy do ułożenia tablicy szybkości pocisków (tabl. 2).

W praktyce, po odpowiedniem wyregulowaniu czasomierza i sprawdzeniu dokładności jego działania, wykonywa się pomiar, następnie odczytuje się nonjuszem (rys. 10) wysokość H otrzymaną na chronografie i wprost z tabl. 2 otrzymujemy szybkość pocisku. Tablica 2 jest wykonana dla kilku przyjętych wielkości drogi s., lecz nie jest to jednak konieczne, gdyż znając np. szybkość v_{25} możemy łatwo z wzoru

$$v_{s/2} = \frac{v_{25} \cdot s}{50} \qquad (32).$$

znaleźć szybkość pocisku przy innej wielkości drogi s, wzdłuż której badamy czas lotu pocisku.

---

*) Gdy wysokość H spadania chronografu CH mierzymy w milimetrach, to przyśpieszenie ziemskie g podajemy w mm/sek.^{2} (więc $g = 9810$ mm/sek.^{2}).

Wzór 32 jest wynikiem następującego dowodu: z tablicy 2 z szybkości pocisku, posługując się wzorem $T = \frac{50}{v_{25}} + 0{,}15$ znajdziemy czas dla danej wysokości H spadania chronografu; przy innym rozstawieniu przerywaczy dla tej samej wysokości H, czas ten $T = \frac{s}{v_{s/2}} + 0{,}15$. Z tych dwu równań mamy: $\frac{50}{v_{25}} = \frac{s}{v_{s/2}}$, a stąd otrzymamy wzór 32.

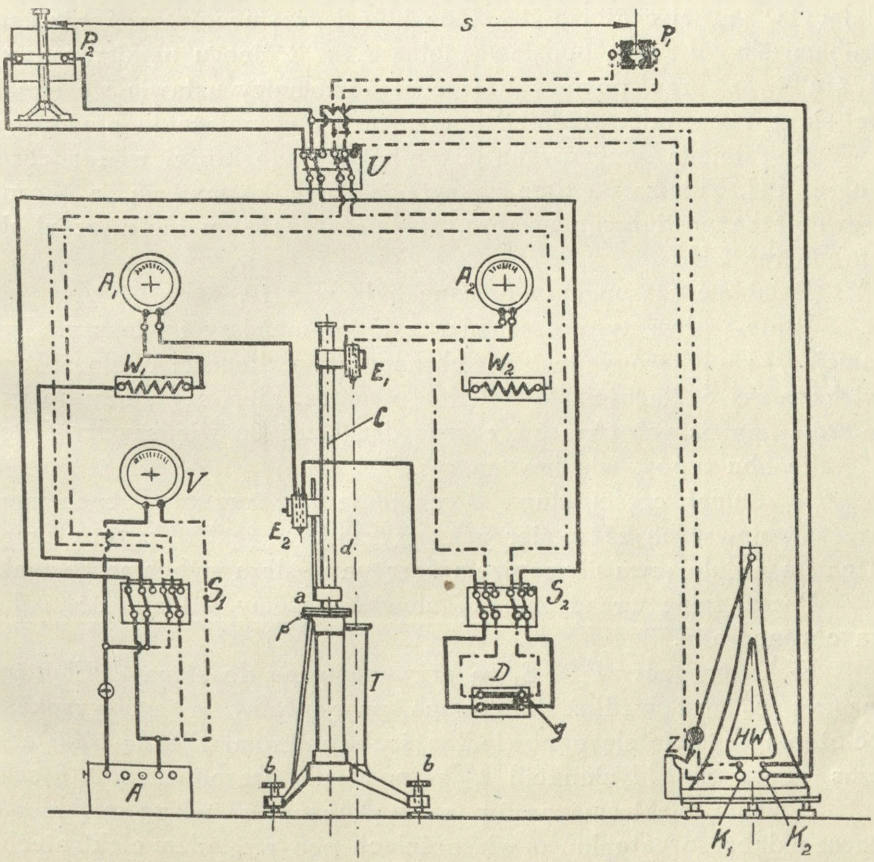
§ 11. Opis aparatu le Boulengé-Breger.

(Fabrykacji firmy Hahn w Cassel).

Schemat połączeń aparatu Boulengé widzimy na rys. 8.

Urządzenie to składa się z następujących części:

1. czasomierz C;
2. przerywacze prądu P_1 i P_2 ;



Rys. 8.

3. tablica rozdzielcza z dwoma podwójnemi wyłącznikami S_1 i S_2, wyłącznikiem D (dyzjunktor), woltomierzem V, dwoma amperomierzami A_1 i A_2, z dwiema opornicami elektrycznemi W_1 i W_2 i przełącznikiem U;
4. baterja z galwanicznych elementów lub akumulator A;
5. wahadło kontrolne Helmholtza-Wolffa HW.

Wszystkie te przyrządy są połączone przewodnikami elektrycznemi i znajdują się w osobnem pomieszczeniu (z wyjątkiem przerywaczy prądu P_1, P_2 znajdujących się w strzelnicy lub w terenie), a to celem uniknięcia wszelkich niepożądanych wpływów, które działają niekorzystnie na dokładność pomiarów.

I. Czasomierz C.

Zasadniczemi częściami czasomierza C, są: podstawa *a* ze słupem *d*, dwa elektromagnesy E_1 i E_2, przyrząd do wybijania znaku na chronografie (przyrząd cechujący) rys. 7, trójnożny stojak posiadający w górnej części płytę *p*, do której przymocowany jest trzema śrubami słup *d* swoją podstawą dolną *a*. W trójnogu umieszczone są 3 śrubki *b*, przy pomocy których i poziomnicy ustawia się stojak ze słupem na odpowiednim fundamencie, w położeniu pionowem.

Do stojaka umocowana jest tulejka T, do której wpada chronograf CH. Tulejka na dnie pokryta jest miękką materją, a boczna wewnętrzna powierzchnia skórą, aby przy spadaniu nie niszczył się chronograf CH.

Działanie czasomierza opisane było w § 10.

Istnieją dwa typy czasomierza C; — mniejszy i większy. Typ mniejszy zaopatrzony jest w chronograf o długości około 50 cm, większy zaś o długości około jednego metra. Pierwszy służy do pomiarów mniejszych okresów czasu, drugi zaś do większych. Fototografję obu typów widzimy na rys. 9.

W dolnej części słupa *d* znajduje się przyrząd cechujący.

W nowszych czasomierzach przyrząd ten jest ulepszony urządzeniem regulującym siły napięcia sprężyny ostrza wybijającego znak.

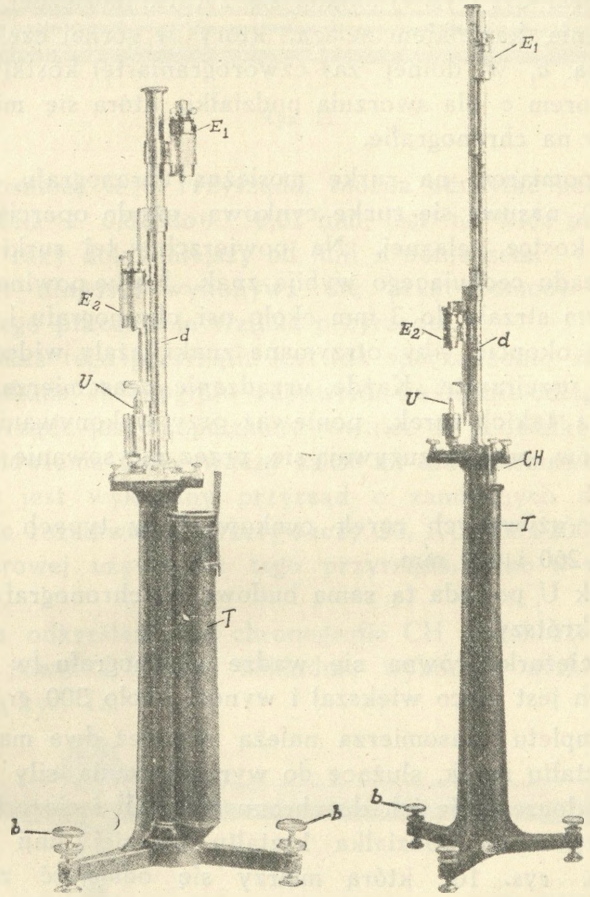
Przez takie urządzenie regulować możemy dokładność znaku na chronografie.

Elektromagnesy E_1 i E_2 są przymocowane do słupa *d*. Elektromagnes E_2 jest wzdłuż linji słupa przesuwalny, a jego wysokość położenia reguluje się odpowiednią śrubą mikrometryczną tak, aby czas oderwania (dyzjunkcji) t_1 wynosił dla czasomierza 0,15 sek.

Rdzenie elektromagnesów są wykonane z żelaza miękkiego, bardzo dobrego gatunku, o własnościach pod względem elektrotechnicznym takich, aby pozostałość magnetyczna po przerwaniu prądu

była jak najmniejsza, gdyż siła jej działa hamująco na swobodne spadanie chronografu CH i ciężarka U.

Elektromagnesy znajdują się w ochronnych puszkach miedzianych. Połączenie baterji ze zwojami elektromagnesów w nowszych czasomierzach odbywa się podczas napinania ostrza przed pomiarem,



Rys. 9.

za pośrednictwem samoczynnego kontaktu, umieszczonego obok przyrządu cechującego. Przez takie połączenie baterji z elektromagnesami, zamknięcie obwodu prądu trwa tak długo, jak długo ostrze S jest napięte, przez co krążenie prądu podczas pomiaru trwa krócej, dlatego też zużycie baterji jak i szkodliwa pozostałość magnetyczna zmniejsza się oraz nie może zajść pomyłka, aby podczas wystrzału ostrze nie było napięte. Takie doprowadzenie prądu do elektromagnesów E_1 i E_2, szczególnie powinno być stosowane przy użyciu przery-

waczy prądów opisanych w ustępie 2. pkt c, d, e, i f, które pod wpływem działania pocisku, tylko przez bardzo krótki czas przerywają krążenie prądu, następnie samoczynnie zpowrotem go włączają.

Podczas pomiaru wogóle należy zwrócić uwagę, by zbytecznie nie przedłużać czasu krążenia prądu.

Chronograf CH (rys. 7) składa się z rurki mosiężnej, zaopatrzonej obustronnie kawałkiem żelaza, który w górnej części posiada kształt stożka *a*, w dolnej zaś czworograniastej kostki *b* z odpowiednim otworem *c* dla sworznia podziałki, którą się mierzy odległość znaków na chronografie.

Przed pomiarem na rurkę mosiężną chronografu, wzdłuż jej całej długości, nasuwa się rurkę cynkową, aż do oparcia na czworograniastej kostce żelaznej. Na powierzchni tej rurki cynkowej ostrze przyrządu cechującego wybija znak. Rurkę powinno się obrócić po każdym strzale do 3 mm około osi chronografu i odpowiednio można ją okopcić, aby otrzymane znaki leżały widocznie obok siebie i były przejrzyste. Każde urządzenie czasomierza Boulengé posiada kilka takich rurek, ponieważ przy wykonywaniu większej ilości pomiarów, prędko zużywają się, przez zarysowanie powierzchni znakami.

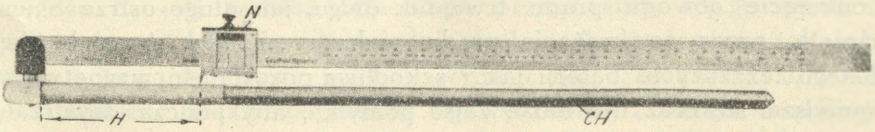
Długość używanych rurek cynkowych w typach mniejszych wynosi: 130, 260 i 520 mm.

Ciężarek U posiada tą samą budowę co chronograf CH, tylko jest o wiele krótszy.

Waga ciężarka równa się wadze chronografu (w niektórych czasomierzach jest nieco większa) i wynosi około 300 gr.

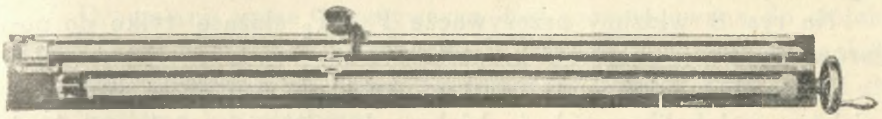
Do kompletu czasomierza należą również dwa małe ciężarki mosiężne kształtu rurek, służące do wyregulowania siły elektromagnesu, przez doczepienie ich do chronografu CH i ciężarka U, oraz dokładnie wykonana podziałka kształtu płaskiej linji metalowej z nonjuszem, rys. 10, którą mierzy się odległość znaków na chronografie CH. Przy pomocy tej linji można odczytać nonjuszem N wysokość H z dokładnością 0,1 mm.

Linja ta, oprócz podziałki długości, posiada również skalę prędkości do 1200 m/sek.



Rys. 10.

Celem dokładniejszego odczytania wysokości H, przy bardzo dokładnych pomiarach nadzwyczaj krótkich okresów czasu, np. przy badaniu wielkich szybkości, stosuje się zamiast opisanej linji, przyrząd mierniczy bębnowy, rys. 11.



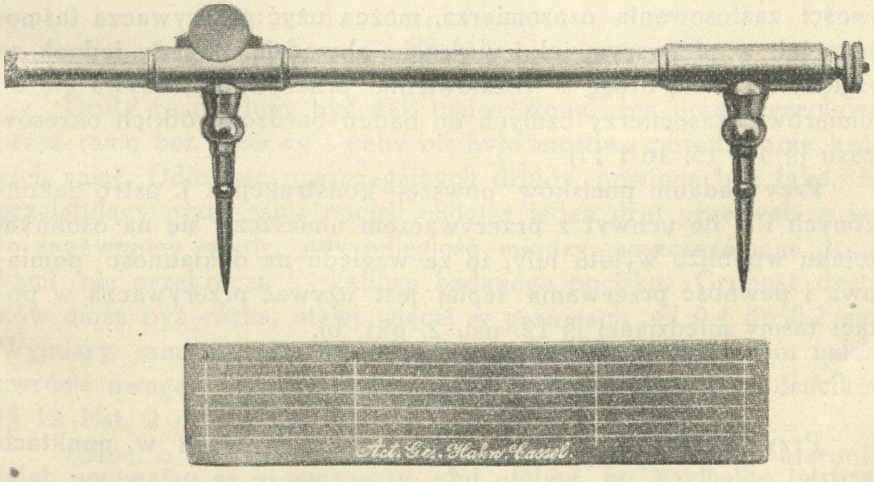
Rys. 11.

Przy pomocy tego przyrządu, można odczytać pewną długość z dokładnością ± 0,02 do ± 0,01 mm; jest to więc przyrząd pięć do dziesięć razy dokładniejszy od linji z nonjuszem.

Odczyt długości wykonywa się przy pomocy mikroskopu, umieszczonego przesuwnie wzdłuż przyrządu.

Podziałka tego przyrządu jest tak sporządzona, że 1 mm wysokości spadania chronografu odpowiada na bębnie odległość 16 mm. Bęben przyrządu jest zaopatrzony również w podziałkę prędkościową dla rozstawienia przerywaczy na 50 m; dla czasomierza zaś większego typu jest wykonany przyrząd o zamiennych dwu różnych bębnach dla rozstawienia przerywaczy 50, 100, 150 i 200 m. W praktyce pomiarowej używa się tego przyrządu, tylko w wyjątkowych wypadkach.

Celem odkreślenia na chronografie CH wysokości h = 110,37 mm służy również bardzo dokładnie wykonany cyrkiel drążkowy z podziałką rys. 12.



Rys. 12.

2. *Przerywacze prądu.*

Przerywacze prądu są to przyrządy, ułatwiające pociskowi przerwanie obwodów prądu w punktach początkowym i końcowym drogi *s*.

Na rys. 8 widzimy przerywacze P_1 i P_2 służące tylko do pomiarów szybkości pocisków karabinowych.

Prócz tych przerywaczy jest w użyciu do pomiarów szybkości pocisków małokalibrowych i działowych wiele innych konstrukcyj opisanych niżej.

a) Drut i taśma miedziana.

Przy badaniu szybkości pocisków małokalibrowych, używa się jako przerywacza pierwszego obwodu prądu, zwykły cienki drucik miedziany (posrebrzany) lub drucik z białego metalu (Neusilber) lub też wąski pasek z blachy miedzianej (taśma) o szerokości 2 do 2,5 mm i grubości 0,1 mm napięty odpowiednim uchwytem.

Uchwyt ten z napiętym drucikiem lub taśmą może się znajdować umocowany na odpowiednim stojaku, znajdującym się wpobliżu wylotu lufy, względnie w punkcie początkowym drogi *s*, lub też może być przymocowany śrubami ustalającemi do lufy przy jej wylocie. Taki właśnie uchwyt z drucikiem widzimy na rys 8 (przerywacz P_1).

Działanie takiego przerywacza polega na tem, że pocisk wylatujący z lufy, przerywając go, przerywa przez to krążenie prądu pierwszego obwodu, gdyż drucik ten jest częścią tego obwodu.

Przy mniejszych rozstawieniach przerywaczy, w granicach możliwości zastosowania czasomierza, można użyć przerywacza taśmowego, tak w pierwszym jak i w drugim obwodzie. Wtedy jednak, ze względu na małą drogę *s* rozstawienia przerywaczy, używa się do pomiarów, czasomierzy czułych do badań bardzo krótkich okresów czasu (§ 14, 15, 16 i 17).

Przy badaniu pocisków nowszej konstrukcji t. j. ostro zakończonych i o ile uchwyt z przerywaczem umieszcza się na osobnym stojaku wpobliżu wylotu lufy, to ze względu na dokładność pomiarową i pewność przerwania lepiej jest używać przerywacza w postaci taśmy miedzianej (§ 12. ust. 2. pkt. b).

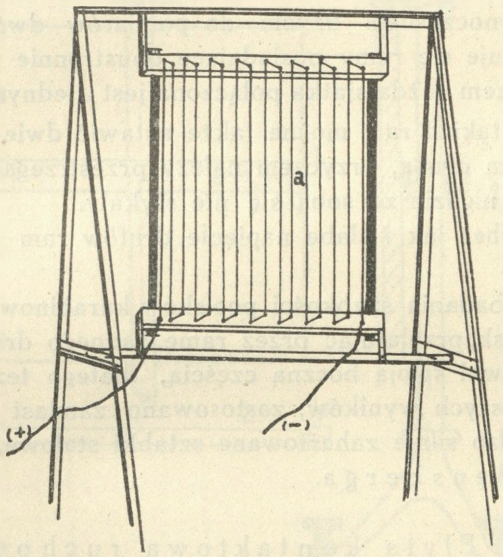
b) Przerywacz ramowy.

Przy badaniu szybkości pocisków karabinowych w punktach bardziej odległych od wylotu lufy, przerywacze są ustawione dalej od wylotu lufy. Przerywacz taki już nie może być jednym druci-

kiem, lub jedną taśmą, lecz splotem całego szeregu drucików, lub też taśm. Jest to t. zw. przerywacz ramowy (rys. 13), który przy badaniu amunicji karabinowej stosowany jest przeważnie w pierwszym obwodzie prądu. Przerywaczy ramowych używa się także do pomiarów szybkości pocisków działowych, w pierwszym i drugim obwodzie prądu.

Drewniana rama przerywacza jest przymocowana do stojaka, wykonanego z kątówek żelaznych. W ramie są napięte równolegle przewody elektryczne z drutu miedzianego, połączone ze sobą i ułożone poziomo lub pionowo.

Napięcie poziome drucików na ramie jest ze względów praktycznych dogodniejsze, gdyż wtedy łatwiej jest druciki po ich przerwaniu zmieniać (oraz rozpiętość drucików jest mniejsza).



Rys. 13.

Druty te powinny być tak umieszczone, by prąd przepływał przez ramę bez przerwy i żeby nie było możliwe powstawanie krótkich spięć. Odległość poszczególnych drutów powinna być taka, by przelatujący przez ramę pocisk chociaż jeden drut przerwał, a jest to zapewnione wtedy, gdy odległość między poszczególnemi drucikami nie przekracza $^1/_3$ kalibru badanego pocisku. Grubość drucików może być różna, mniej więcej w granicach od 0,4 do 0,2 mm. Wymiary ram są zależne od ich zastosowania, przyczem należy zwrócić uwagę, by zbytecznie nie powiększać rozpiętości drucików (§ 12 Ust. 2 pkt. d.).

Ramę, o ile możności należy ustawić prostopadle do kierunku ruchu pocisku.

W przerywaczach ramowych, używanych do pomiarów szybkości amunicji małokalibrowej, napotyka się duże trudności pod względem dokładnego napięcia drucików, ponieważ jest ich znaczna ilość i są blisko siebie ułożone; następnie bardzo często zdarza się, że pocisk nie przerwie żadnego drucika.

By do pewnego stopnia temu zapobiec, dobrze jest podlepić (lakierem szelakowym) z jednej strony wszystkie druciki cienką tarczą papierową.

Użycie tego sposobu ma jeszcze tę zaletę, że prędko można zauważyć, który z drucików został przerwany lub wygięty. Wygięcie zamiast przerwania drucika przez pocisk powoduje również przerwanie prądu, lecz zazwyczaj z pewnem opóźnieniem.

Przy równoczesnem użyciu do pomiarów dwóch czasomierzy Boulengé, stosuje się ramy posiadające obustronnie po jednej siatce drutów, przyczem każda siatka połączona jest z jednym czasomierzem.

Z braku takich ram można także ustawić dwie ramy, o jednej siatce, jedna za drugą, przyczem należy przestrzegać, by przewodniki tych ram nigdzie ze sobą się nie stykały.

Silny wicher jak i słabe napięcie drutów ram sprzyja krótkim spięciom.

Podczas badania szybkości pocisków karabinowych okazało się, że często pocisk, przelatując przez ramę, żadnego drucika nie przerwał, lub przerwał swoją boczną częścią, dlatego też później, celem osiągnięcia lepszych wyników, zastosowano zamiast drucików miedzianych, bardzo silnie zahartowane sztabki stalowe, według wskazówek kpt. B e n s b e r g a.

c) P ł y t a k o n t a k t o w a r u c h o m a.

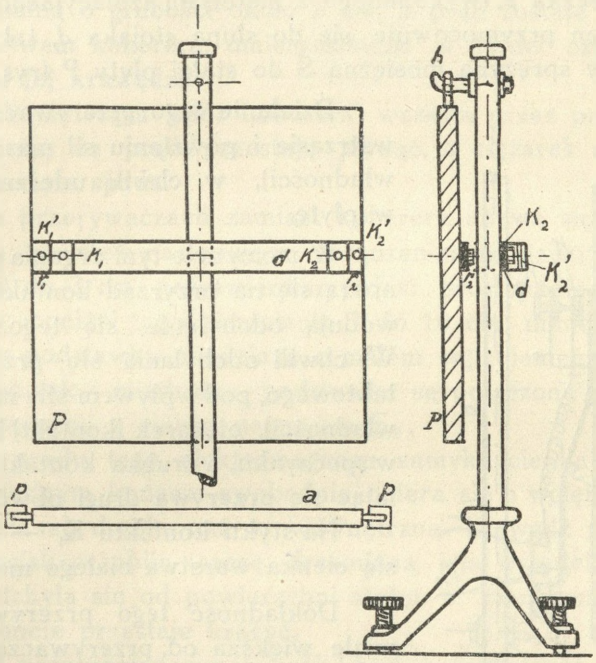
Przerywacza P_2, w postaci płyty z twardej specjalnej stali niklowej, rys. 14 i rys. 3, zawieszonej swobodnie na haku silnego stojaka żelaznego, ustawionego na fundamencie, używa się do przerwania drugiego obwodu prądu, podczas badania szybkości pocisków karabinowych. Wymiary tej płyty zazwyczaj wynoszą 670 × 670 × × 26 mm.

Jak widzimy z rys. 14, do słupa stojaka i do płyty są przymocowane i ustawione naprzeciw siebie po dwa kontakty z białego metalu (Neusilber) K_1 i K_2, oraz K_1' i K_2'. Kontakty K_1 i K_2 umieszczone są na dźwigni *d*, wykonanej z materjału izolacyjnego, przytwierdzonej do słupa stojaka. Kontakty K_1' i K_2' za pośrednictwem ramion r_1, i r_2 są przytwierdzone do płyty ruchomej P.

Gdy kontakty K_1 z K_1' i K_2 z K_2' dotykają się, prąd w dru-

gim obwodzie krąży, w chwili zaś uderzenia pocisku w płytę, płyta lekko się odchyla, kontakty się rozluźniają i następuje przerwanie prądu, które trwa bardzo krótko, gdyż płyta pod wpływem swego ciężaru wraca do pierwotnego położenia, a przez to samoczynnie włącza prąd zpowrotem. Do kontaktów K_1 i K_2 na stałe są przymocowane przewodniki elektryczne drugiego obwodu prądu.

Celem zapewnienia dokładnego styku kontaktów K_1 z K_1' i K_2 z K_2', należy stojak lub płytę odpowiednio ustawić w ten sposób, aby wisząca płyta swoim ciężarem dość silnie dociskała ku



Rys. 14.

sobie wymienione kontakty; przy tem ustawieniu należy jednak uważać, aby nie miało to dość znacznego wpływu na opóźnienie odchylenia się kontaktów w chwili uderzenia pocisku w płytę, gdyż od tego zależy w dużym stopniu dokładność pomiarowa badanego czasu (§ 12. ust. 2. pkt. e).

W nowszej budowie tego przerywacza, płyta nie jest zawieszona na haku *h*, lecz spoczywa swobodnie na dwóch pryzmatach *p*, (rys. 14 a).

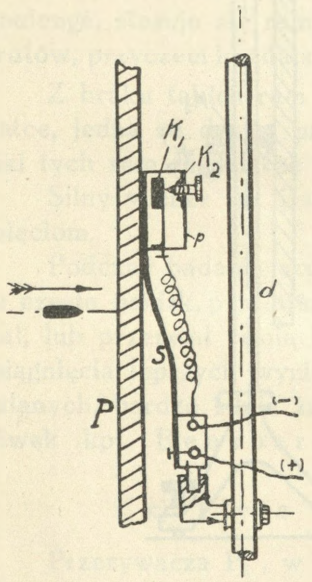
Do pomiarów szybkości lotek naboju śrutowego używa się przerywacza tej samej konstrukcji z tą jednak różnicą, że stalowa płyta ruchoma jest o wiele cieńsza i lżejsza.

Przy tym pomiarze przerywacz ten ustawia się w odległości 10 do 25 m od wylotu strzelby.

d) Płyta kontaktowa stała.

Użycie przerywacza w postaci płyty kontaktowej stałej, jest podobne do poprzedniego; różnica polega jedynie na konstrukcji i sposobie działania.

Płyta tego przerywacza tworzy jedną sztywną całość ze stojakiem, a kontakt znajduje się w osobnym przyrządzie kształtu małego pudełeczka *p*, (wykonanego z materjału izolacyjnego np. z fibry). Przyrząd ten przymocowuje się do słupa stojaka *d*, tak, że jest on przyciśnięty sprężyną mosiężną S do stałej płyty P (rys. 15).



Rys. 15.

Działanie tego przerywacza polega na wstrząsie i powstaniu sił masowych (bezwładności), w chwili uderzenia pocisku w płytę.

W momencie tym drgania płyty P przenoszą się na przyrząd kontaktowy *p* i powodują odchylenie się tegoż od płyty. W chwili odchylania się przyrządu kontaktowego, pod wpływem siły masowej (bezwładności), ciężarek (kontakt) K_1 pozostaje w spoczynku, a śrubka kontaktu K_2, odchylając się przerywa drugi obwód prądu.

Na styku kontaktu K_1 — K_2 znajduje się cienka warstwa białego metalu.

Dokładność tego przerywacza jest o wiele większa od przerywacza w postaci płyty kontaktowej ruchomej (§ 12 ust. 2 pkt. e). Wadą zaś tego przerywacza jest to, że płyta stała z powodu uderzeń pocisków ulega prędszemu zniszczeniu.

Można temu zaradzić przez połączenie konstrukcji pierwszego przerywacza z zasadą działania drugiego, t. zn. gdybyśmy do wiszącej płyty stalowej przymocowali wyżej opisany przyrząd kontaktowy. Działanie niezawodnie byłoby takie, że siła drgającej płyty ruchomej udzieliłaby się masie przyrządu kontaktowego, który mając o wiele mniejszą masę od masy płyty, otrzymałby pod wpływem uderzenia pocisku większe przyśpieszenie, aniżeli płyta, a więc odchyliłby się od niej i nastąpiłoby rozluźnienie kontaktów i przerwanie prądu.

Celem nadania większej czułości takiemu przerywaczowi, a przedewszystkiem usunięcia wpływu zależnego od miejsca uderzenia pocisku w płytę, można do niej przymocować kilka takich przyrządów kontaktowych, połączonych między sobą przewodnikami elektrycznemi.

e) Drewniana tarcza kontaktowa stała.

Przerywacze działające na zasadzie wstrząsu, podobnie jak opisane wyżej, w miejsce nieruchomej płyty stalowej posiadają stałą tarczę drewnianą o grubości około 3 cm, a prąd zostaje przerwany za pośrednictwem koherera, umieszczonego w tylnej części tarczy drewnianej u jej krawędzi.

Wskutek wstrząsu opór koherera wzrasta przez pewien czas do tego stopnia, że prąd przestaje płynąć, a ciężarek uruchomiający U swobodnie spada.

W tych przerywaczach zamiast koherera używa się do przerwania prądu również następujące urządzenia: miedziany pierścień o średnicy 2 do 3 cm przytwierdzony jest prostopadle do tylnej części tarczy; poniżej tego pierścienia 7 do 10 cm umocowana jest do tej tarczy podstawka miedziana z małem wgłębieniem.

Pierścień jak i miedziana podstawka są połączone przewodnikami elektrycznemi z elektromagnesem E_2.

Obwód prądu tego elektromagnesu zamyka cienka igła metalowa, która jednym końcem swobodnie opiera się o wgłębienie podstawki miedzianej, drugim zaś o wewnętrzną krawędź pierścienia.

Gdy pocisk przebija tarczę drewnianą, igła wskutek wstrząsu na chwilę odchyla się od powierzchni styku z pierścieniem i prąd w tym momencie przestaje krążyć.

Według przeprowadzonych prób i badań dokładność tych przerywaczy w użyciu dorównywa przerywaczom ramowym. Tego rodzaju przerywacze nadałyby się dobrze do pomiarów szybkości lotek naboi śrutowych i szrapneli.

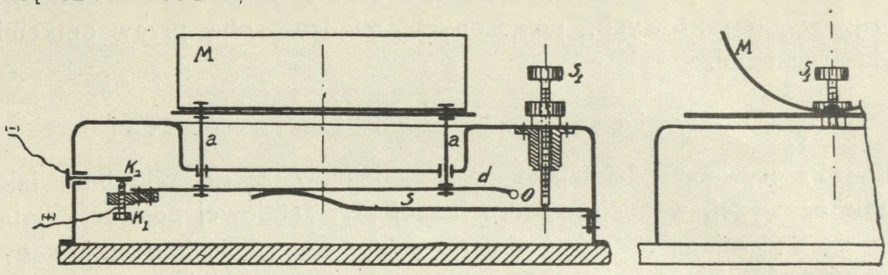
f) Przerywacz elektro-akustyczny (membranowy).

Przerywacz elektro-akustyczny płk. Gossota jest to przyrząd oparty na działaniu uderzenia fal powietrza, wywołanych ruchem pocisku. Stosuje się go przeważnie do badań szybkości pocisków działowych zamiast przerywacza ramowego.

Opis budowy tego przerywacza uwidacznia rys. 16.

Działanie jego polega na uderzeniu o membranę M fali atmosfery powietrza powstałej zboku pocisku, o ile tenże posiada szyb-

kość większą od szybkości głosu, t. j. 334 m/sek; a więc przerywacz ten nadaje się do użycia, jeżeli badana szybkość pocisku jest większa od 334 m/sek.

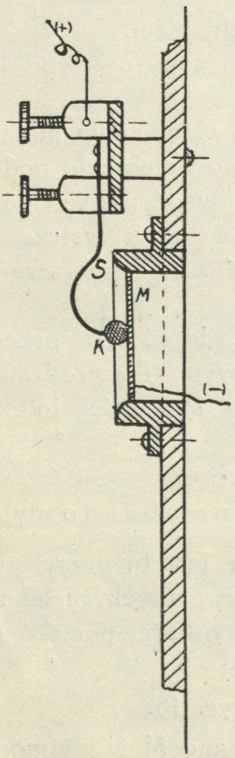


Rys. 16.

Wskutek drgnięcia blaszanej membrany M uchyla się około osi O dźwignia *d* i kontakty K_1 K_2 rozluźniają się.

Śrubka S_1 służy do wyregulowania czułości przerywacza za pośrednictwem siły nacisku sprężyny S działającej na ramię *d*.

Podczas pomiaru przerywacz ten umieszcza się jak najbliżej i zboku toru poruszającego się pocisku. Przy użyciu do pomiarów w pierwszym i w drugim obwodzie prądu takich przerywaczy, należy zwrócić uwagę, by odległości ich od poruszającego się pocisku były o ile możności sobie równe (§ 12, ust. 2, pkt. f).



Rys. 17.

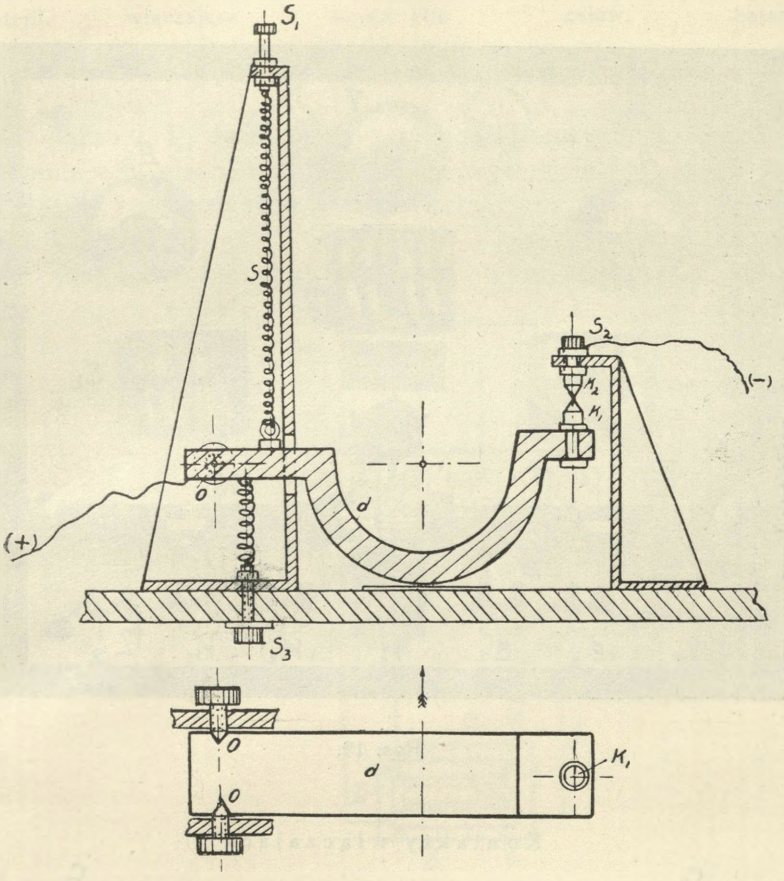
Na rys. 17 widzimy szkic przerywacza elektro-akustycznego, bardzo czułego, który służy przeważnie do badań szybkości fal powietrza wywołanych wybuchem materjału wybuchowego.

W chwili gdy fala powietrza uderzy w blaszaną membranę M, mała kulka stalowa K, lekko przyciśnięta do membrany sprężyną izolowaną S, odchyli się od membrany i w ten sposób prąd zostaje przerwany.

W chwili zaś zetknięcia się kulki K z membraną M, prąd zpowrotem zostaje samoczynnie włączony i krąży przez membranę, kulkę i sprężynę.

Dobrą zaletą tych przerywaczy jest to, że posiadają znikomy opór elektryczny, pod wpływem działania sprężyny S samoczynnie włączają prąd i posiadają dość szeroki zakres zastosowania do różnych pomiarów balistycznych.

Przerywaczy membranowych można również używać do badań szybkości pocisków karabinowych, po odpowiedniem wyregulowaniu ich czułości. Podobnie działający przerywacz stosowany do pomiarów szybkości amunicji małokalibrowej w fabryce F. N. w Belgji widzimy na rys. 18.



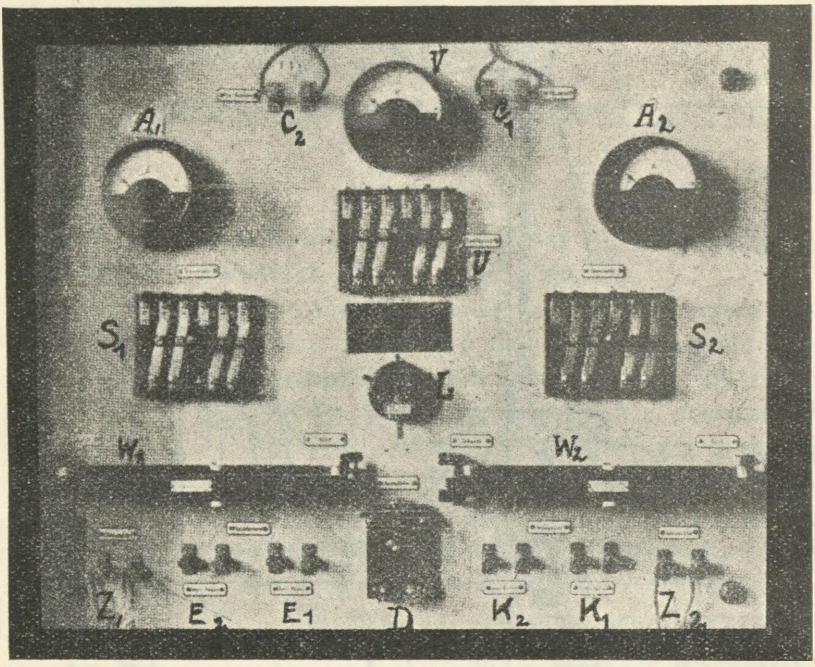
Rys. 18.

Przerywacz ten służy do przerwania pierwszego obwodu prądu i jest umieszczony tuż przy wylocie lufy broni. W chwili kiedy pocisk wylatuje z lufy, zaokrąglona żelazna dźwignia *d* silnej budowy zostaje uderzeniem powietrza i gazów wylotowych odchylona wdół około osi O, a styk kontaktów K_1 — K_2 rozluźniony i w ten sposób następuje przerwanie pierwszego obrotu prądu.

Dźwignia ta jest podtrzymywana sprężyną S. Czułość tego przerywacza, t. j. siłę styku kontaktów K_1 — K_2 reguluje się przy pomocy śrub S_1, S_2 i S_3.

3. *Przyrządy tablicy rozdzielczej.*

Tablicę rozdzielczą wraz z przynależnym osprzętem widzimy na rys. 19. Do osprzętu tego należą przyrządy ogólnie znane w elektrotechnice, więc ustęp ten poświęcam tylko na krótki opis niektórych z nich.



Rys. 19.

Kontakty włączające

C_2
do przerywacza P_2.

V
Woltomierz do zmierzenia napięcia baterji przy zaciskach Z_1, Z_2.

C_1
do przerywacza P_1.

A_1
Amperomierz.

U
Podwójny przełącznik dla przełączenia do przyrządu kontrolnego.

A_2
Amperomierz.

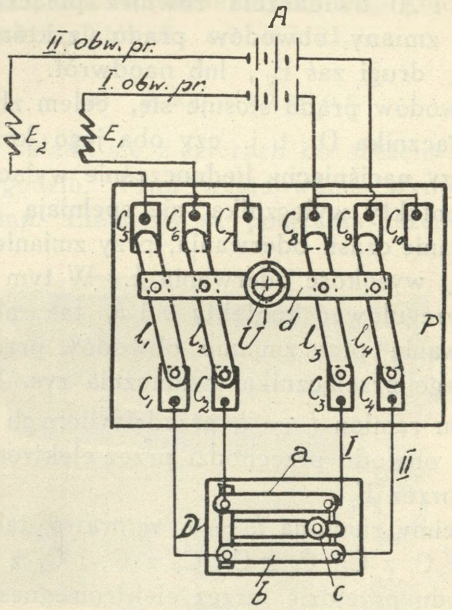
S_1
Podwójny przełącznik do zmiany kierunku prądu.

L
Główny wyłącznik do wyłączenia akumulatorów.

S_2
Podwójny przełącznik do zmiany obwodów prądu.

W_1			W_2	
Opornica do regulowania siły elektromagnesu E1.			Opornica do regulowania siły elektromagnesu E_2.	
Z_1	E_2 E_1	D	K_2 K_1	Z_2
Zacisk do przełączenia baterji.	Kontakty (wtykowe) włączające czasomierz.	Wyłącznik do jednoczesnego przerwania obu obwodów prądu (dyzjunktor).	Kontakty do innych celów.	Zacisk do przełączenia baterji.

Wyłącznik D, uwidoczniony na rys. 8, służy do jednoczesnego przerwania obu obwodów prądu, przez naciśnięcie guziczka *g*, celem sprawdzenia i wyregulowania czasomierza, aby czas oderwania wynosił 0,15 sek.



Rys. 20.

Przełącznik S_1 służy do zmiany kierunków prądu, przełącznik zaś S_2 do zmiany obwodów prądu. Podwójny przełącznik S_1 lub S_2 składa się (rys. 20) z płyty P z dziesięcioma kontaktami, z których pierwsze cztery C_1 — C_4 są umieszczone po jednej stronie płyty P, pozostałe zaś C_5 — C_{10} po drugiej stronie.

Pierwsze cztery kontakty C_1 — C_4 podwójnego przełącznika S_1 połączone są z kontaktami baterji A, przełącznika zaś S_2 z wyłącznikiem D. Pozostałe kontakty są połączone z elektromagnesami E_1 i E_2 (rys. 8 i 20).

Kontakty C_1 — C_4 można odpowiednio łączyć z kontaktami C_5 — C_{10} przy pomocy czterech obrotowych ramion metalowych l_1 —l_4 złączonych z sobą dźwignią *d*, wykonaną z materjału izolacyjnego i zaopatrzoną uchwytem U.

Z kontaktów C_5 — C_{10} są między sobą stale połączone kontakty C_5 z C_7 i C_8 z C_{10}.

Podwójny przełącznik S_1, który służy do zmiany kierunku prądu w obu obwodach oraz jego połączenie, jest uwidocznione na rys. 8.

Zmiana kierunków prądu powoduje zmianę biegunów w elektromagnesach E_1 i E_2, przez co osłabia się siłę pozostałości magnetycznej, a więc i jej ujemnego wpływu na dokładność pomiarową czasomierza.

Rysunek 8 i 20 uwidacznia również połączenie przełącznika S_2, służącego do zmiany obwodów prądu, z których jeden zasila elektromagnes E_1 drugi zaś E_2, lub naodwrót.

Zmianę obwodów prądu stosuje się, celem zbadania sprawności działania wyłącznika D, t. j. czy oba jego kontakty w postaci ramion *a* i *b*, przy naciśnięciu, jednocześnie wyłączają oba obwody prądu. Jeżeli kontakty wyłącznika nie spełniają tego zadania, to powtarzając badanie czasu oderwania, przy zmianie obwodów prądu, otrzyma się inną wysokość oderwania *h*. W tym wypadku należy odpowiednio wyregulować kontakty *a* i *b*, tak, aby wyniki pomiarów czasu oderwania przy zmianie obwodów prądu były teżsame.

Działanie tego przełącznika uwidacznia rys. 20.

W położeniu ramion l_1 — l_4 przedstawionych na tym rysunku, prąd pierwszego obwodu przechodzi przez elektromagnes E_1 drugiego zaś obwodu przez E_2.

Jeżeli obrócimy ramiona l_1 — l_4 w prawo, tak, że zostaną połączone kontakty C_1 z C_6; C_2 z C_7; C_3 z C_9 i C_4 z C_{10}, wtedy prąd pierwszego obwodu przejdzie przez elektromagnes E_2 drogą C_2 C_7 C_5 E_2 AC_9 C_3 i *a*, prąd zaś drugiego obwodu przez elektromagnes E_1 drogą C_1 C_6 E_1 AC_8 C_{10} C_4 i *b*.

Prócz tego na rys. 8 i 19 widzimy jeszcze dwie opornice W_1 i W_2 włączone do poszczególnych obwodów prądu. Ze względu na różną budowę używanych opornic elektrycznych, nie będę ich szczegółowo opisywał, a wspomnę tylko, że działanie ich polega na włączaniu lub też wyłączaniu z obwodu prądu dodatkowych oporów elektrycznych, w postaci np. zwojów drutu, przez co zmienia się napięcie i natężenie prądu, od których to wielkości zależy wielkość siły elektromagnesu.

Siły elektromagnesów powinny być minimalne, jednak tak duże,

by zapewniały utrzymanie w położeniu wiszącym chronografu CH i ciężarka U. Wyregulowanie wielkości tych sił uskuteczniamy właśnie przy pomocy tych opornic W_1 i W_2, zawieszając chronograf CH i ciężarek U razem z dodatkowemi ciężarkami. Gdy po odpowiedniem nastawieniu opornic W_1 i W_2 chronograf i ciężarek spadną, to siły elektromagnesów są wyregulowane na minimum.

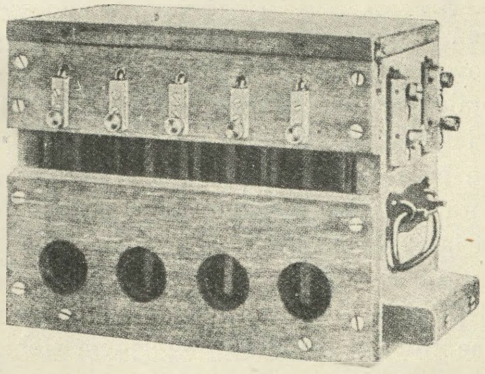
Przełącznik U (rys. 8) służy do połączenia zegara wahadłowego Helmholtza, z czasomierzem Boulengé w miejsce przerywaczy prądu P_1 i P_2. Budowa tego przełącznika jest taka sama jak przełączników S_1 i S_2, z tą tylko różnicą, że kontakty C_5, C_7 i C, C_{10} nie są ze sobą połączone na stałe (rys. 20).

4. Źródło prądu.

Źródłem prądu dla czasomierza Boulengé mogą być elementy galwaniczne lub akumulator A, rys. 8 i 21.

a) Akumulator.

Akumulator składa się z czterech do sześciu elementów o sile prądu 27 ampergodzin. Prąd wyładowania wynosi 2,7 amp., ładowania zaś 3 amp. Elementy są połączone szeregowo i znajdują



Rys. 21.

się w odpowiedniej skrzynce. Połączenie z czasomierzem następuje za pośrednictwem dwóch kontaktów, znajdujących się na bocznej stronie skrzynki. Po stronie podłużnej skrzynki znajduje się 5 kontaktów służących do połączenia czasomierza z poszczególnemi elementami akumulatora.

Ze względu na równomierność serji pomiarów, powinno używać się akumulatorów przez taki przeciąg czasu, w którym końcowe napięcie wyładowania (dla niektórych akumulatorów) znajduje

się w granicach 1,98 do 1,92 wolt, gdyż przy tem odbywa się proces wyładowania najkorzystniej, t. j. najpowolniej i najrównomierniej. Wielkość tego napięcia zależy jednak od budowy akumulatorów, których przepis użycia powinien być załączony do czasomierza.

Każdy z obwodów prądu jest zasilany przez dwa lub trzy elementy akumulatora, posiada więc napięcie 4 do 6 wolt, przy natężeniu prądu 0,3 do 0,6 amperów.

Dla przewodów o większych oporach elektrycznych należy odpowiednio zwiększyć ilość połączonych elementów akumulatora (pewien zapas akumulatorów należy zawsze mieć pod ręką).

Z praktycznych danych, dotyczących dokładności badania, wynika, że krążenie prądu podczas pomiarów powinno być jak najkrótsze, nietylko ze względu na trwałość akumulatorów, lecz z powodu wynikających niedokładności pomiarowych, np. przez zbyteczne ogrzanie elektromagnesów i t. p. (§ 12 ust. 5).

By otrzymać dobrą równomierność szeregu powtarzanych pomiarów, np. tej samej różnicy czasu, zaleca się zwrócić uwagę, by prądy elektryczne, przy każdym poszczególnym pomiarze, okresowo krążyły przez ten sam krótki czas.

b) Połączenia czasomierza.

Do połączeń baterji z czasomierzem i przerywaczami prądu służą druty izolowane lub gołe. Przewodniki te są tak przeprowadzone, by powstałe prądy samoindukcyjne były minimalne, a opór ich elektryczny jak najmniejszy.

Wobec tego przewodniki te nie posiadają niepotrzebnych skręceń i zwinięć, oraz są przeprowadzone w linjach prostych tak, by ich długość była jak najmniejsza. Izolowane przewodniki obu obwodów należy przeprowadzać razem złączone, lub razem zwinięte, gołe zaś przewodniki powinny być uchwycone odpowiedniemi izolatorami i przeprowadzone równolegle blisko względem siebie.

Połączenie czasomierza Boulengé uskutecznia się przeważnie przewodnikami izolowanemi.

Wszelkie złączenia przewodników są tak wykonane, by nie dawały zbyt dużego oporu elektrycznego (rtęć jako łącznik przewodników nie daje oporów stykowych elektrycznych, gdy stykające się z nią metale przewodników ulegają amalgamacji).

Przy łączeniu przewodników, np. śrubami zaciskowemi, należy zwrócić szczególną uwagę, by powierzchnie styków, jak i końce drutów, które mamy złączyć, były starannie wyczyszczone. Połączenia bez śrub zaciskowych można uskutecznić przez złączenie rów-

nolegle obu końców przewodnika w dość dużej długości tak, by końce te wskazywały ten sam kierunek, a nastepnie należy je mocno i starannie skręcić oraz owinąć taśmą izolacyjną.

Wszystkie kontakty przyrządu jak i wyłączniki elektryczne powinny posiadać powierzchnię styków czyste i dociśnięte do siebie silnemi sprężynami. Kontakty połączone z przewodnikami tylko przez styk, np. kontakty zegara wahadłowego, są wykonane zazwyczaj z platyny lub z białego metalu.

Wszelkie oczyszczenie powierzchni styków wykonywa się chemicznie, odpowiednim płynem, np. naftą, nigdy zaś mechanicznie.

5. Przyrządy kontrolne.

Na rys. 8 widzimy również zegar wahadłowy Helmholtza i jego połączenie z czasomierzem Boulengé.

Zegar ten służy do kontroli dokładnego działania i wyszukania spółczynnika dokładności nietylko aparatu Boulengé, lecz i innych opisanych niżej czasomierzów.

Zegar Helmholtza zaczęto zastosowywać w nowszych czasach, kiedy szybkość pocisków, przez udoskonalenie konstrukcyjne, bardziej zwiększono, wobec czego i pomiar ich wymaga dokładniejszych przyrządów, ponieważ przy badaniu większych szybkości, mały błąd przyrządu ma większy wpływ na dokładność wyników.

Poza tem używa się go, jeżeli wykonywamy jakiś pomiar szybkości, równocześnie kilkoma czasomierzami, mianowicie celem wyregulowania ich tak, by jednakowo i z jednakową dokładnością działały, oraz do rozstrzygnięcia czy przyczyną zbyt dużych nieoczekiwanych i nienormalnych odchyleń szybkości jest wadliwa amunicja, lub użyty czasomierz, przerywacz prądu p, czy też broń.

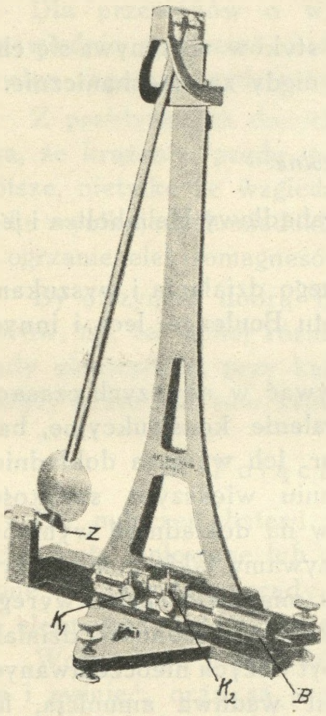
Działanie tego zegara wahadłowego (rys. 8) polega na kolejnem przerwaniu w określonym odstępie czasu obu obwodów prądu wahającą dźwignią wahadła, przy pomocy przerywaczy kontaktowych K_1 i K_2.

Przerywacz kontaktowy K_1 połączony jest z pierwszym obwodem prądu, t. j. z elektromagnesem E_1, natomiast K_2 z elektromagnesem E_2. Połączenie to uskutecznia się przez obrócenie w prawo ramion l_1 — l_4 przełącznika U. W chwili tej przerywacze prądu P_1 i P_2 zostają odłączone od aparatu Boulengé.

Kontakty K_1 i K_2 osadzone na osi z prawym i lewym gwintem (rys. 22), dadzą się przez obrót tej osi względem siebie przesuwać i nastawiać na odpowiednie odległości dla żądanych różnic czasu, czyli szybkości. W tym właśnie celu do osi jest przymoco-

wany bęben B ze skalą szybkości od 300 do 1000 m/sek., przy rozstawieniu przerywaczy s = 50 m.

Dźwignia wahadła posiada w dolnej części odpowiednie występy, służące do odchylania kontaktów K_1 i K_2, tak, by prawy występ nie odchylał lewego kontaktu K_1, we wszystkich możliwych położeniach kontaktów K_1 i K_2. Odległość tych występów w płaszczyźnie wahania jest taka, że przy zbliżeniu kontaktów K_1 i K_2, t. j. ustawionych na czas oderwania t_1 = 0,15 sek. (bęben ustawiony na literę A), występy te równocześnie odchylą oba kontakty, przez co nastąpi równoczesne przerwanie obu obwodów prądu. Występy te znajdują się w płaszczyźnie wahania, a to dlatego, by przy zetknięciu ich z kontaktami nie wystąpiła siła boczna, mogąca spowodować boczne wahnięcia.



Rys. 22.

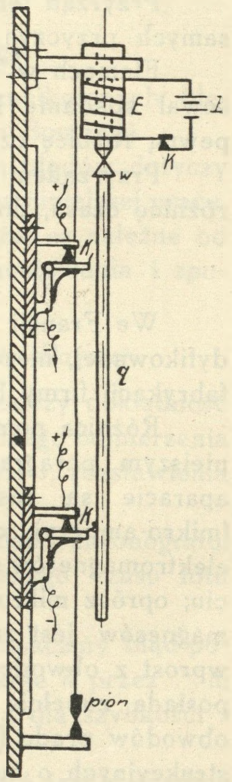
Zegar wahadłowy uruchamia się ręcznie przez odchylenie zatrzasku Z.

Celem uniknięcia wszelkich szkodliwych wpływów mechanicznych zewnętrznych, umieszcza się każdy zegar kontrolujący, podobnie jak czasomierz, na osobnym fundamencie.

Przewody elektryczne, łączące kontakty K_1 i K_2 z kontaktami przełącznika U, powinny posiadać opory elektryczne, równające się oporom przewodów łączących tenże przełącznik U z przerywaczami prądu P_1 i P_2 łącznie z oporami tych przerywaczy. Wobec tego połączenie to jest tak urządzone, by w razie potrzeby można zmieniać w pożądanych granicach jego opór, a to celem uniknięcia zmiany siły prądu przy włączaniu przyrządu kontrolującego w miejsce przerywaczy P_1 i P_2.

Przed użyciem zegara kontrolującego do badania dokładności czasomierza należy po jego włączeniu przełącznikiem U sprawdzić przy pomocy wyłącznika D, czy czas oderwania t_1 = 0,15 sek., t. j. czy wysokość spadania h = 110,37 mm. Następnie ustawia się bęben wahadła na literę „A", przy którem to położenie bębna, kontakty

są względem siebie w takiej odległości, by podczas ruchu ramienia wahadła, przerwanie kontaktów K_1 i K_2 było równoczesne, co jest uwidocznione zlaniem się znaków czasu oderwania na chronografie; w przeciwnym zaś razie należy odpowiednio wyregulować przerywacze kontaktowe K_1 i K_2 jednak nie przy pomocy obrotu bębna, gdyż ten, raz nastawiony, musi być już unieruchomiony. Osiąga się to, przytrzymując bęben ręką przez lekkie odkręcenie śrub skrzyżowanemi otworami, po lewej stronie bębna i następnie przez podkręcenie korby przestawia się nieco przerywacze kontaktowe, niezależnie od bębna, a wreszcie dokręca się zpowrotem śruby bębna.



Rys. 23.

Dla ściślejszego sprawdzenia zaleca się powyższe badanie powtórzyć przy zmianie obwodów prądu, co uskuteczniamy podwójnym przełącznikiem S_2.

Po takiem sprawdzeniu i wyregulowaniu, wahadło Helmholtza nadaje się już do badań dokładności działania aparatu Boulengé.

Wahadła wyżej opisanego nie można uważać za idealny przyrząd kontrolny, ze względu na niemożliwość otrzymania a raczej zmierzenia bez jakiegokolwiek błędu odległeści przerywaczy kontaktowych K_1, K_2, jak też dokładnego określenia wielkości wpływów hamujących normalny ruch wahadła (t. j. siła oporu ośrodka i tarcie).

Badanie czasomierza opisanem wyżej wahadłem polega na kilkakrotnym pomiarze tej samej różnicy czasu, odciętej wahadłem. Z wielkości otrzymanych odchyleń możemy sądzić o dokładności czasomierza.

Zamiast wahadła Helmholtza możemy użyć przyrządu (rys. 23), z dwoma przerywaczami kontaktowemi K_1 i K_2, które są połączone z czasomierzem tak samo jak przerywacze kontaktowe wahadła Helmholtza.

Ciężarek *q*, kształtu sztabki z występem *w*, utrzymuje w stanie wiszącym elektromagnes E, którego zwoje, kontaktem K połączone są z biegunami baterji B. Po przerwaniu prądu przechodzącego przez elektromagnes E (ręcznie kontaktem K), ciężarek *q* spada swobodnie i swoim występem *w*, przerywa kontakt K_1 następnie K_2, i w ten sposób oba obwody prądu czasomierza zostają przerwane.

Kontakty K_1 i K_2 można względem siebie ustawiać na żądane odległości czyli na pewien okres czasu.

Kontakty te są tak zbudowane, że każdy z nich, po odchyleniu się, natychmiast samoczynnie zpowrotem włącza prąd, więc powyższy przyrząd nadaje się również do zastosowania przy użyciu jednego obwodu prądu.

Przyrząd ten, tak samo jak i wahadło Helmholtza, prawie z tych samych przyczyn nie jest idealnie dokładny.

Flamach w 1885 r. zamiast tego przyrządu kontrolnego zastosował spadanie kuli w próżni, której wysokość spadania określała pewną różnicę czasu.

Przyrządem tym według W. Wolffa można odmierzyć dokładnie różnicę czasu, dochodzącą do 0,00045 sekund.

6. Udoskonalony aparat le Boulengé-Breger.

We Francji wytwarza się aparaty Boulengé-Breger (t. zw. zmodyfikowane), nieco odmiennej budowy aniżeli opisany wyżej aparat fabrykacji firmy Hahn w Cassel.

Różnica pomiędzy aparatem zmodyfikowanym a opisanym w niniejszym paragrafie jest następująca: elektromagnesy E_1, E_2 w tym aparacie są zasilane prądem o natężeniu o wiele słabszem (mikro-ampery); opornice W_1, W_2 służące do wyregulowania siły elektromagnesów są nieco odmiennej konstrukcji, dogodniejszej w użyciu; oprócz mikro-amperomierzy tablicy rozdzielczej, każdy z elektromagnesów jest zaopatrzony w mały mikro-amperomierz połączony wprost z obwodem zwojów elektromagnesu; tablica rozdzielcza nie posiada zupełnie podwójnego przełącznika S_2 służącego do zmiany obwodów prądu (rys. 19), nadto szereg innych drobnych zmian konstrukcyjnych o małem znaczeniu.

Zmodyfikowany aparat le Boulengé-Breger jest nieco dokładniejszy od aparatu fabrykacji f. Hahn, co jednak w praktyce pomiarowej jest prawie bez wpływu, tem bardziej, jeśli się weźmie pod uwagę, że błędy zależne od konstrukcji czasomierza są znikomo małe w stosunku do błędów mających swe źródła w przerywaczach prądu, w dokładności zmierzenia odległości wybitych znaków na chronografie, zmierzenia odległości przerywaczy i t. p. (§ 12).

Wskutek braku podwójnego przełącznika S_2, służącego do zmiany obwodów prądu, napotyka się na znaczne trudności w szybkiem wyregulowaniu czasu oderwania tego aparatu, gdyż trudno jest prędko sprawdzić dokładność działania wyłącznika D (ust. 3 rys. 20); przez zmianę obwodów prądu, chociaż można to uskutecznić, zmieniając przewody elektryczne przy zaciskach; wymaga to jednak więcej czasu.

Oprócz opisanych aparatów Boulengé, są jeszcze w użyciu przyrządy, w których kilka czasomierzy Boulengé są połączone z jedną tablicą rozdzielczą.

W tym wypadku przy każdym czasomierzu znajduje się na stojaku tablica (w położeniu poziomem) z opornicą i wyłącznikiem D (dyzjunktor), połączonych z przewodami elektrycznemi z główną tablicą rozdzielczą.

§ 12. Dokładność aparatu Boulengé.

Paragraf ten obejmuje teoretyczną analizę nieuniknionych błędów popełnianych podczas pomiarów czasomierzem Boulengé.

Nadmienię, że większa część niżej opisanych błędów dotyczy również i innych rodzajów czasomierzy, opisanych w niniejszej pracy.

Wielkości tych błędów, jak się potem okaże, są zależne od budowy czasomierzy, stopnia wyregulowania, zmontowania i sposobu ich użycia.

1. Zależność błędów od dokładnego zmierzenia długości.

Jednym z większych wpływów, od których zależy dokładność pomiaru czasomierzem Boulengé, jest stopień dokładnego odmierzenia wybitych znaków na chronografie, H i *h*, i odległości *s*, rozstawienia przerywaczy prądu.

a) Przez niedokładne zmierzenie odległości spadania chronografu, t. j. H i *h*, otrzymujemy błędy w wynikach badanego czasu lotu pocisku wzdłuż drogi *s*.

Celem znalezienia zależności tych błędów, oznaczmy błąd popełniony przy pomiarze H przez $\triangle$ H, przy pomiarze *h* przez $\triangle$ h; odpowiednie zaś błędy dla czasu *t* przez $\triangle$ t, a dla szybkości *v* oznaczmy $\triangle$ v.

Przy dalszem rozumowaniu przyjmujemy, że *h* jest dokładnie zmierzone i wynosi 110,37 mm, tej zaś wysokości odpowiada stały czas oderwania $t_1 = 0{,}15$ sek. Wobec tego założenia $\triangle h = 0{,}0$ mm.

Gdyby błąd $\triangle$h wynosił nawet pewną małą wielkość, różną od zera, to nie wpłynęłoby to na odchylenie poszczególnych mierzeń, tylko na wynik badania w stosunku do rzeczywistej badanej szybkości, ponieważ jest to błąd systematyczny (§ 1, pkt. a).

By znaleźć zależność błędów $\triangle$t lub też $\triangle$v od $\triangle$H, wychodzimy z wz. 28 na wysokość spadania choronografu, a więc:

$H = (t + t_1)^2 \cdot \frac{1}{2} g$. Jeżeli H zmierzyliśmy nadmiarem lub niedomiarem o $\triangle$H, wtedy:

$H + \triangle H = (t + \triangle t + t_1)^2 \cdot \frac{1}{2} g$, gdzie $\triangle$t oznacza odpowiedni błąd czasu *t*, zależny od $\triangle$H.

Z zależności powyższej otrzymamy:

$$H + \triangle H = (t^2 + \triangle t^2 + t_1^2 + 2t\triangle t + 2tt_1 + 2t\triangle_1 t) \cdot \tfrac{1}{2}\ g \quad \text{i}$$

$$H = (t^2 + 2tt_1 + t_1^2) \cdot \tfrac{1}{2}\ g;$$ po odjęciu otrzymamy:

$$\triangle H = (\triangle t^2 + 2t\triangle t + 2t_1\triangle t) \cdot \tfrac{1}{2}\ g$$

Ponieważ $\triangle t$ jest bardzo małą wielkością, więc $\triangle t^2$ będzie tak małą wartością w stosunku do powyższego wielomianu, że wyraz ten prawie bez błędu można opuścić. Wtedy:

$$\triangle H = (t + t_1) \cdot g \cdot \triangle t \qquad (33).$$

jest to zależność dokładności szukanego czasu od stopnia dokładności odmierzenia wysokości spadania chronografu.

Z wzoru tego możemy wyrugować t i $\triangle t$, wprowadzając do obliczenia wz. 24, z którego po uwzględnieniu popełnionych błędów otrzymujemy:

$$t = \frac{s}{v}$$

$$t + \triangle t = \frac{s}{v + \triangle v}$$ po odjęciu mamy:

$$\triangle t = \frac{s}{v + \triangle v} - \frac{s}{v} = -s \cdot \left(\frac{1}{v} - \frac{1}{v + \triangle v}\right) = -s\,\frac{\triangle v}{v^2 + v \cdot \triangle v}$$

Wielkość $v \cdot \triangle v$ w stosunku do v^2 jest tak mała, że prawie bez błędu możemy napisać:

$$\triangle t = -s \cdot \frac{\triangle v}{v^2}. \qquad (34).$$

Jest to zależność błędu szybkości od popełnionego błędu pomiaru czasu.

Podstawiając ten wzór dla $\triangle t$ i $t = \frac{s}{v}$, z wzoru 33 otrzymamy:

$$\triangle H = -s \cdot g\left(\frac{s}{v} + t_1\right) \cdot \frac{\triangle v}{v^2}, \text{ stąd}$$

$$\triangle v = \frac{-v^2}{s \cdot g\left(\frac{s}{v} + t_1\right)} \cdot \triangle H \qquad (35\ *).$$

*) Wzór 35 można szybkiem obliczeniem otrzymać przez zróżniczkowanie wzoru na wysokość spadania chronografu. We wzorze tym wszelkie długości należy podać w m, szybkość w m/sek., przyśpieszenie g w m/sek.^{2}, czas w sek., wtedy $\triangle v$ otrzymujemy w m/sek.

Jest to zależność dokładności pomiaru szybkości od dokładności zmierzania H.

Z wzoru tego widzimy, że popełniony błąd $\triangle v$ jest zależny tylko od wielkości błędu $\triangle H$ i badanej szybkości pocisku v.

Z zależności błędu $\triangle v$ od $\triangle H$ według wz. 35 widzimy: jeżeli popełniony błąd przy pomiarze H jest nadmiarem (t. j. $\triangle H$ dodatnie), to $\triangle v$ będzie ujemne, czyli otrzymana szybkość będzie o wielkość $\triangle v$ mniejsza od prawdziwej i naodwrót;

im większy popełnimy błąd $\pm \triangle H$ przy pomiarze wysokości H, to większy otrzymamy błąd $\mp \triangle v$ dla badanej szybkości.

TABLICA 3.

(wykonana według wzoru 35 dla $t_j = 0{,}15$ sek.)

Typ czasomierza Boulengé.	Odległość przerywaczy s w metrach	Badana szybkość v w m/sek.	Popełniony błąd $\triangle v$ m/sek. dla $\triangle H = 0{,}1$ mm przy badanych szybkościach w m/sek.				
			200	300	600	900	1200
wzór 98 typ mały.	25	200 — 1000	0,07	0,18	0,80	1,90	—
	50	285 — 1200	—	0,06	0,33	0,80	1,53
wzór 06 typ większy.	50	170 — 1200	0.02	0,06	0,33	0,8	1,53
	100	340 — 1200	—	—	0,12	0,32	0,52
	150	600 — 1200	—	—	0,06	0,18	0,36
	200	650 — 1200	—	—	—	0,11	0,23

Największą przyczyną wpływającą na wielkość $\triangle v$ jest wielkość badanej szybkości v pocisku.

Zależność tę uwidocznia tabl. 3 wykonana według wz. 35, w której podano dla różnych badanych szybkości pocisku, bezwzględne wartości błędu $\triangle v$, przy założeniu, że wysokość H zmierzono z dokładnością 0,1 mm, t. j. $\triangle H = \pm 0{,}1$ mm, gdyż na taką dokładność pozwala nam odczyt przy pomocy nonjusza linji mierniczej.

Ze wzoru 35 jak też i z tabl. 3 widzimy, że reguratorem zmniejszenia błędu $\triangle v$ jest odległość s rozstawienia przerywaczy. Im s większe, tem wielkość

błędu $\triangle v$ zmniejsza się i to w dość znacznym stopniu.

Dlatego też kiedy zaszła potrzeba badania większej szybkości, został w nowszych czasach wykonany czasomierz Boulengé większego typu, do pomiaru większych okresów czasu.

W niektórych rubrykach tablicy 3 nie podano wielkości błędu $\triangle v$, gdyż w danych warunkach, ze względu na ograniczoną długość chronografu lub też celem uniknięcia zbyt dużych błędów, spowodowanych znacznym rozstawieniem przerywaczy w stosunku do małej badanej szybkości, pomiaru nie można wykonywać.

Podobnie jak wielkość odległości s rozstawienia przerywaczy wpływa również na zmniejszenie błędu szybkości $\triangle v$, wielkość czasu oderwania t_1 .

Z tej to właśnie przyczyny przyjęto dla wszystkich czasomierzy Boulengé czas oderwania równający się 0,15 sek., t. j. dość duży w stosunku do czasu potrzebnego do uruchomienia przyrządu cechującego. Czas ten przyjęto dla wszystkich czasomierzy jako stały, a to ze względu na możliwość ułożenia tablic prędkościowych i wynikających z tego dogodności.

Jeżeli byłby pożądany dokładniejszy pomiar szybkości, to nawet korzystniej jest zwiększyć czas oderwania t_1 , aniżeli odległość przerywaczy s, gdyż powiększając s, popełniamy pewien błąd, stosując do obliczeń wzór 24 na szybkość ruchu jednostajnego prostolinijnego, przyjmując ją jako średnią szybkość pocisku. W niektórych zaś wypadkach (przy badaniu małej szybkości) zachodzi wprost niemożliwość powiększenia rozstawienia s przerywaczy prądu P_1 i P_2 .

Zwiększenie czasu oderwania t_1 , przez podniesienie elektromagnesu E_2 , w większym zakresie daje się uskutecznić dla czasomierza typu większego.

b) Drugą przyczyną, wpływającą na dokładność pomiarową szybkości, jest dokładne wymierzenie odstępu s, przerywaczy prądu P_1 i P_2 .

Zależność tę t. j. zależność popełnionego błędu $\triangle v'$ od niedokładności zmierzenia s błędem $\triangle s$ otrzymamy, wychodząc z wzoru

$$v = \frac{s}{t}, \text{ stąd}$$

$$v + \triangle v' = \frac{s + \triangle s}{t}, \text{ czyli}$$

$(v + \triangle v') \cdot t = s + \triangle s$; z wzoru tego, podstawiając

$$t = \frac{s}{v}, \text{ otrzymamy}$$

BIBLIOTEKA OFICERSKA
2. PUŁKU STRZELCÓW PODHALAŃSKICH

$(v + \triangle v') \cdot \frac{s}{v} = s + \triangle s$, więc

$s + \triangle v' \cdot \frac{s}{v} = s + \triangle s$; stąd otrzymamy szukaną poprawkę dla szybkości:

$$\triangle v' = \frac{\triangle s}{s} \cdot v.$$

Wzór zaś ostateczny badanej zależności

$$\triangle v' = \frac{-\triangle s}{s} \cdot v \qquad (36).$$

Dodanie znaku minus wynika z dyskusji wzoru $v = \frac{s}{t}$, gdyż przy wzroście s t. j. $\triangle s$ dodatnie, czas lotu t będzie większy, jak np. dla $s = 50$ m, więc szybkość v zmaleje, t. j. $\triangle v'$ powinno być ujemne i naodwrót.

Z wzoru tego widzimy, że błąd $\triangle v'$ zależny jest w prostym stosunku od $\frac{\triangle s}{s}$ i badanej szybkości v.

Przyjmując, że niedokładność w wymierzeniu np. odległości $s = 50$ m wynosi $\triangle s = 0{,}05$ m, wtedy stosunek $\frac{\triangle s}{s} = \frac{0{,}05}{50} = 0{,}001$.

Współczynnik ten dla różnych odległości s przerywaczy, z małym błędem, możemy uważać za stały, gdyż prawdopodobnie ze wzrostem s zwiększa się w tym samym stosunku i błąd $\triangle s$, t. j. błąd dokładności pomiaru tej długości. Wobec tego założenia błąd $\triangle v'$ zależny jest tylko od wielkości badanej szybkości v.

Dokładność pomiaru według powyższego wynosi 0,1% np. dla $v = 800$ m/sek $\triangle v' = \pm 0{,}8$ m/sek.

Jeżeli odległość s przerywaczy odmierzyliśmy taśmą stalową, to wtedy możemy być pewni, że prawdziwa odległość jest mniejsza, aniżeli odczytana z podziałki taśmy (rozd. I. § 1).

W danym wypadku błąd pomiaru byłby jednokierunkowy, zwiększający każdorazowo mierzoną szybkość o wielkość stałą.

Gdybyśmy mieli pewność, że ta niedokładność w odmierzeniu s wynosi np. $\triangle s = 0{,}05$, to poprawka zmierzonej szybkości wynosiłaby $\triangle v' = -0{,}8$ m/sek.

Wobec powyższego widzimy, że błąd $\triangle v'$ popełniony z powodu niedokładnego odmierzenia odległości przerywaczy s przy stałem ich ustawieniu powtarza się każdorazowo tą samą wielkością, zatem nie wpływa zupełnie na rozrzut prędkości w serji pomiarów, będąc błędem systematycznym.

2. *Błędy zależne od przerywaczy.*

Podczas badania szybkości pocisków, lub też czasu ich lotu, możemy popełnić większe lub mniejsze błędy, zależne od budowy przerywaczy użytych do pomiarów.

a) Przy użyciu w pierwszym obwodzie prądu przerywacza w postaci drucika miedzianego, umocowanego do lufy przy jej wylocie, wiemy, że wskutek odrzutu broni wraz z przerywaczem odległość s wzrasta.

Wielkości tego wzrostu $\triangle s$ dokładnie nie znamy, gdyż trudno uchwycić punkt, w którym tylna część pocisku opuszcza wylot lufy.

Popełniony przez to błąd będzie jednokierunkowy, wpływający tylko na zmniejszenie rzeczywistej szybkości v, a przyjmując, że błąd $\triangle s$ wywołany cofnięciem się broni jest prawie stały (przy stałem zmontowaniu broni np. do kozła), możemy powiedzieć, że błąd ten nie ma prawie wpływu na odchylenia szybkości podczas przeprowadzonej serji badań jednej i tej samej partji amunicji.

Gdybyśmy znali wielkość $\triangle s$, to popełniony błąd możnaby obliczyć z wzoru 36, który również uwidocznia, że wielkość tego błędu $\triangle v'$ wzrasta ze wzrostem badanej szybkości i, że przy większych przyjętych rozstawieniach przerywaczy maleje, więc i z tych względów korzystniej jest badać czas lotu pocisku wzdłuż większej drogi s.

b) Pociski nowszej konstrukcji, t. j. ostro zakończone, mogą przerwać przerywacz w postaci drucika zamiast przednią częścią swoją boczną częścią płaszcza.

Zjawisko to przy przerywaczu w pierwszym obwodzie prądu wpłynęłoby na zmniejszenie czasu lotu, czyli zwiększenie szybkości pocisku, przy drugim zaś obwodzie wpłynęłoby odwrotnie.

By uniknąć tego błędu, lepiej jest stosować przerywacz w postaci cienkich taśm miedzianych.

c) Jeżeli przerywacz w postaci taśmy miedzianej znajduje się dość blisko wylotu lufy, mogą zajść błędy z powodu jego wczesnego przerwania siłą gazów prochowych, wylatujących przed pociskiem, co można wykazać przy pomocy zdjęcia fotograficznego.

Według wykonanych prób przez kpt. Bensberga wynika, że zjawisko przerwania taśmy następuje w chwili, kiedy pocisk znajduje się jeszcze w lufie na 15 do 18 cm przed jej wylotem.

Przy pomiarze np. 860 m/sek. powstałby przez to błąd, według wzoru 36, od 2,58 m/sek do 3,96 m/sek., przy rozstawieniu przery-

waczy s = 50 m; przy rozstawieniu zaś przerywaczy s = 5 m błąd ten wzrósłby dziesięciokrotnie.

Widzimy z tego, że błąd ten wpływający na zmniejszenie badanej szybkości, jest dość znaczny, dlatego też przed pomiarem należałoby wykonać odpowiednie próby ustawienia taśmy w pewnej odległości od wylotu lufy.

Według balistyki dr. C. Cranza, t. I i II, taśma miedziana szerokości od 2 do 2,5 mm i 0,1 mm grubości, ustawiona w odległości 5 cm od wylotu lufy (przy użyciu karabina nowszej konstrukcji) nie zostaje już przez gazy wylotowe przerwana. Dla orjentacji podaję, że według otrzymanych zdjęć fotograficznych w odległości około 20 cm od wylotu lufy gazy zostają już wyprzedzone przez pocisk.

Z powyższego rozumowania widzimy, że byłby to błąd jednokierunkowy, zmniejszający badaną rzeczywistą szybkość. Wielkość tego błędu jest wprawdzie nieco zmienna, lecz mała ta zmiana niema znacznego wpływu na odchylenia szybkości podczas serji badań.

d) Przy użyciu przerywacza w kształcie ramy z napiętemi drucikami miedzianemi mogą zajść te same błędy, które dotyczyły przerywacza w postaci jednego drucika, t. j. pocisk może przerwać drucik ramy boczną powierzchnią swego płaszcza, lub przedwczesne przerwanie może nastąpić działaniem gazów wylotowych. Oprócz tego błędu może zajść błąd z powodu pewnego zahamowania pocisku, wywołanego przeciwdziałaniem siły wytrzymałości napiętego drutu.

Zjawisko to w pierwszym obwodzie prądu wpłynęłoby do pewnego stopnia na zwiększenie badanego czasu lotu pocisku, czyli na zmniejszenie badanej jego szybkości. Zwiększenie napięcia drucików i mała ich grubość jest wobec powyższego korzystna. Ze zmniejszeniem grubości drucików nie można posuwać się zbyt daleko, gdyż przez to zwiększa się opór elektryczny.

Wielkość wpływu oporu wytrzymałości drucików mało jest nam znana, a wynik doświadczeń (przy badaniu szybkości pocisków karabinowych wz. 88, według balistyki dr. Cranza, t. III), wykazał przy stosowaniu przerywaczy ramowych z różnemi grubościami napiętych drucików o średnicach 0,4; 0,25 i 0,2 mm, że odpowiednio badana szybkość zmalała o 0,66; 0,26 i 0,17 m/sek.

Wyniku tego nie można przyjąć za prawdziwy wobec niemożliwości usunięcia innych nieuniknionych wpływów, ujawniających się podczas badania.

Drugi nieuchwytny błąd powstaje przez niejednostajne wy-

gięcie (minimalne) drucików napiętych w ramie do momentu ich przerwania przez pocisk.

Przy stosowaniu ramy tylko w pierwszym obwodzie prądu wygięcie to wpłynęłoby na zwiększenie badanej rzeczywistej szybkości pocisku, przy użyciu tylko w drugim obwodzie, na zmniejszenie tej szybkości, przy zastosowaniu zaś przerywaczy ramowych w obu obwodach, powstały przez to błąd będzie prawie bez wpływu na przebieg badania, gdyż te błędy będą się do pewnego stopnia znosiły.

Oba, wyżej podane wpływy, w skutkach swych będą tem mniejsze, im szybkość pocisku będzie większa.

Według wykonanych prób, podanych w balistyce dr. C. Cranza t. III. dokładność przerywaczy ramowych ze względu na badany czas lub szybkość, wynosi około 0,1%.

e) Przerywacz w postaci płyty ruchomej z kontaktami (rys. 12) posiada źródło błędów spowodowanych opóźnieniem odchylenia się płyty wskutek jej ciężaru, siły masowej (bezwładności) i siły tarcia w punkcie zawieszenia.

Przy dokładnem nawet ustawieniu płyty próby wykazały w porównaniu z przerywaczem ramowym, że powstały błąd, z przyczyn wyżej podanych, zmniejszyć może rzeczywistą badaną szybkość o wielkość, dochodzącą do 15 m/sek.

Poza tym błędem może powstać jeszcze podczas pomiaru błąd zależny od miejsca, w którem pocisk uderza płytę i od konstrukcji pocisku. Według wyników prób im pocisk ostrzej jest zakończony, tem błąd ten się zwiększa. By uniknąć błędu zależnego od miejsca uderzenia pocisku w płytę, należy przeprowadzić strzelanie tak, by pociski trafiały w środek płyty, a tych strzałów, w których przypadkowo pocisk uderzył z boku płyty, nie brać pod uwagę przy ostatecznem obliczeniu szybkości.

Z całego szeregu prób, w tym kierunku wykonanych w laboratorjach balistycznych w Niemczech przez por. Böhmego, przy rozstawieniu przerywaczy s = 50 m ułożono wzór empiryczny dla błędu w postaci przyrostu czasu przelotu pocisku, który trafia płytę w jej środek, a mianowicie:

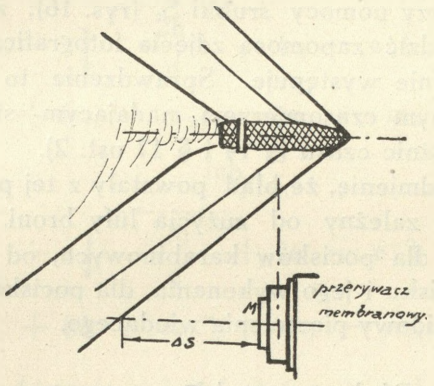
$$\triangle t = 0{,}002529\ \gamma + 0{,}0001169\ \gamma^2 \qquad (37).$$

gdzie γ jest wielkością stosunku ciężaru płyty kontaktowej (w kg) do energji kinetycznej pocisku (w kgm) w chwili uderzenia. Z wzoru tego widzimy, że błąd ten $\triangle t$ możemy zmniejszyć przez zmniejsze-

nie ciężaru płyty, co jednak ze względu na wytrzymałość płyty i jej praktyczne wymiary uskutecznić możemy tylko do pewnych granic.

Celem doprowadzenia tego błędu do minimum, zastosowano płytę stałą (§ 11 ust. 2d), w której rolę płyty ruchomej z kontaktami spełnia przyrząd z kontaktami o stosunkowo bardzo małej wadze (rys. 15). Na podstawie wyników prób wykonanych w Centrali Badań Poligonowych różnica otrzymanej szybkości przy zastosowaniu tego przerywacza w porównaniu z przerywaczem w postaci płyty ruchomej z kontaktami wynosi około 6 m/sek.

f) Przy stosowaniu przerywaczy membranowych powstaje błąd przez to, że w chwili, gdy pocisk znajduje się nad przerywaczem, prąd elektryczny nie zostaje przerwany natychmiast, lecz dopiero po pewnym czasie $\triangle t$, gdy fala atmosfery powietrza, snującą się od głowy pocisku, uderzy w przerywacz (rys. 24).



Rys. 24.

Opóźnianie to jest zmienne i tem większe, im dalej przerywacz jest oddalony od płaszczyzny strzału, t. j. od pocisku i im kąt nachylenia fali do osi pocisku jest mniejszy, — czyli, im szybkość pocisku jest większa.

Z powyższego wynika, że przy stosowaniu przerywacza membranowego tylko w pierwszym obwodzie prądu powstałe opóźnienie wpłynie na zwiększenie badanej szybkości pocisku, przy użyciu zaś tylko w drugim obwodzie na jej zmniejszenie, a przy użyciu w obu obwodach, t. j. na początku i końcu drogi s, błędy te, oczywiście, zniosą się do pewnego stopnia.

By w większym stopniu wyrugować te błędy, zaleca W. Wolff równoczesne stosowanie dwóch par jednakowych przerywaczy membranowych i dwóch czasomierzy Boulenge'a.

Jedną parę przerywaczy połączonych z jednym czasomierzem umieszcza się po jednej stronie, drugą parę połączoną z drugim czasomierzem — po drugiej stronie płaszczyzny strzału.

Średnia wielkość z otrzymanych czasów przy pomocy pierwszego i drugiego czasomierza jest wynikiem prawie pozbawionym błędów, ujawniających się z powodu zmiennych odległości przerywaczy membranowych od poruszającego się pocisku. Wykonywając w ten sposób pomiar według otrzymanych prób, otrzymuje się badaną szybkość z dokładnością około 0,1%, a więc z dokładnością, odpowiadającą dokładności przerywaczy ramowych.

Przy zastosowaniu przerywacza membranowego w pierwszym obwodzie prądu (tuż u wylotu lufy) należy zwrócić uwagę, by przerwanie prądu nie było przedwczesne, spowodowane ciśnieniem gazów wylotowych, wyprzedzających ruch pocisku.

Aby temu zapobiec, należy zmniejszyć czułość przerywacza membranowego przy pomocy śrubki S_1 (rys. 16); zaleca się co pewien czas sprawdzić zapomocą zdjęcia fotograficznego, czy wyżej opisane zjawisko nie występuje. Sprawdzenie to można również wykonać dokładnym czasomierzem, nadającym się do pomiarów bardzo małych różnic czasu (§ 14 i § 17 ust. 2).

W końcu nadmienię, że błąd powstały z tej przyczyny, jest do pewnego stopnia zależny od zużycia lufy broni, ciśnienia gazów miotających oraz dla pocisków karabinowych, od własności materiału płaszcza pocisku i jego wykonania, dla pocisków artyleryjskich od wykonania i budowy pierścienia wiodącego.

3. Błędy natury elektro - magnetycznej.

W chwili przerwania prądu za pośrednictwem jakiegokolwiek przerywacza przez poruszający się pocisk, powstają pewne opóźnienia w spadaniu chronografu i ciężarka (opadnika) czasomierza, spowodowane przeskoczeniem iskry elektrycznej w przerywaczach; przez co prąd jakiś krótki czas e_1 i e_2 istnieje jeszcze w obu obwodach prądu.

Przy tem założeniu prąd w pierwszym obwodzie dopiero po czasie e_1 zniknie, jednak w tym samym momencie nie następuje jeszcze wolne spadanie chronografu CH, tylko po pewnym czasie m_1; podobnie ma się rzecz i z ciężarkiem U, który zaczyna spadać po czasie m_2 od chwili zupełnego zniknięcia prądu w drugim obwodzie.

Przyczyną tych opóźnień są zanikające elektromagnetyczne siły obu magnesów, ich pozostałości magnetyczne, działające hamu-

jąco na ruch swobodnego spadania chronografu i ciężarka oraz działanie siły elektromagnesu E_2 na spadający chronograf.

Działanie tej siły elektromagnesu E_2 jest bardzo małe, więc nie posiada prawie wpływu na wynik pomiaru.

Te elektryczne i magnetyczne wpływy działają tak, jakgdyby chronograf CH i ciężarek uruchomiający U nie rozpoczynały swego ruchu swobodnego spadania w chwili działania pocisku na odpowiedni przerywacz prądu, lecz dopiero po czasie $e_1 + m_1$ i $e_2 + m_2$.

Podobne opóźnienie występuje również przy badaniu czasu oderwania $t_1 = 0{,}15$ sek., t. j. w chwili jednoczesnego przerwania obu obwodów prądu wyłącznikiem D (rys. 8). Opóźnienia te oznaczmy odpowiednio przez e_1', e_2', m_1' i m_2'.

Biorąc te opóźnienia pod uwagę, czas lotu pocisku według wzoru 30, zmieni się na:

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}} - \sqrt{\frac{2h}{g}} + (e_1 - e_2) - (e_1' - e_2') + (m_1 - m_2) - (m_1' - m_2') \qquad (38).$$

lub

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}} - \sqrt{\frac{2h}{g}} + (e_1 - e_1') + (e_2' - e_2) + (m_1 - m_1') + (m_2' - m_2). \qquad (39).$$

Ponieważ opóźnienia e_1 i e_1'; e_2 i e_2'; m_1 i m_1'; m_2 i m_2' pochodzą z tego samego źródła, więc są sobie prawie równe, dlatego też różnice tych opóźnień dochodzą do zera. Gdyby suma ich posiadała nawet pewną wielkość, to pod wpływem tego błąd w pomiarze okazałby się tak mały w porównaniu z błędem spowodowanym niedokładnością pomiaru wysokości spadania chronografu, że można go zupełnie nie brać pod uwagę, co jest korzystne, gdyż błąd ten nie da się dokładnie zbadać i obliczyć.

Z wzoru 38 i 39 widzimy również, że dla zmniejszenia nieuniknionych błędów pomiarowych natury elektrycznej i magnetycznej istnienie czasu oderwania t_1 jest bardzo korzystne.

R. Wurtzel, który przeprowadzał badania nad dokładnością czasomierza Boulengé, zaproponował zmianę jego konstrukcji, polegającą na odpowiedniem ustawieniu względem siebie elektromagnesów E_1 i E_2, celem zmniejszenia wpływu zanikającego magne-

tyzmu, zmniejszenia działania pozostałości magnetycznej i działania elekromagnesu E_2 na spadający chronograf CH.

Zmiana konstrukcji polega na ustawieniu na jednym słupie S, w tej samej wysokości, w położeniu poziomym, obu elektromagnesów E_1 i E_2 (rys 25), tak, by biegun A znajdował się w tej samej odległości od biegunów C i D drugiego elekromagnesu; co również dotyczy położenia bieguna D względem A i B. Chronograf CH i ciężarek U są utrzymywane w położeniu wiszącem siłami biegunów A i D. Wpływ pozostałości magnetycznej w tej konstrukcji jest prawie usunięty, gdy elektromagnesy około słupa S obrócimy o 180 stopni, gdyż wtedy następuje zmiana funkcyj tych elektromagnesów.

Chronograf CH i ciężarek U powinny być tak zbudowane, by rolę ich funkcyj również można było zmieniać.

4. Błędy wskutek oporu powietrza.

Opór powietrza działa hamująco na spadający chronograf CH i ciężarek U. Ponieważ chronograf spada dłużej od ciężarka uruchamiającego, więc działanie oporu wpłynie na zmniejszenie badanego czasu.

Błąd ten z pewną dokładnością możemy obliczyć, stosując wzór *) na wysokość swobodnego spadania ciał w atmosferze powietrza.

Błąd ten spowodowany oporem ośrodka jest jednokierunkowy, wpływający tylko na zmniejszenie badanego czasu, a więc na zwiększenie badanej szybkości. Błąd ten $\triangle t$ zwiększa się przy badaniu dłuższego czasu lotu pocisku. Zależność $\triangle v$ od $\triangle t$ obliczyć możemy z wzoru:

$$\triangle v = - \frac{v^2}{s} \cdot \triangle t \qquad (40),$$

który jest przekształconym wzorem 34.

---

*) $$H = \int \frac{v \cdot dv}{g - c \cdot f(v)}$$

gdzie v oznacza szybkość spadania chronografu, lub też ciężarka, g przyśpieszenie ziemskie 9,81 m/sek.^{2} zaś $c \cdot f(v)$ opóźnienie powstałe przez siłę oporu atmosfery. Według Newtona dla bardzo małych szybkości opóźnienie to wynosi:

$$c \cdot f(v) = \frac{0{,}08 \cdot p \cdot v \cdot}{m}$$

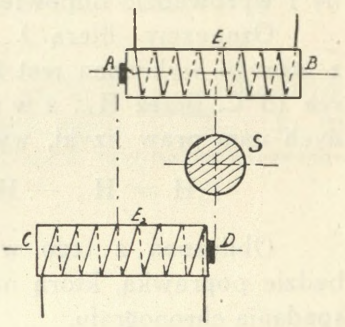
gdzie p jest powierzchnią prostopadłego przekroju ciała do jego ruchu spadania w m^2, m masą tego ciała. Wzór ten na opóźnienie wskutek oporu ośrodka jest ważny dla szybkości v nie przekraczającej 5 m/sek.

Dla przykładu podaję niżej wielkość błędu wskutek oporu powietrza przy badaniu szybkości 1200 m/sek. i przy rozstawieniu przerywaczy prądu s = 200 m.

Czas spadania chronografu przy tem badaniu, po uwzględnieniu czasu oderwania, wynosi 0,317 sek. Temu czasowi odpowiada wysokość spadania chronografu H = 492,898 mm w próżni, w ośrodku zaś atmosfery powietrza wysokość ta wyniosłaby 492,816.

Różnica tych wysokości, t. j. popełniony błąd wynosi $\triangle h = 492{,}816 - 492{,}898 = -0{,}082$ mm.

Po uwzględnieniu oporu ośrodka, działającego również hamująco na spadający ciężarek U, powstały błąd $\triangle h$ zmniejszyłby się dość znacznie.



Rys. 25.

Z obliczenia tego widzimy, że $\triangle h$ jest stosunkowo małą wielkością i leży w granicach dokładności pomiarowej, przy pomocy nonjusza, wysokości spadania chronografu; biorąc zaś jeszcze pod uwagę, że obliczenie to przeprowadziliśmy dla wypadku prawie najniekorzystniejszego, a ponadto że błąd ten, jako stale powtarzający się o tę samą wielkość przy poszczególnych pomiarach nie wpływa na odchylenie szybkości, dlatego też możemy go przy pomiarach zupełnie pominąć.

5. *Wpływy temperatury.*

Na dokładność pomiarów przyrządem Boulengé wpływa również do pewnego stopnia temperatura otoczenia i nagrzania, któregokolwiek z elektromagnesów.

Różnica wyników w pomiarach, np. przy temperaturze + 5° C i + 30° C, okazała się tak minimalna, że wpływ ten w stosunku do innych błędów czasomierza można pominąć.

Większą jednak zmianę dokładności badania otrzymano, przy nagrzaniu tylko jednego z elektromagnesów.

Np. badając czas 0,16 sek. przy nagrzaniu elektromagnesu E_1 do temperatury 42° C, otrzymano maksymalną zmianę czasu, wynoszącą 0,0005 sek., a prawdopodobny błąd poszczególnych pomiarów przy tych próbach okazał się większy o 0,28% (według obliczeń i pomiarów porucznika Steinkopf-Hartiga przy temperaturze 18° C).

Poza tem temperatura otoczenia wpływa również na dokładność odmierzenia wysokości H spadania chronografu, gdyż ze zmianą tej temperatury zmienia się i długość linji mierniczej, którą odmierza się odległość wybitych znaków na rurce cynkowej chronografu, t. j. wysokość H swobodnego spadania chronografu w czasie badanego zjawiska.

Znając zmianę długości linji mierniczej wskutek zmian temperatury możemy obliczyć powstały z tej przyczyny błąd systematyczny i wprowadzić odpowiednią poprawkę do wyniku mierzenia.

Oznaczmy literą λ współczynnik rozszerzalności dla metalu, z którego wykonana jest linja miernicza, jej długość w temperaturze 15^0 C. przez H_{15}, a w temperaturze t^0 C. przez H_t. Według znanych nam praw fizyki, wydłużalność linjowa wyraża się funkcją:

$$\triangle H = H_{15} - H_t = \lambda\,(t - 15)\,H_t \qquad (41).$$

Obliczona z tego wzoru zmiana długości $\triangle H$ linji mierniczej będzie poprawką, którą należałoby dodać do otrzymanej wysokości spadania chronografu.

Przykład.

Temperatura pomieszczenia czyli linji mierniczej niech wynosi $t = 0^0$ C.

Linja miernicza wykonana jest z mosiądzu o współczynniku rozszerzalności λ = ok. 0,00002.

Badając szybkość amunicji przy rozstawieniu przerywaczy s = 50 m, otrzymaliśmy wysokość spadania chronografu H_t = 212,4 mm (tej wysokości odpowiada według tabl. 2 szybkość v_{25} = 861 m/sek.).

Według wzoru 41 poprawka na wysokość spadania równa się:

$$\triangle H = 0{,}00002 \,.\, (-15) \,.\, 212{,}4 = 0{,}064 \text{ mm}$$

Błąd dla szybkości moglibyśmy obliczyć według wzoru 35.

Z powyższego przykładu widzimy, że błąd ten jest tak mały, że można go poza wyjątkowemi wypadkami nie brać pod uwagę przy pomiarach.

6. *Określenie dokładności przyrządu Boulengé.*

Wszystkie powyżej wykazane błędy przy użyciu szasomierza wpływają na jego dokładność.

Celem otrzymania współczynnika dokładności przyrządu Boulengé (bez przerywaczy prądu) należy kilkakrotnie tym aparatem

powtórzyć pomiar tej samej różnicy czasu, co uskuteczniamy, łącząc go z przyrządem odmierzającym stale ten sam okres czasu.

Do tego celu służy zegar wahadłowy Helmholtza-Wolffa, lub inny zegar kontrolny § 11. ust. 5.

Po wykonaniu następujących po sobie *n* pomiarów (na podstawie § 4 zazwyczaj n = 10) otrzymujemy z sumy poszczególnych wyników, podzielonej przez ilość pomiarów *n*, badany czas (§ 3), czyli $t_{śr} = \frac{\Sigma t}{n}$, przyczem $\Sigma t = t_1 + t_2 + \ldots + t_n$ otrzymanych wyników poszczególnych mierzeń.

Oznaczając różnicę między czasem średnim, a otrzymanym czasem z każdego poszczególnego pomiaru przez $\lambda = t_{śr} - t_n$ to średnie (kwadratowe) odchylenie poszczególnych pomiarów otrzymamy z wzoru 5 (§ 4), t. j.

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{\Sigma \lambda^2}{n - 1}}.$$

Ten błąd średni lub obliczone z niego prawdopodobne odchylenie poszczególnych pomiarów, t. j. $r = 0{,}6745\,\mu$ (§ 4 wz. 10) jest miarą dokładności czasomierza.

Chcąc zbadać dokładność czasomierza Boulengé wraz z przerywaczami, postępujemy jak wyżej, z tą tylko różnicą, że w miejsce *n* razy powtarzanych badań tej samej różnicy czasu, mierzymy *n* razy tę samą szybkość.

Aby każdorazowo uzyskać przy tem, chociażby w przybliżeniu, tę samą badaną szybkość, należy do badań używać nabojów wzorcowych o dokładnie znanych własnościach balistycznych.

Nabojami wzorcowemi nazywamy takie, których wszystkie wielkości jak: wymiary, objętość i waga poszczególnych części składowych i gotowych naboi są prawie teżsame.

Dotyczy to w szczególności wagi, gęstości i jakości ładunku prochowego, gdyż ładunek prochowy wywiera największy wpływ na wielkość, a w szczególności na jednostajność szybkości poszczególnych strzałów.

Użyta do tych pomiarów broń powinna być precyzyjnie wykonana, a w szczególności dokładnie wypróbowana.

Przy jednoczesnem badaniu 2 lub więcej czasomierzy otrzymane wyniki są przeważnie względem siebie bardzo zbliżone, a sporadyczne błędy jednego z poszczególnych czasomierzy pojawiają się bardzo rzadko.

7. *Końcowe wnioski dotyczące dokładności czasomierza Boulengé.*

Wszystkie niekorzystne skutki omówionych poprzednio wpływów na dokładność pomiarów możemy ująć w trzy rodzaje błędów poszczególnych badań, a mianowicie: odchylenia stałe w jednym znanym lub nieznanym kierunku (t. j. które zwiększają lub zmniejszają badaną szybkość); odchylenia zmienne w jednym znanym znanym lub nieznanym kierunku (t. j. które zwiększają lub kach nieznanych.

Widzimy z powyższego, że niekorzystne te wpływy działają w postaci błędów systematycznych i przypadkowych (§ 1 rozd. I).

Z ilości przytoczonych w niniejszym paragrafie wpływów natury mechanicznej, elektryczno-magnetycznej i termicznej widzimy, że czasomierz ten nie jest zupełnie idealnym przyrządem balistycznym.

Jak już na wstępie tego paragrafu zaznaczyłem, stopień jego dokładności zależy od konstrukcji zmontowania, wyregulowania i sposobu użycia.

W wyniku przeprowadzonych rozważań, by wymienione błędy doprowadzić do minimum, podaję niektóre charakterystyczne dane, wpływające korzystnie na dokładność opisanego aparatu Boulengé i na dokładność wykonywanych nim pomiarów.

a) Dane konstrukcyjne.

Chronograf CH i ciężarek U powinny posiadać jednakowy i odpowiednio dobrany ciężar oraz kształt.

Ostrze przyrządu cechującego powinno być tak wykonane, by wybity znak na chronografie był jak najwyraźniejszy, t. j. ostry i czysty, lecz nie za głęboki. Sprężyna ostrza i jego masa powinny być takie, by o ile możności zupełnie była usunięta siła masowa (bezwładności) ostrza podczas jego uderzenia w chronagraf i by sprężyna ta posiadała odpowiednią wytrzymałość i trwałość pod względem niezmienności swej siły. Najlepiej nadaje się sprężyna płaska w postaci sztabki stalowej.

Oba elektromagnesy powinny być jednakowe pod względem wielkości, kształtu, ilości zwojów i materjału.

Rdzeń ich należy wykonać z miękkiego żelaza bardzo dobrego gatunku.

Przewody elektryczne powinny posiadać jak najmniejszy opór, jak najkrótszą długość bez niepotrzebnych zagięć i ozdobnych zwinięć, a kontakty powinny być wykonane z odpowiedniego materjału i silnie do siebie przylegać.

Broń, użyta do pomiarów powinna być dokładnie wykonana, a jej charakterystyczne własności powinny być dokładnie znane.

b) Montowanie.

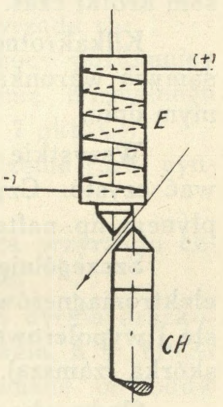
Czasomierz z przynależnemi częściami powinien być zmontowany w osobnym pomieszczeniu, o ile możności izolowany od wszelkich wpływów mechanicznych (wstrząsy) i atmosferycznych.

Tablicę rozdzielczą należy ustawiać przy ścianie wewnętrznej w pewnej dogodnej odległości od niej.

Czasomierz, jak i przyrządy kontrolne powinny znajdować się na odpowiednich fundamentach.

Przewody elektryczne należy przeprowadzać w linjach prostych, unikając niepotrzebnych skręceń i zwinięć. Przewody izolowane obu kierunków prądu przeprowadza się razem złączone lub zwinięte, a wszelkie ich połączenia należy tak wykonać, by nie przedstawiały zbyt dużego oporu.

Przerywacze prądu należy odpowiednio ustawić, a odległość ich wymierzyć z dokładnością kilku milimetrów.



Rys. 26.

c) Wyregulowanie i użycie.

Czasomierz należy przy pomocy poziomnicy ustawić pionowo, a w szczególności zwrócić uwagę na pionowe zawieszenie ciężarka (opadnika) U i chronografu CH w stosunku do położenia ostrza przyrządu cechującego. Chronograf należy zawiesić w ten sposób, aby tylną powierzchnią czworograniastej żelaznej kostki tak lekko dotykał podstawy słupa, aby słabe uderzenie o podstawę słupa spowodowało odchylenie chronografu. Znak zerowy chronografu powinien znajdować się na jednej wysokości z ostrzem. Można to uzyskać, zawieszając chronograf i następnie uruchamiając ręcznie przyrząd cechujący, który ten znak wybija. Rurkę cynkową należy przed każdym strzałem dość silnie nasunąć aż do oparcia o czworograniastą kostkę chronografu.

Zawieszenie chronografu CH i ciężarka U uskutecznia się, przesuwając względem siebie części stożkowe (np. chronografu i rdzenia elektromagnesu) wzdłuż tworzącej stożków aż do wierzchołków (rys. 26). Wyładowanie baterji powinno odbywać się w takich granicach napięcia, w których proces wyładowania odbywa się najpowolniej i najrównomierniej.

Czas krążenia prądu powinien być jak najkrótszy, a siła jego jak najmniejsza. Częste zmiany kierunków prądu w obu obwodach są pożądane. Należy wyłączyć możliwość powstawania krótkich spięć w czasie pomiaru.

Szczególniejszą uwagę należy zwrócić, czy nie istnieje jakiekolwiek połączenie przewodu któregokolwiek z elektromagnesów z masą czasomierza. Bada się to łącząc jeden koniec przewodnika elektrycznego z masą czasomierza, np. ze słupem d., drugi zaś z obwodem elektromagnesu. Po włączeniu źródła prądu w ten obwód, galwanometr nie powinien wykazywać odchylenia, a więc prąd nie powinien krążyć.

Przy wykonywaniu szeregu pomiarów należy uważać, by prądy elektryczne w każdym pomiarze krążyły okresowo przez ten sam krótki czas.

Kilkakrotne powtarzanie pomiarów należy wykonywać w tych samych warunkach atmosferycznych, a w szczególności w tym samym dniu.

Wszystkie kontakty i powierzchnie styków należy utrzymywać czysto. Czyszczenie wykonywa się chemicznie odpowiednim płynem, np. naftą.

Szczególniejszą uwagę należy również zwrócić, by końce elektromagnesów i obu ciężarków spadających były zawsze czyste i wypolerowane. Pożądane jest częste czyszczenie ich delikatną skórką (zamszą).

Ślady rdzy można oczyścić drobnym papierem szmerglowym, należy jednak wycierać wokoło osi bieguna, aby nie uszkodzić jego kształtu. Nie należy również w czasie użycia chwytać bieguny palcami. Znaki biegunów, t. j. dodatni, czy ujemny sprawdza się przy pomocy igły magnetycznej.

Wszystkie przełączniki i wyłączniki, t. j. ich kontakty powinny działać dokładnie i nie dawać żadnych odchyleń w amperomierzach podczas zmiany kierunków i obwodów prądu. Wahania wskazówek amperomierzy mogą być spowodowane również zbytnią słabością akumulatorów.

Odległość przerywaczy prądu i typu czasomierza należy dobierać według tabl. 3 lub tabl. 2a.

Czułość i działanie przerywaczy należy dokładnie wyregulować, a następnie odpowiednio je ustawić.

Do pomiarów należy używać, o ile możności, jednakowych przerywaczy we wszystkich obwodach prądu.

Co pewien czas zaleca się sprawdzać przyrządem kontrolnym działanie wszystkich kontaktów, czas oderwania, dokładność czasomierza i całego urządzenia.

§ 13. Wykonywanie pomiarów czasomierzem le Boulengé.

Bardzo wiele wskazówek, dotyczących sposobu użycia i wykonywania pomiarów czasomierzem Boulengé, podano już w §§ 10, 11 i 12.

W niniejszym paragrafie podaję tylko kolejność postępowania przed i podczas pomiarów oraz zastosowanie czasomierza Boulengé do badań szybkości różnych rodzajów amunicji.

Przy rozpoczęciu pomiarów należy sprawdzić zmontowanie czasomierza i dokładnie go wyregulować.

Najważniejsze czynności przy regulowaniu przyrządu są:

a) pionowe ustawienie czasomierza przy pomocy poziomnicy i śrub ustawnych, a przedewszystkiem sprawdzenie normalnego zawieszenia chronografu CH i ciężarka U (§ 12 ust. 7 pkt. C);

b) wyregulowanie siły prądu i dokładne osadzenie rurki cynkowej (§ 11 ust. 3);

c) sprawdzenie dokładności i działania ostrza przyrządu cechującego i wybicie znaku zerowego na chronografie;

d) oznaczenie znaku oderwania przy pomocy cyrkla drążkowego, t. j. sprawdzenie wysokości czasu oderwania, h = 110,37 mm i czy jest stała bez względu na kierunek i zmianę obwodów prądu (§ 11 ust. 1 i 3).

Powyższe badania przyrządu z załączonymi przerywaczami prądu poleca się wykonywać na początku użycia w każdym dniu i przy wszelkiej zmianie przerywaczy prądu.

Podczas regulowania czasomierza, należy przedewszystkiem zwrócić uwagę, czy z jakichkolwiek przyczyn nie nastąpiło krótkie spięcie.

Występuje to wtedy, gdy przy ręcznem przerwaniu przerywaczy prądu P_1 lub P_2 chronograf CH lub ciężarek U natychmiast nie spadają, lub też amperomierz wskazuje więcej, niż normalnie.

Przyczyną mogą być przerywacze prądu lub kable doprowadzające prąd.

Przy pierwszem użyciu czasomierza o nieznanej dokładności, jako też co pewien okres czasu, zależnie od ilości wykonanych prób, należy sprawdzić dokładność całego urządzenia przyrządem kontrolnym (§ 11 ust. 5).

Po sprawdzeniu i wyregulowaniu czasomierza odnotowujemy warunki atmosferyczne, panujące w czasie pomiarów, w szczególności temperaturę i ciśnienie barometryczne.

1. Badanie szybkości amunicji małokalibrowej.

Celem przeprowadzenia pomiaru szybkości pocisków jakiejkolwiek partji amunicji małokalibrowej, nie przekraczającej 150.000 sztuk, bada się niemniej jak 10 sztuk naboi dowolnie wziętych z danej partji (§ 4 rys. 1).

Do powyższych pomiarów używa się przeważnie przerywaczy prądu opisanych w § 11 ust. 2 a, b, c, d, i e. Jak należy dobierać odległość s przerywaczy prądu w zależności od wielkości badanej szybkości uwidocznia tabl. 3 i 2a. Ponieważ szybkość tej amunicji wynosi od 200 do 1000 m/sek., używa się wobec tego przyrządu typu mniejszego (tabl. 3) przy rozstawieniu przerywaczy prądu s = 25, 30, 40 i 50 m.

Przy badaniu szybkości tych pocisków należy przy wyniku wykonanych prób podać typ, wzór i numer użytej broni, nadto poprawkę względem dnia i broni.

Na wstępie pomiarów oddaje się dwa strzały celem rozgrzania i wyczyszczenia lufy z oliwy.

Poprawkę względem dnia i broni otrzymujemy przez pomiar szybkości średniej dla kilku strzałów (od 5 do 10) naboi wzorcowych, o znanej szybkości średniej w pewnych warunkach atmosferycznych, przyjętych raz na zawsze jako normalne, przy użyciu broni ściśle dokładnej (wzorcowej). Oznaczmy wielkość normalnej szybkości średniej tych naboi przez v m/sek., ich zaś szybkość średnią otrzymaną z pomiaru w danym dniu i w danych warunkach przez v_1 m/sek., to różnica $v - v_1 = \pm \triangle v$ jest szukaną poprawką względem dnia i broni.

Jeżeli różnica $\triangle v$ wynosi więcej niż 15% v, to strzelanie należy przerwać aż do wyjaśnienia i usunięcia przyczyn anormalnych.

Celem wyłączenia błędów, mogących powstać z powodu wzrostu temperatury użytej broni, badanie przy użyciu amunicji wzorcowej zaleca się wykonywać, strzelając nią naprzemian z amunicją, której szybkość mamy zbadać.

Poprawkę otrzymaną w sposób powyższy należy dodać do szybkości (średniej, maksymalnej i minimalnej) następnych kolej-

nych seryj pomiarów amunicji z przeciwnym znakiem algebraicznym.

Otrzymaną poprawkę względem dnia i broni należy sprawdzić przy każdej zmianie broni podczas pomiaru, jako też przy jakiejkolwiek znacznej zmianie atmosferycznej.

Przy dokładnych pomiarach, np. przy ustalaniu ciężaru (wypośrodkowaniu) ładunków prochowych, zaleca się dla każdej serji pomiarów określać powyższą poprawkę amunicją wzorcową, gdyż strzelanie naprzemian amunicją wzorcową jest zarazem sprawdzianem dokładności działania aparatu.

W czasie dłuższego pomiaru zaleca się oddawać poszczególne strzały w takich odstępach czasu, aby temperatura karabina nie bardzo się zwiększała, a po oddaniu każdej serji (np. 20 strzałów) karabin należy ochładzać, pozostawiając go z otwartym zamkiem w położeniu pionowem.

Według prób wykonanych w Pracowni Broni Małokalibrowej (Centrala Badań Poligonowych) nagrzanie lufy kbk. Mausera wpływa w ten sposób, że między pierwszą a drugą serją z 10 strzałów różnica v_{25} wynosi 1,8 m/sek.

Podczas pomiaru szybkości amunicji należy ponadto zwrócić uwagę, aby badana amunicja pozostawała przez pewien czas w pomieszczeniu strzelnicy, celem zrównania jej temperatury z temperaturą strzelnicy, a w szczególności dotyczy to temperatury ładunków prochowych, ponieważ temperatura ta posiada dość duży wpływ na odchylenia szybkości.

Według pomiarów, wykonanych przez Granca i Rohnego, zależność ta dla amunicji karabinowej wynosi:

temperatura	$t =$	-20	-10	0	$+10$	$+20$
szybkość początkowa	$v_{25} =$	840,2	855,4	863,7	868,6	873,4
		$+30$	$+40$	$+50$	$+60$	$+70$
		878,1	882,8	889,2	891,6	896,0

Na podstawie powyższych badań można przyjąć w przybliżeniu, że odchylenie temperatury ładunku prochu o $\pm 1^0$C od przyjętej normalnej temperatury np. 15^0C, wymaga poprawienia otrzymanej szybkości czasomierzem o $\mp$ 0,5 m/sek.

Nadmienię przytem, że zmiana szybkości w zależności od zmiany temperatury ładunku prochowego zależy jeszcze od rodzaju pocisku.

Na podstawie badań przeprowadzonych w Pracowni Broni Małokalibrowej ustalono, że ze zmianą temperatury ładunku prochu wzor-

cowego o ± 1°C w obrębie 15° C szybkość v_{25} dla naboi Mausera „S" zmienia się o ± 0,726 m/sek. dla ciężkich naboi Mausera „SC" o ± 0,54 m/sek.

Wynikiem pomiarów jest zazwyczaj otrzymana szybkość średnia $v_{śr}$, maksymalna v_{max} i minimalna v_{min} w m/sek. dla 10 oddanych strzałów przy uwzględnieniu poprawki względem dnia i karabina.

O ile wielkości te leżą (według warunków technicznych) w granicach dopuszczalnych dla danej amunicji to powiadamy, że amunicja ta pod względem szybkości odpowiada warunkom balistycznym. W rzeczywistości szybkość maksymalna, średnia i minimalna nie charakteryzuje stopnia dokładności badanej amunicji pod względem szybkości, co wynika chociażby z następującego przykładu:

A) Szybkości 10 strzałów pierwszej partji amunicji w m/sek.	B) Szybkości 10 strzałów drugiej partji amunicji w m/sek.
780,0	781,5
780,0	777,4
780,0	781,0
780,0	775,0
787,0	784,3
780,0	777,5
780,0	773,0
773,0	781,1
780,0	787,0
780,0	782,2

Z zestawienia tych wyników widzimy, że dla obu partyj $v_{śr}$ = 780,0; v_{max} = 787,0 i v_{min} = 773,0 m/sek.

Dokładność jednak amunicji pierwszej i drugiej partji nie jest jednakowa, gdyż poszczególne szybkości pierwszej partji są przeważnie teżsame, a co zatem idzie dokładność amunicji tej partji jest większa od dokładności amunicji partji drugiej.

Dlatego też w ściślejszych badaniach powinno się oceniać dokładność amunicji podobnie jak dokładność czasomierza (§ 12 ust. 6), t. j. błędem (odchyleniem) średnim μ, lub błędem przeciętnym E, średnią arytmetyczną D lub też prawdopodobnym błędem r poszczególnych mierzeń.

Wszystkie te błędy obliczamy na podstawie wzorów: 5, 7, 8, 10, 11, 12 (§ 4 rozd. I).

Dla przykładu podaję niżej wynik pomiarów szybkości naboi ostrych Mauzera „S" kal. 7,92 mm wz. 98 (tabl. 4). Jako broń do pomiarów był użyty karabin Mausera wz. 98.

Przerywaczem pierwszego obwodu jest napięty drucik miedziany u wylotu lufy, drugiego zaś ruchoma tarcza (płyta) kontaktowa, znajdująca się w odległości s = 50 m od pierwszego przerywacza.

Stały czas oderwania dla tego czasomierza wynosi $t_1 = 0{,}15$ sek.

Podczas oddawania 10 strzałów wpisujemy każdorazowo wysokość H spadania chronografu i odpowiadającą szybkość według tabl. 2.

TABLICA 4.

Liczba porządkowa strzału	Wysokość H w mm	Szybkość v_{25} m/sek.	Odchylenie λ $v_{25} - v_{śr}$ m/sek.	Kwadraty poszczególnych odchyleń λ^2	Bezwzględne wartości różnic poszczególnych mierzeń $\lvert d\rvert = \lvert v_n - v_{n+1}\rvert$
1.	212,9	857,3	− 2,3	5,29	1,9
2.	213,2	855,4	− 4,2	17,64	7,8
3.	212,1	863,2	+ 3,6	12,96	5,1
4.	212,8	858,1	− 1,5	2,25	0,0
5.	212,8	858,1	− 1,5	2,25	3,6
6.	212,3	861,7	+ 2,1	4,41	1,7
7.	212,5	860,0	+ 0,4	0,16	2,4
8.	212,2	862,4	+ 2,8	7,84	4,3
9.	212,8	858,1	− 1,5	2,25	3,6
10.	212,3	861,7	+ 2,1	4,41	
		$v_{śr} = 859{,}6$	$\Sigma\lvert\lambda\rvert = 22$	$\Sigma\lambda^2 = 59{,}86$	$\Sigma\lvert d\rvert = 30{,}4$

Ponieważ $\lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda_{10} = 0$, więc obliczenie $v_{śr}$ wykonane jest dobrze (§ 4 wz. 4).

Tablica 4 przedstawia w przybliżeniu obraz dokładności badanej amunicji pod względem szybkości początkowej.

Wielkości otrzymanych odchyleń charakteryzują tę dokładność, a w szczególności trzy otrzymane szybkości t. j. średnia, minimalna i maksymalna. Szybkości te w danym przykładzie wynoszą:

$v_{max} = 863{,}2$ m/sek.; $v_{śr.} = 859.6$ m/sek. i $v_{min} = 855{,}4$ m/sek.

Dla amunicji badanej pod względem szybkości według tabl. 4 i wzorów podanych w § 4 mamy:

a) błąd średni (kwadratowe odchylenie)

$$\mu = \sqrt{\frac{59{,}86}{10-1}} = \pm 2{,}6 \text{ m/sek.} = \pm 0{,}3\%$$

b) błąd (odchylenie) przeciętny

$$E = \frac{22}{\sqrt{10\,(10-1)}} = \pm 2{,}3 \text{ m/sek.} = \pm 0{,}27\%$$

c) średni błąd (odchylenie) arytmetyczny

$$D = \frac{30{,}4}{9} = \pm 3{,}4 \text{ m/sek.}$$

d) błąd prawdopobny

obliczony z μ; $r = 0{,}6745.2{,}6 =$ ok. $\pm$ 1,7 m/sek. $= \pm 0{,}2\%$
obliczony z D; $r = 0{,}5978.3{,}4 =$ ok. $\pm$ 2,0 m/sek.
obliczony z E; $r = 0{,}8453.2{,}3 =$ ok. $\pm$ 1,9 m/sek.

e) średni (kwadratowy) błąd wyniku według 13 wzoru

$$m = \frac{\pm 2{,}6}{\sqrt{10}} = \pm 0{,}8 \text{ m/sek}$$

więc

$$v_{śr.} = 859{,}6 \pm 0{,}8 \text{ m/sek.}$$

f) prawdopodobny błąd wyniku według 14 wzoru

$$w = \frac{1{,}7}{\sqrt{10}} = \pm 0{,}5 \text{ m/sek.} = \pm 0{,}06\%$$

Z powyższego widzimy, że stosunek błędu prawdopodobnego r obliczonego z D i E t. j. $\frac{0{,}5978}{0{,}8453} \cdot \frac{D}{E} = \frac{2}{1{,}9} = 1{,}05$ jest zawarty w granicach 0,8 do 1,2 (rozdz. I, § 4), wobec czego nie zachodzi przypuszczenie, że podczas pomiaru mogła zajść nieprzewidziana przeszkoda.

Gdybyśmy otrzymali podczas pomiaru te same wyniki co w tablicy 4, jednak w innej kolejności strzałów, np.:

kolejność strzałów	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
szybkość v_{25} =	855,4;	857,3;	858,1;	858,1;	858,1;	860,0;	861,7;	861,7;	862,4;	863,2
różnica $\lvert d \rvert$ =	1,9;	0,8;	0,0;	0,0;	1,9;	1,7;	0,0;	0,7;	0,8;	

to w danym wypadku średni arytmetyczny błąd $D = \frac{7{,}8}{9} = 0{,}87$ m/sek.,

stosunek zaś $\frac{0{,}5978}{0{,}8453} \cdot \frac{D}{E} = \frac{0{,}5}{1{,}9} = 0{,}27$. Z powyższego przykładu wi-

dzimy, że zachodzi jakaś nieprzewidziana przeszkoda w pomiarze, co zresztą już z poszczególnych po sobie następujących szybkościach v_{25} było do przewidzenia, że coś jest powodem stałego kolejnego zwiększania się szybkości v_{25}. W takim wypadku należałoby zbadać przyczynę i ewentualnie pomiar powtórzyć.

Szybkość pocisków amunicji Mausera „S" kal. 7,92 mm wz. 98 dla karabina wz. 98 wynosi $v = 860 \pm 10$ m/sek. przyczem ± 10 m/sek. nazywamy dopuszczalną tolerancją; dla karabinka zaś według przeprowadzonych prób szybkość ta zmniejsza się o 35 m/sek., czyli wynosi 825 ± 10 m/sek.*).

Przy ustalaniu wielkości tolerancji dla szybkości pocisków ważną rzeczą jest znajomość wielkości wszystkich wpływów, przyczyniających się do powstawania odchyleń λ od średniej szybkości dla danej amunicji.

Do wymienionych wpływów powinno się zaliczyć również przyczynę zależną od stopnia dokładności użytego aparatu i stosowanych przerywaczy prądu.

Według obliczeń i praktycznych danych (§ 12) dla czasomierza Boulengé z przerywaczami prądu (przy rozstawianiu $s = 50$ m) można przyjąć, że przy badanej szybkości ok. 825 m na sekundę maksymalne odchylenie tej szybkości, spowodowane niedokładnością czasomierza wyniesie od $+ 0{,}22\%$ do $- 0{,}19\%$.

Wobec powyższego w przybliżeniu możemy przyjąć, że dokładność aparatu z przerywaczami może wpływać na tolerancję szybkości maksymalną wielkością w granicach od $- 1{,}5$ do $+ 2$ m/sek.

Przy badaniu szybkości pocisków przeciwpancernych „P" t. j. takich w których zamiast rdzenia ołowianego znajduje się rdzeń ze stali specjalnej, silnie zahartowanej, nie należy używać w drugim obwodzie prądu przerywacza w postaci płyty stalowej ze względu na to, że płyta ulegnie zniszczeniu, a stosować tylko przerywacze opisane w § 11. ust. 2 b, e i f. Aby jednak nie zmieniać typu przerywaczy, jest dogodniej przeprowadzić powyższe badania z pociskami przeciwpancernemi, posiadającemi rdzenie stalowe niehartowane.

2. *Pomiary szybkości amunicji artyleryjskiej.*

Badanie szybkości amunicji artyleryjskiej wykonywa się podobnie, jak badanie amunicji małokalibrowej z drobnemi tylko zmianami.

Ponieważ pomiar szybkości pocisków artyleryjskich doko-

*) Powyższe dane balistyczne dla różnych rodzajów i kalibrów amunicji małokalibrowej podane są w części II niniejszej pracy.

nywa się przeważne przy równoczesnem użyciu dwóch czasomierzy Boulengé, przeto w tym wypadku najdogodniej jest używać do tego pomiaru przerywaczy w postaci ram posiadających obustronnie po jednej siatce drutów, z których każda połączona jest z jednym czasomierzem.

Ze względu na silne działanie gazów, wyprzedzających pocisk, pierwszy przerywacz należy ustawić w pewnej odległości od wylotu lufy; zazwyczaj ustawia się go w odległości 25 m.

Wobec takiego ustawienia przerywaczy, zmierzona szybkość będzie szybkością pocisku w odległości (25 + $s/_2$) m. od wylotu lufy, a więc $v_{25} + s/_2$.

Odległość przerywaczy dobiera się w zależności od badanej szybkości pocisków (§ 12 ust. 1).

Przed rozpoczęciem pomiarów zaleca się oddać jeden strzał celem rozgrzania i wyczyszczenia lufy (z tłuszczu). Następnie oddaje się serję strzałów prochem wzorcowym, celem otrzymania poprawki względem dnia i broni (ust. 1 niniejszego paragrafu).

Ze względu na kosztowność tych prób, oddaje się zazwyczaj przy zasadniczym pomiarze mniejszą serję strzałów aniżeli podczas pomiaru szybkości amunicji małokalibrowej; nie mniejszą jednak od 5 strzałów (§ 4 rys. 1).

W każdej serji można jeden strzał, wykazujący z nieznanych przyczyn duży błąd, wyłączyć z pomiaru według reguły podanej w § 5.

Przy badaniu amunicji artyleryjskiej należy tak samo jak przy amunicji karabinowej, zwrócić uwagę na temperaturę ładunku prochu, gdyż od niej w dość znacznym stopniu zależy szybkość pocisku.

Według W. Heydenreicha, w działach przy zwiększeniu temperatury ładunku o 1° C, szybkość początkowa wzrasta o 0,05% do 0,2%, w zależności od działa, pocisku i rodzaju prochu.

Poprawkę ze względu na temperaturę prochu dla danego rodzaju i wzoru pocisku podają zwykle tabele strzelnicze; w przeciwnym zaś razie należy z odpowiednich wzorów dostosowanych do różnych rodzajów prochu poprawki te obliczyć.

Wzory te dla niektórych ważniejszych prochów przedstawiają się następująco:

dla prochu	BSP	$\triangle v = v_0 \cdot 0{,}0011 \cdot (t - 15)$
„ „	US_3	$\triangle v = v_0 \cdot 0{,}0006 \cdot (t - 15)$
„ „	BG_5	$\triangle v = v_0 \cdot 0{,}0015 \cdot (t - 15)$
„ „	BC	$\triangle v = 0{,}16 \cdot (t - 15)$
„ „	1,3 × 10 mm wz. 16	$\triangle v = 0{,}3 \cdot (t - 15)$

gdzie $\triangle v$ — jest poprawką szybkości ze względu na temperaturę ładunku, v_0 — szybkością początkową pocisku, t zaś — temperaturą prochu w stopniach Celsjusza.

Podane wyżej wzory zaleca się stosować podczas badań; nadmienię jednak, że nie uwzględniają one innych jeszcze wpływów (jak rodzaj pocisku, rodzaj działa i t. d.), od których również zależy działanie temperatury prochu na szybkość pocisku.

a) Redukcja szybkości.

Jako wynik pomiaru szybkości amunicji artyleryjskiej otrzymujemy szybkość w pewnej odległości x m od wylotu lufy, t. j. v_x; tymczasem jest nam potrzebna szybkość dla której są ułożone tabele strzelnicze, np. szybkość początkowa v_0.

Redukcję szybkości z v_x na v_0 możemy obliczyć, znając dokładnie opóźnienie pocisku, spowodowane działaniem oporu powietrza na poruszający się pocisk.

Według znanych wzorów z balistyki teoretycznej, zależność ta określa się funkcją:

$$D(v_x) = D(v_0) + c \cdot x \qquad (42).$$

gdzie v_x — oznacza szybkość pocisku w odległości x m od wylotu lufy, v_0 — szybkość początkową, D (v) — t. zw. funkcję pierwotną (całkę) Siaccieg'o (tabl. 2c), c zaś — jest spółczynnikiem balistycznym danego pocisku.

Spółczynnik balistyczny *c* możemy obliczyć według wzoru:

$$c = \frac{R^2\pi \cdot \delta \cdot i}{P \cdot 1{,}206} \qquad (43).$$

gdzie $R^2\pi$ jest powierzchnią przekroju pocisku w m^2, P — jego ciężarem w kg, δ — ciężarem 1 m^3 powietrza w czasie próby, natomiast i — jest spółczynnikiem kształtu pocisku (tabl. 5).

Spółczynnik balistyczny *c* można obliczyć również z danych w tabelach strzelniczych, według wzoru 42.

Przykład.

Dla szrapnela 75 mm wz. 97, według tabel strzelniczych $v_0 = 535$ m/sek, pozioma zaś szybkość tego szrapnela w odległości $x = 500$ m wynosi $v_{500} = 480$ m/sek., więc

$$c = \frac{D(v_x) - D(v_0)}{x} = \frac{2{,}733 - 2{,}453}{500} = 0{,}00056.$$

TABLICA 5*).

Kształt pocisku:	Wartości dla i przy szybkościach	
	poniżej 550 m/sek.	powyżej 550 do 1000 m/sek.
Pocisk cylindryczny ścięty. . . .	2,30	2,30
„ „ 0,9 kal. spłaszczenia	1,85	1,85
„ „ 0,8 „ „	1,50	1,50
„ „ 0,7 „ „	1,30	1,33
„ „ 0,6 „ „	1,10	1,10
Promień głowicy 0,5 kal.	1,40	1,40
„ „ 1,0 „	1,10	1,10
„ „ 1,5 „	0,95	0,95
„ „ 2,0 „	0,85	0,85
„ „ 3,0 „	0,75	0,70
„ „ 4,0 „	0,70	0,60
„ „ 6,0 „	0,65	0,55
„ „ 8,0 „	0,60	0,50
„ „ 10,0 „	0,55	0,45

Ze względu na wysoką cenę naboi działowych, pomiary szybkości tej amunicji wykonywa się tylko przy ustalaniu (wypośrodkowaniu) ciężaru ładunków prochowych, używając do tych prób pocisków balistycznych t. j. takich, które w zupełności pod względem balistycznym zastępują pociski ostre.

3. Pomiar średniej szybkości lotek szrapnelowych.

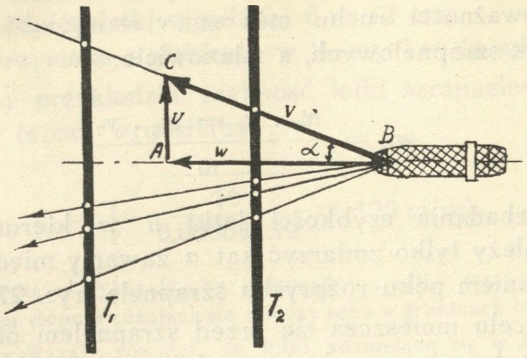
Znajomość średniej szybkości lotek szrapnelowych jest potrzebna do określania ich skuteczności, a tem samem skuteczności szrapnela.

Badanie tej szybkości przeprowadza się na szrapnelu, będącym w spoczynku, a wybuch materjału, miotającego lotki uskutecznia się przy pomocy odpowiedniego przyrządu elektrycznego.

Jeżeli w ten sposób spowodujemy wybuch szrapnela, to po-

*) Wielkości podane w tabl. 5 dotyczą pocisków dawnych typów i wzorów

szczególne lotki po oderwaniu się głowicy szrapnela o ładunku tylnym lub mieszanym (lub też dna pocisku, jeżeli szrapnel posiada ładunek przedni), wylecą w różnych kierunkach, z różnemi szybkościami, w postaci pęku promieni (rys. 27).

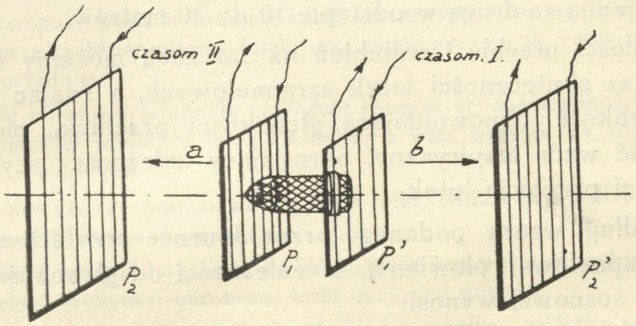


Rys. 27.

Każdą z tych szybkości v możemy rozłożyć na dwie składowe, t. j. na szybkość w, w kierunku osi szrapnela i na szybkość u w kierunku promienia szrapnela.

Do badania szybkości średniej $w_{śr}$ wszystkich lotek szrapnelowych używa się dwóch czasomierzy z przerywaczami ramowymi, tak w pierwszych jak i w drugich obwodach prądu.

Pomiar wykonywa się w ten sposób, że między przerywaczami ramowymi P_1 i P_1' (rys. 28), zawiesza się swobodnie szrapnel



Rys. 28.

(w danym przykładzie z ładunkiem tylnym) i zapala się materjał miotający lotki.

Siła gazów miotających tego materjału powoduje ruch lotek wraz z głowicą szrapnela w kierunku a, skorupa zaś szrapnela wskutek reakcji otrzymuje ruch w kierunku b.

Czasomierzem I otrzymujemy szybkość v_1 skorupy szrapnela, która posiada masę m_1, czasomierzem zaś II szybkość v_2 głowicy szrapnela o masie m_2.

Oznaczając masę wszystkich lotek przez m, a badaną średnią szybkość lotek przez $w_{śr}$ otrzymamy z równości akcji i reakcji, t. j. z równoważności ruchu mas $m_1 . v_1 = m_2 . v_2 + m . w_{śr}$ średnią szybkość lotek szrapnelowych, a mianowicie:

$$w_{śr} = \frac{m_1 . v_1 - m_2 . v_2}{m} \qquad (44)^*).$$

Celem zbadania szybkości lotki u w kierunku promienia szrapnela, należy tylko zmierzyć kąt α zawarty między osią szrapnela, a promieniem pęku rozprysku szrapnela (rys. 27).

W tym celu umieszcza się przed szrapnelem obok przerywaczy ramowych dwie tarcze płócienne (lub papierowe) T_1 i T_2.

Z trójkąta prostokątnego ABC otrzymujemy:

$$u = w . \operatorname{tg} \alpha \qquad (45)^{**})$$

i

$$v = \frac{w}{\cos \alpha} \qquad (46).$$

Szybkość v lotek szrapnelowych można zbadać sposobem bezpośrednim, powodując wybuch szrapnela, np. przed dwiema tarczami z desek sosnowych o grubości 20 mm, które są umieszczone jedna za drugą w odstępie 10 do 20 metrów.

Z ilości przebić i wgłębień na tarczach możemy sobie stworzyć obraz skuteczności lotek szrapnelowych, a znając z doświadczeń szybkość, odpowiadającą głębokości przebicia, możemy wyprowadzić wzór empiryczny, określający zależność szybkości od głębokości przebicia lotek.

Według wzoru podanego przez Journée przybliżona szybkość lotki szrapnelowej ołowianej w zależności od głębokości przebicia w tarczy sosnowej wynosi:

$$v_k = \sqrt{\frac{1}{0{,}000093 . d}} \qquad (47).$$

---

*) Przy dokładniejszych pomiarach we wzorze 44 należałoby uwzględnić wpływ masy ładunku miotającego lotek szrapnela.

**) Szybkość promieniowa u lotek szrapnela o ładunku mieszanym jest o wiele większa, niż lotek szrapnela o ładunku tylnym lub przednim.

gdzie l mm — oznacza głębokość przebicia w tarczy z desek sosnowych, d mm — średnicę lotki szrapnelowej, v_k m/sek.— szybkość końcową lotki tuż przed przebiciem tarczy.

Przykład:

średnica lotki ołowianej d = 12 mm,
otrzymane wgłębienie w tarczy l = 16 mm.

W danym przykładzie szybkość lotki szrapnelowej tuż przed wgłębieniem w tarczy wynosiłaby:

$$v_k = \sqrt{\frac{16}{0{,}000093.12}} \sim 120 \text{ m/sek.}$$

Próby powyższe wykazały, że poszczególne lotki szrapnelowe posiadają szybkości w dużym stopniu różniące się między sobą w granicach od 0 do 250 m/sek.

Próby te wykazały również, że lotki znajdujące się w głowicy szrapnela otrzymują najmniejszą szybkość, a niektóre zderzając się między sobą tracą ją zupełnie.

Szybkości o których mówiliśmy wyżej, są to szybkości lotek szrapnelowych wywołane ładunkiem miotającym szrapnela będącego w spoczynku.

Jeżeli szrapnel wybucha w czasie lotu, to działanie ładunku miotającego jest wprawdzie podobne do opisanego poprzednio, lecz w danym wypadku lotki podlegają jeszcze innym wpływom dodatkowym, które zmieniają ich ruch tak pod względem szybkości jak i kierunku.

Wpływami temi jest szybkość postępowa i obrotowa całego układu szrapnela tuż przed jego wybuchem.

Jeżeli szrapnel posiada ładunek tylny lub mieszany to jego szybkość postępowa zwiększa szybkość osiową lotek; przeciwnie zaś ma się rzecz w szrapnelu o ładunku przednim.

Szybkość obrotowa szrapnela powoduje również zmianę szybkości lotek zarówno pod względem wielkości jak i kierunku, a więc wpływa na wielkość rozrzutu lotek szrapnelowych.

Wobec powyższego prawdziwa szybkość lotki, będzie szybkością wypadkową z czterech szybkości, a mianowicie:

z szybkości osiowej lotki w, z szybkości promieniowej u, z szybkości postępowej szrapnela i szybkości obrotowej lotki około osi pocisku.

Z przeprowadzonych badań doświadczalnych wynika, że lotka szrapnelowa działa skutecznie pod względem rażenia człowieka jeżeli jej energja kinetyczna wynosi około 4 kgm, dla konia zaś około 19 kgm.

W Niemczech przyjmowano, że siła żywa lotki powinna wynosić 8 kgm.

Z tego widzimy, że szybkość lotki powinna być dostosowana do jej ciężaru.

Przykład: jaką szybkość końcową powinna mieć lotka o ciężarze Q = 12 g, by jej energja kinetyczna tuż przed rażeniem wynosiła 8 kgm? (odpowiedź: około 115 m/sek.).

§ 14. Czasomierze iskrowe.

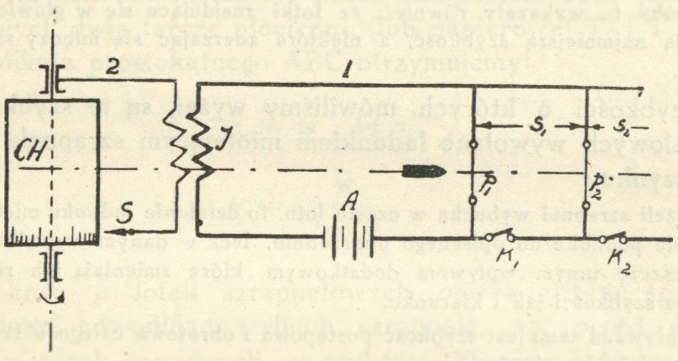
1. Zasada działania.

Działanie tych przyrządów mierzących czas polega na oznaczeniu momentów przerwania prądu znakami na chronografie wywołanemi iskrą elektryczną prądu indukcyjnego.

W 1845 r. Siemens po raz pierwszy zastosował powyższy sposób do oznaczania początku i końca badanego okresu czasu.

Przy czasomierzach iskrowych czas oblicza się przeważnie z ilości obrotów bębna szybko wirującego, który nazwiemy również chronografem, jak przy czasomierzu Boulengé, gdyż czynność jego jest podobna do roli spadającego ciężarka CH (rys. 7).

Schemat takiego czasomierza widzimy na rys. 29.



Rys. 29.

CH — oznacza chronograf w postaci wirującego bębna.

J — oznacza induktor, którego jeden zwój jest obwodem prądu głównego 1, zasilanego akumulatorem A, drugi zaś, jest obwodem prądu indukcyjnego 2.

W obwód główny są włączone przerywacze ramowe P_1; P_2 i t. d., które kolejno zamykają ten obwód po samoczynnem zamknięciu kontaktów K_1; K_2 i t. d., w chwili przerwania przez pocisk poprzednich przerywaczy (np. kontakt K_1 zamyka obwód 1 i włącza w ten obwód przerywacza P_2 natychmiast po przerwaniu przez pocisk przerywacza P_1).

W obwodzie drugim indukcyjnym, którego częścią jest również chronograf CH, znajduje się ostrze S, zwrócone ku powierzchni metalowego bębna, w minimalnej odległości od tejże.

W chwilach przerwania obwodu głównego 1, powstaje w obwodzie 2, chwilowy prąd indukcyjny, powodujący przeskoczenie

iskry elektrycznej z ostrza S do powierzchni jednostajnie wirującego chronografu CH. Iskra ta tworzy znak na zakopconej powierzchni chronografu (bębna).

Ze zmierzonej odległości powstałych znaków, znając obwód bębna i ilość jego obrotów, możemy obliczyć badane okresy czasu, np. czasu lotu pocisku wzdłuż drogi s_1; s_2 i t. d.

Jeżeli obwód bębna jest podzielony na *a* równych części, ilość zaś obrotów bębna w minucie wynosi *r*, to mierzony czas *t*, otrzymamy z następującego rozumowania. W jednej minucie dowolny punkt na powierzchni chronografu (bębna) wykona drogę a . n podziałek, w jednej zaś sekundzie $\frac{a \cdot n}{60}$ długości podziałek; z tego wynika, że czas potrzebny do przesunięcia się dowolnego punktu powierzchni bębna o długość jednej podziałki, wyniesie $\tau = \frac{1 \text{ sek.}}{a \cdot n/60}$,

ostatecznie zaś: $\tau = \frac{60}{a \cdot n}$. (48).

Jeżeli odstęp znaków na chronografie CH łącznie z ilością podziałek odpowiadających całkowitym obrotom, wyniesie *z* odstępów, to badany okres czasu otrzymamy z wzoru:

$$t = \tau \cdot z \qquad (49).$$

lub

$$t = \frac{60 \cdot z}{a \cdot n} \qquad (50).$$

Przy pomiarze czasomierzem iskrowym należy zwrócić baczną uwagę, aby ruch wirowy chronografu był jednostajny. Ponadto należy dokładnie określić ilość obrotów *n* chronografu w czasie wykonywania pomiarów.

Chronagraf CH (bęben stalowy) jest wprawiony w ruch obrotowy (do 16000 obrotów na minutę), przyrządami mechanicznemi lub elektro-zegarowemi; w nowszych czasomierzach motorami elektrycznemi.

Jednostajny ruch obrotowy chronagrafu CH jest regulowany odpowiednim przyrządem w postaci mechanizmu zegarowego, ze smigą hamowaną oporem powietrza, lub znanym z fizyki kółkiem akustycznem, lub też, jak w najnowszym czasomierzu Siemensa, (tachometrem) obrotomierzem Frahm'a.

Obrotomierz Frahm'a góruje tem nad innemi przyrządami mierzącemi ruch obrotowy, że zezwala na dokładne uchwycenie chwili jednostajnego ruchu obrotowego bębna, co jest bardzo ważne, ze względu na dokładność pomiarową.

Położenie znaków na chronografie odczytujemy mikroskopem, dozwalającym na odczytanie $^1/_{10}$ części podziałki i ocenienie dochodzące do $^1/_{100}$ części.

Celem otrzymania dokładnych znaków na chronografie, powierzchnia jego jest posrebrzana i przed użyciem okopcona, z wyjątkiem brzegów, na których znajduje się podziałka obwodu bębna.

Ilość obrotów chronografu (bębna) podczas pomiaru wynosi zazwyczaj 12000 obrotów na minutę. W dawnych czasomierzach do badania bardzo małych okresów czasu używano pewnej maksymalnej ilości obrotów bębna, dla większych zaś różnic czasu minimalnej.

W niektórych czasomierzach, celem uchwycenia ilości całkowitych obrotów bębna, w okresie przeskoczenia między jedną a drugą iskrą indukcyjną, chronograf otrzymywał poza ruchem obrotowym, również ruch śrubowy, lub też postępowy wzdłuż swojej osi.

W czasomierzu Brettes'a chronograf (bęben) posiada tylko ruch wzdłuż swojej osi pionowej pod wpływem własnego ciężaru, który jest hamowany i regulowany przyrządem zegarowym, ruch zaś obrotowy około chronografu wykonywa wskazówka z ostrzem platynowem S, z którego przeskakują do bębna iskry elektryczne.

W dawnej konstrukcji czasomierz iskrowy (rys. 29) posiadał tylko jeden induktor i tylko dwa obwody prądu, t. j. główny, zasilany akumulatorem lub ogniwami galwanicznemi i wtórny z ostrzem S. W nowszych czasomierzach, zależnie od potrzeb, jest tyle induktorów i par obwodów prądu, ile przerywaczy (rys. 33).

Czasomierz iskrowy, posiadający tylko jeden induktor, ma w obwodzie głównym samoczynne kontakty K_1, K_2 i t. d., które zpowrotem kolejno zamykają obwód każdorazowo po przerwaniu poprzedniego przerywacza. Działanie tych kontaktów polega na tem, że przerwany drucik lub taśma przerywacza oswobadzają sprężynę, uruchomiającą te kontakty.

Celem wzmocnienia sił iskry indukcyjnej w nowszych czasomierzach (np. Siemens'a), do każdego induktora jest włączona równolegle butelka lejdejska, przez co otrzymuje się wyraźniejsze znaki na chronografie.

W czasomierzach tych zastosowano również z dobrym skutkiem fotografowanie iskry elektrycznej, przy zastosowaniu papieru bromo srebrnego lub taśmy filmowej, którą owija się powierzchnię chronografu. Po odwinięciu i wywołaniu, odmierza się odstępy obrazów iskier.

Czasomierz, fotografujący iskry elektryczne, może posiadać

zamiast chronografu, zwierciadło, przytwierdzone do osi obrotowej pod kątem 45°. Zwierciadło to, obracając się z osią silnika elektrycznego, odbija promienie iskry na taśmę filmową, owiniętą na kole, o dość dużym promieniu, które jest ustawione koncentrycznie względem wirującej osi.

2. *Krótki opis czasomierzy iskrowych.*

Różne konstrukcje czasomierzy iskrowych wykazują między sobą bardzo małe różnice, polegające przeważnie na udoskonaleniu przyrządów napędowych bębna i przyrządów hamujących oraz regulujących ruch obrotowy i postępowy chronografu.

a) Czasomierz iskrowy Siemensa.

Pierwszy czasomierz iskrowy Siemensa w schematycznem zestawieniu jest uwidoczniony na rys. 29.

Regulatorem ruchu chronografu jest przyrząd zegarowy z śmigłem hamującem. Napęd uskutecznia zegar mechaniczny lub elektryczny. Do pomiarów bardzo małych okresów czasu używa się maksymalnej ilości obrotów chronografu, do większych minimalnej, z równoczesnem stosowaniem ruchu śrubowego.

Czasomierz ten posiada jeden tylko induktor i jedno ostrze S, a w obwodzie głównym są stosowane samoczynne mechanizmy kontaktowe, zamykające ten obwód po każdem przerwaniu któregoś z przerywaczy.

b) Czasomierz iskrowy Nobla.

W czasomierzu Nobla jest tyle induktorów i ostrzy S, ile razy prąd ma być przerwany.

Iskry ostrzy S_1, S_2, ... S_n nie przeskakują na jeden chronograf, tylko każde ostrze posiada swój chronograf (krążek), umieszczony na jednej wspólnej osi. Takie rozwiązanie konstrukcyjne posiada słabą stronę, ze względu na wytrzymałość osi, a przez to ze względu na trudność zwiększenia ilości obrotów chronografu (krążków).

c) Czasomierz iskrowy Caspersena.

Czasomierz iskrowy Caspersena posiada jeden chronograf o ruchu obrotowym i ruchu wzdłuż swojej osi.

Jednostajność obrotów jest regulowana akustycznem kółkiem.

Udoskonalony czasomierz Siemiensa.

Za najlepszy i najdogodniejszy z wyżej opisanych czasomierzy, jest uważany udoskonalony czasomierz Siemensa.

Przyrządem napędowym chronografu tego czasomierza jest silniczek elektryczny. Ilość obrotów bębna dochodzi do 16.000; do pomiarów jednak używa się przeważnie 12000 obrotów na minutę.

Posiada on przeważnie cztery induktory, w których obwody główne zasilane są akumulatorami, o sile prądu 1,0 do 1,6 Amp.

Do pomiarów ilości obrotów służy tachometr Frahm'a. Obwód bębna wynosi 47 cm i jest podzielony na 400 równych części.

Uchwyty ostrzy S można niezależnie względem siebie przesuwać, przy pomocy śruby mikrometrycznej, równolegle do osi chronografu. Odległość znaków odczytuje się przy pomocy mikroskopu, który można również przesuwać równolegle wzdłuż osi chronografu przy pomocy śruby mikrometrycznej. Podczas ruchu bębna należy mikroskop zdjąć.

e) Czasomierz iskrowy elektro-statyczny.

Oprócz wyżej opisanych czasomierzy iskrowych z induktorami, istnieją również czasomierze iskrowe, w których czynność induktorów spełniają naładowane butelki lejdejskie, B_1, B_2...

Czasomierze takie nazywamy czasomierzami iskrowemi elektrostatycznemi.

W czasomierzach tych, w miejsce przerywaczy stosuje się tarcze P_1, P_2...., składające się z dwóch, równolegle blisko siebie położonych płytek stanjolowych w izolowanej ramce (drewnianej).

Jedna z płytek każdej tarczy (rys. 30) zamyka obwód swojej butelki lejdejskiej.

W chwili przebicia pociskiem płytki stanjolowej butelka lejdejska wyładowuje się, tworząc iskrę elektryczną za pośrednictwem iskrownika J_1, J_2 i t. d.

Iskry te zostają sfotografowane na filmie owiniętym na wirującym bębnie (chronografie CH), a z odległości sfotografowanych iskier, znając ilość obrotów bębna, możemy z łatwością obliczyć czas lotu pocisku między tarczami P_1, P_2 i t. d.

Czasomierz ten służy przeważnie do pomiaru oporu powietrza działającego na ruch pocisków karabinowych. Dodatnią stroną tego czasomierza jest to, że łatwiej pocisk trafi w tarczę z płytek stanjolowych, aniżeli w przerywacz w postaci drucików lub taśmy miedzianej.

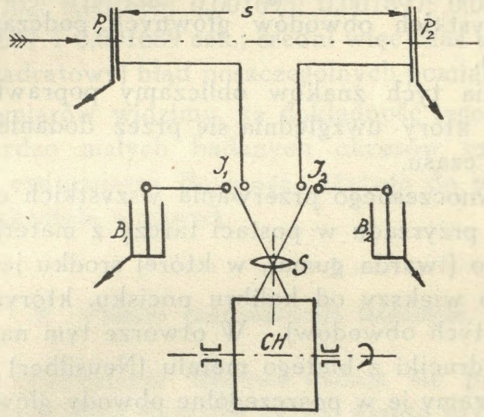
3. Dokładność czasomierzy iskrowych.

Wielkość błędów, które możemy popełniać podczas pomiaru pewnej różnicy czasu czasomierzem iskrowym bębnowym zależne są przedewszystkiem od dokładnej znajomości ilości obrotów bębna

w chwili wykonywania pomiarów i od dokładnej jednostajności jego ruchu obrotowego; następnie zaś od dokładności odczytania odległości powstałych znaków iskrowych na chronografie, oraz od ustawienia ostrzy S względem powierzchni i osi chronografu.

Do pomiarów, wykonywanych czasomierzem iskrowym, używa się przeważnie przerywaczy ramowych lub taśmowych, blisko względem siebie ustawionych (5 — 10 m). Błędy, mogące powstać przy użyciu tych przerywaczy, były już opisane w § 12 ust. 2 a, b, c, d.

Dokładna znajomość ilości obrotów bębna, oraz jego jednostajny ruch, zależne są od systemu użytych przyrządów napędowych i regulujących jednostajny ruch bębna, oraz od dokładności stosowanych obrotomierzy (tachometrów).



Rys. 30.

W nowszych czasomierzach iskrowych przyrządy powyższe są tak udoskonalone, że błędy mogące powstać z powodu nienormalnego ruchu obrotowego chronografu są prawie bez znaczenia.

Przy bardzo dokładnych pomiarach, celem dokładniejszego określenia ilości obrotów chronografu (bębna) od momentu wystrzału aż do chwili przerwania ostatniego obwodu prądu elektrycznego, można stosować wahadło Helmholtza - Wolffa (zegar kontrolny), łącząc jego przerywacze kontaktowe, ustawione na pewien czas, z dwoma induktorami czasomierza.

W chwili wystrzału oswobadzamy ręcznie lub elektromagnetycznie ramię wahadła z zaczepu. Ilość obrotów n chronografu w chwili badania obliczamy ze wzoru 50, na podstawie otrzymanych odległości znaków iskier indukcyjnych, powstałych wskutek przerwania obwodów prądu przerywaczami kontaktowemi tego wa-

hadła oraz na podstawie czasu, na który kontakty wahadła były nastawione. Sprawdzenie to można przeprowadzić tylko wówczas, jeżeli użyty czasomierz iskrowy posiada przynajmniej cztery induktory.

Celem zupełnego usunięcia tych błędów, możnaby w miejsce chronografu w postaci bębna wirującego, zastosować chronograf swobodnie spadający, podobnie, jak w czasomierzu Boulengé; przez takie jednak rozwiązanie, straciłby czasomierz swój charakter w zastosowaniu do badań bardzo krótkich okresów czasu.

By uniknąć błędów stale się powtarzających, które mogą powstać przez niezupełnie dokładne ustawienie ostrzy S_1, S_2 i t. d., oraz przez nieznane i różne siły mające swe źródła w przewodach elektrycznych, należy przed pomiarem sprawdzić położenie wszystkich znaków, powstałych na chronografie, w momencie jednoczesnego przerwania wszystkich obwodów głównych, podczas wirowego ruchu chronografu.

Z położenia tych znaków obliczamy poprawkę, a właściwie czas oderwania, który uwzględnia się przez dodanie lub odjęcie od badanej różnicy czasu.

Celem równoczesnego przerwania wszystkich obwodów głównych, używamy przyrządu w postaci tarczy z materjału izolującego i dość podatnego (twarda guma), w której środku jest wycięty mały otwór (nieco większy od kalibru pocisku, którym uskuteczniamy przerwanie tych obwodów). W otworze tym napinamy równolegle cienkie druciki z białego metalu (Neusilber) w odstępach 1 do 2 mm i włączamy je w poszczególne obwody główne. Tarczę tę umieszczamy przed wylotem lufy (10 do 20 cm) tak, aby jej oś zlewała się z osią otworu z napiętemi drucikami.

W chwili, kiedy ilość obrotów chronografu oraz jego ruch jednostajny są nam dokładnie znane, przestrzeliwujemy otwór z napiętemi drucikami pociskiem, którego przednia część jest ścięta prostopadle do osi.

Celem zbadania, czy ostrza S_1, S_2 i t. d. znajdują się w jednakowej wysokości względem osi chronografu, należy wyżej opisane badanie powtórzyć gdy chronograf jest w spoczynku. Jeżeli po tej próbie znaki na chronografie ukażą się na tej samej wysokości względem osi chronografu, to ostrza S_1, S_2... są prawidłowo ustawione.

W czasie stosowania czasomierza iskrowego do pomiarów, należy zwrócić uwagę, czy podczas przerwania jednego z obwodów głównych, nie objawiają się iskry elektryczne przy innych ostrzach. Jeżeli zjawisko to nastąpi, wtedy należy zbadać izolację przewodów, jak również, czy zjawisko to nie zostało wywołane samoinduk-

cją osi bębna, gdyż oś ta jest połączona ze wszystkiemi obwodami prądów indukcyjnych.

Błędy powstałe z powodu niemożliwości idealnego odczytania odstępów znaków na chronografie są w porównaniu np. z czasomierzem Boulengé minimalne, wskutek stosowania szybkiego ruchu wirowego chronografu.

Jest to dodatnia strona czasomierzy z chronografami w postaci wirujących bębnów, umożliwiająca użycie ich do pomiarów bardzo małych okresów czasu, dochodzących do 0,0003 sek. *).

Celem scharakteryzowania dokładności czasomierza iskrowego najnowszej konstrukcji podaję, że przy badaniu dziesięciokrotnem tej samej różnicy czasu, wykazanej zegarem wahadłowym Helmholtza, otrzymano według wielkości podanych w t. III Balistyki dr. Cranza: 0,001696; 0,001702; 0,001688; 0,001695; 0,001697; 0,001693; 0,001706, 0,001693; 0,001691 i 0,001689 sek.; średni więc czas wyniesie 0,001695 sek., średni (kwadratowy) błąd poszczególnych pomiarów $\mu = \pm 0{,}33\%$.

Z tych pomiarów widzimy, że dokładność tego czasomierza dla stosunkowo bardzo małych badanych okresów czasu, jest prawie taka sama, jak czasomierza Boulengé, użytego do pomiarów różnicy czasu dziesięciokrotnie większej.

4. Pomiar czasomierzem iskrowym.

Ponieważ czasomierze iskrowe nadają się przedewszystkiem do badań bardzo małych okresów czasu, przeto przy małem rozstawieniu przerywaczy s = 5 do 10 m, można je stosować narówni z innemi tego rodzaju czasomierzami do badań szybkości lotu pocisków bez względu na kąt nachylenia lufy. Wobec tego czasomierze te nadają się do pomiarów szybkości pocisków, gdy chodzi jeszcze o równoczesne inne badanie współrzędnych ruchu pocisków, np. przy próbach i pomiarach w czasie układania tablic strzelniczych i t. p.

Przy podobnych pomiarach szybkości przerywacze ustawia się na odpowiedniem rusztowaniu, które można regulować na żądane wysokości.

Poza tem czasomierz iskrowy nadaje się również do badań ruchu pocisku w lufie, odrzutu broni i szybkości detonacji materjałów wybuchowych.

---

*) Czasomierze nadające się do pomiarów tak krótkich okresów czasu niektórzy nazywają mikroczasomierzami.

a) Pomiar szybkości amunicji małokalibrowej.

Dla przykładu podaję sposób i wynik pomiaru szybkości początkowej v_3 pocisku Mausera „S", czasomierzem iskrowym nowszej konstrukcji Siemensa, opisanego w niniejszym paragrafie ust. 2 d., przy rozstawieniu przerywaczy taśmowych s = 6 m.

Obwód bębna podzielony jest na 400 części, a ilość obrotów jego wynosi w czasie pomiaru n = 12000 obrotów na minutę.

Wobec powyższych danych, czas odpowiadający obrotowi bębna o jedną podziałkę wynosi według wzoru 50:

$$\tau = \frac{60}{400 \cdot 12000} = 0{,}0000125 \text{ sek.}$$

Przy równoczesnem przerwaniu obu obwodów głównych różnica odczytów znaków drugiego i pierwszego obwodu głównego, wynosi —1,3 podziałek (czyli czas oderwania wyniesie $1{,}3 \times 0{,}0000125 = 0{,}00001625$ sek.).

Różnicę w ten sposób otrzymaną należy odjąć od różnicy odczytów mikroskopem, podczas zasadniczego pomiaru.

Dla znaku iskry elektrycznej ostrza drugiego obwodu, odczyt wynosi 90,6 + 2 całkowite obroty t. j. 880,5; dla znaku zaś pierwszego obwodu 342,7; różnica więc równa się:

$$890{,}5 - 342{,}7 - (-1{,}3) = 549{,}2 = z;$$

czas lotu pocisku w drodze s = 6 m otrzymamy z wzoru 49 t. j.

$$t = 549{,}2 \times 0{,}0000125 = 0{,}006865 \text{ sek.}$$

Z wzoru 24 otrzymamy szybkość początkową pocisku wynoszącą:

$$v_3 = \frac{6}{0{,}006865} = 873{,}98 \text{ m/sek.}$$

Dla serji 10 badań otrzymano: 873,98; 880,56; 873,19; 879,29; 873,35; 869,56; 874,80; 871,61; 872,73; 874,80; średnia więc szybkość:

$$v_{śr} = 874{,}36 \text{ m/sek.}$$

Z tych wyników średni (kwadratowy) błąd poszczególnych mierzeń $\mu = \pm 3{,}34$ m/sek., prawdopodobny zaś błąd $r = \pm 2{,}23$ m/sek. $= \pm 0{,}25\%$.

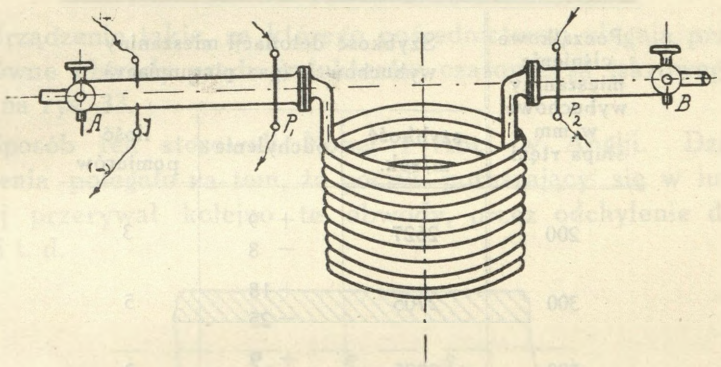
b) Pomiar szybkości fali detonacji.

Szybkość fali detonacji lotnego materjału wybuchowego wykonywamy tymże czasomierzem, przy jednoczesnem użyciu przyrządu, którego schemat widzimy na rys. 31.

AP_1 i P_2B są to rurki stalowe, połączone z końcami spiralnie zwiniętej rurki ołowianej (o długości ok. 20 do 70 m w zależności od użytych rodzai czasomierzy), P_1 i P_2 są to przerywacze taśmowe (ze srebrnej blachy), połączone z obwodami prądu baterji czasomierza.

J — jest iskrownikiem elektrycznym powodującym wybuch mieszaniny wybuchowej przepływającej podczas pomiaru. Przepływ tej mieszaniny przez rurkę ołowianą następuje po otwarciu kurków A i B.

Początek fali detonacji następuje w J. Fala ta rozrywa przerywacz taśmowy P_1, następnie P_2; a czas przejścia fali z P_1 do P_2 mierzymy czasomierzem iskrowym, z którym połączone są przerywacze.



Rys. 31.

Wyniki pomiarowe szybkości detonacji gazu wybuchowego w zależności od ciśnienia, pod którem się znajduje ten gaz przed wybuchem podaje tabl. 6.

c) Pomiar siły oporu powietrza.

Możliwość równoczesnego stosowania większej ilości przerywaczy podczas pomiaru czasomierzem iskrowym pozwala na badanie zmiany szybkości pocisku podczas ruchu w atmosferze powietrza.

Z otrzymanej zmiany szybkości możemy łatwo obliczyć zmniejszenie się energji kinetycznej pocisku wskutek działania siły oporu atmosfery powietrza, jako też i opóźnienie lub siłę oporu powietrza (ośrodka).

Np. w dwóch punktach A i B toru pocisku, oddalonych od siebie o nieznaczną odległość *a* i znajdujących się prawie na tej samej wysokości (rys. 32), znaleźliśmy czasomierzem iskrowym szybkość v_1 i v_2.

Oznaczając masę pocisku przez m, i stosując wzór dla energji kinetycznej $\left(\frac{m \cdot v^2}{2}\right)$ otrzymujemy, że strata energji pocisku przy pokonywaniu oporu powietrza wzdłuż drogi a, wynosi

$$\frac{m \cdot v_1^2}{2} - \frac{m \cdot v_2^2}{2}.$$

Przy założeniu, że siła oporu W, atmosfery powietrza jest na

TABLICA 6.

Wpływ ciśnienia na szybkość detonacji fal.
(H. Brunswig „Explosivstoffe" drugie wydanie).

Początkowe ciśnienie mieszaniny wybuchowej w mm słupa rtęci	Szybkość detonacji mieszaniny wybuchowej (gaz piorunujący)		
	szybkość m/sek.	odchylenia	ilość pomiarów
200	2627	+ 9 − 8	3
300	2705	+ 18 − 25	5
500	2775	+ 9 − 11	3
760	2821	+ 8 − 9	5
1100	2856	+ 13 − 12	5
1500	2872	± 11	5

tej małej drodze (części toru pocisku) a stała, możemy napisać na podstawie równości energji

$$\frac{m \cdot v_1^2}{2} - \frac{m \cdot v_2^2}{2} = W \cdot a;$$

stąd siła oporu atmosfery powietrza wzdłuż drogi a, wynosi:

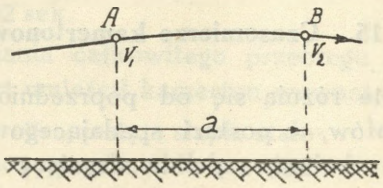
$$W = \frac{m}{2 \cdot a}(v_1^2 - v_2^2). \qquad (51).$$

Wobec powyższego widzimy, że czasomierz ten nadaje się do badań działania oporu ośrodka na ruch pocisku. Obecnie jednak do tego celu lepiej nadaje się balistograf inż. Dudy (§ 15 ust. 2 a).

Biblioteka Naukowa ASG

d) Pomiar szybkości pocisku w lufie.

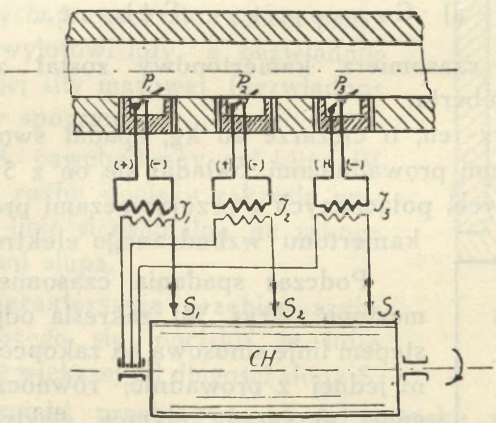
Podczas badania ruchu pocisku w lufie, czyli określenia linji szybkości pocisku wzdłuż całej jej długości, używa się przerywaczy, znajdujących się w pewnych odstępach w lufie.



Rys. 32.

Urządzenie takie, za którego pośrednictwem ulegają przerwaniu główne obwody prądu induktorów czasomierza iskrowego, widzimy na rys. 33.

Sposób ten stosowali Nobel i Abel w Anglji. Działanie urządzenia polegało na tem, że pocisk poruszający się w lufie armatniej przerywał kolejno te obwody, przez odchylenie dźwigni P_1, P_2 i t. d.



Rys. 33.

Do badań ruchu pocisku w lufie można również stosować przerywacze w postaci cienkich drucików, znajdujących się zewnątrz lufy, które ulegają przerwaniu przez występ dość długiego sworznia przyśrubowanego do dna pocisku i przechodzącego przez otwór wywiercony w zamku działa.

Takiego przerywacza używał do badań Majewski.

Powyższy sworzeń z występem można również wkręcić do

głowicy pocisku, a przerywacze drucikowe umieścić przed wylotem lufy.

Do badań ruchu pocisku w lufie czasomierzem iskrowym można użyć również przerywacza, opisanego w § 15 ust. 4b rys. 42.

§ 15. Czasomierze kamertonowe.

Czasomierze te różnią się od poprzednio opisanych tem, że czynność chronografów, w postaci spadającego ciężarka lub jednostajnie wirującego bębna, spełnia drgający kamerton (widełki strojowe).

Pomiary krótkich okresów czasu temi czasomierzami określa się ilością drgań kamertonu podczas badanego zjawiska.

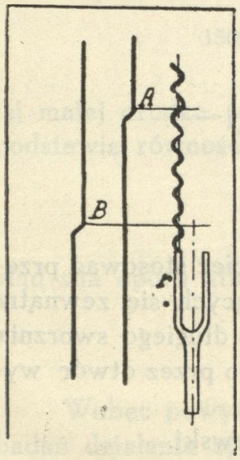
Znając ilość drgań podczas trwania badanego zjawiska (np. ruchu pocisku w lufie, lub ruchu odrzutu broni) i ilość drgań kamertonu w jednej sekundzie, czyli wysokość jego tonu, możemy z łatwością obliczyć czas trwania badanego zjawiska.

1. Krótki opis czasomierzy kamertonowych.

a) Czasomierz Séberta.

Pierwszy czasomierz kamertonowy został zbudowany we Francji przez Séberta.

Czasomierz ten, o ciężarze 10 kg, spadał swobodnie między dwiema żelaznemi prowadnicami. Składał się on z 5 elektromagnesów rejestrujących, połączonych z przerywaczami prądów i jednego kamertonu wzbudzanego elektromagnetycznie.



Rys. 34.

Podczas spadania czasomierza ramię kamertonu *r* (rys. 34) zakreśla odpowiednim występem linję sinusową na zakopconej powierzchni jednej z prowadnic; równocześnie poszczególne przyrządy piszące elektromagnesów zakreślają linje proste i w chwilach przerwania prądu, powodują dość znaczne ostre odchylenia tych linij A, B i t. d.

Ilość drgań między temi odchyleniami, np. od A do B, jest miarą wielkości badanego okresu czasu.

Powyższy czasomierz udoskonalono później w ten sposób, że elektromagnesy rejestrujące i kamerton unieruchomiono, między

zaś dwiema prowadnicami umieszczono płytę okopconą, o ruchu posuwistym. Na płycie tej podczas badania uwidoczniał się obraz drgania kamertonu, wzbudzonego elektromagnetycznie lub mechanicznie, oraz linje elektromagnesów rejestrujących.

Dokładność tego czasomierza, według danych Séberta, wynosiła około ± 0,00002 sek.

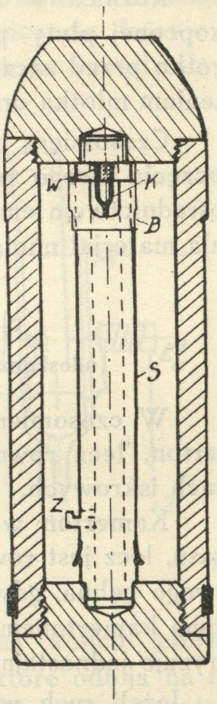
Celem otrzymania całkowitego przebiegu linji szybkości pocisku w lufie, Sébert umieścił kamerton wewnątrz pocisku (rys. 35).

Na silnym czworograniastym słupie stalowym S jest umieszczony przesuwnie bezwładnik B do którego jest przytwierdzony kamerton K.

Przed badaniem bezwładnik ten z kamertonem przytrzymywany jest w górnej części słupa występem klinowym W, tworzącym z pociskiem jedną sztywną całość. Utwierdzenie to jest uskutecznione siłą tarcia wbitego klina W między ramionami kamertonu K.

W chwili wystrzału pocisk wraz z klinem W i słupem S pod wpływem ciśnienia gazów miotających porusza się ruchem przyśpieszonym ku wylotowi lufy, a bezwładnik B wskutek swojej siły masowej (bezwładności) pozostaje w spoczynku.

Kamerton K oswobodzony od klina W drga i w czasie ruchu pocisku zakreśla występami ramion linje sinosoidalne na zakopconej powierzchni słupa.



Rys. 35.

Linje te charakteryzują przebieg szybkości poruszającego się pocisku w lufie wzdłuż drogi nie większej od długości słupa S.

Aby otrzymać przebieg szybkości pocisku w lufie wzdłuż większej drogi, aniżeli wynosi długość słupa S, Sébert umieścił na tym samym słupie drugi bezwładnik B_1 z kamertonem K_1, który rozpoczyna względny ruch wsteczny wzdłuż słupa S, w chwili końcowego ruchu bezwładnika B w momencie jego zahaczenia o występ u podstawy słupa S.

Ruch drugiego bezwładnika B_1 jest spowodowany końcowym względnym ruchem bezwładnika B za pośrednictwem zaczepu Z i odpowiedniego urządzenia, znajdującego się wewnątrz czworograniastego słupa S.

Jak widać z opisu i budowy, przyrząd ten jest w znacznym stopniu zawiły i niedogodny do wykonywania pomiarów, dlatego też czasomierz ten nie uzyskał większego zastosowania.

b) Czasomierz Smitha.

Czasomierz ten został zbudowany w Anglji i swoją budową przypomina czasomierz Séberta (starszej konstrukcji).

Różnica w budowie polega na stosowaniu poziomego ruchu okopconej płyty pod wpływem siły sprężyny, kamerton zaś na krótko przed zaczęciem badania pobudza się w ruch drgający uderzeniem młotka drewnianego.

Czasomierz ten ma jeszcze tę zaletę, że płyta w chwili rozpoczęcia swego ruchu uruchomia kontakt elektryczny, który za pośrednictwem energji elektrycznej, bezpośrednio lub pośrednio, zapala materjał miotający.

c) Czasomierz Schultza.

(udoskonalony przez M. Depreza 1873 i H. Séberta 1881).

W czasomierzu tym chronografem jest nietylko drgający kamerton, lecz również wirujący bęben, podobnie jak w czasomierzach iskrowych.

Kamerton w tym czasomierzu służy nietylko do określania czasu, lecz jest równocześnie sprawdzianem jednostajnego ruchu wirowego bębna, gdyż dokładność linji sinusoidalnej, zakreślonej drgającym kamertonem na powierzchni obracającego się bębna, charakteryzuje jednostajność jego ruchu.

Jeżeli ruch wirowy bębna jest jednostajny, poszczególne długości fal tej linji powinny być sobie równe.

Rys. 36 przedstawia czasomierz kamertonowy Schultza, udoskonalony przez H. Séberta.

Przyrządy piszące A_1, A_2 ..... elektromagnesów E_1, E_2 ..... zakreślają linje na okopconej powierzchni wirującego bębna, a w chwilach przerwania obwodów prądu 3—4, 5—6, ... za pośrednictwem przerywaczy P_1, P_2, ... odznaczają odchylenia A, B, C .....

Kamerton, pobudzony do ruchu drgającego elektromagnesami E_k i E_k' zakreśla linję sinusoidalną.

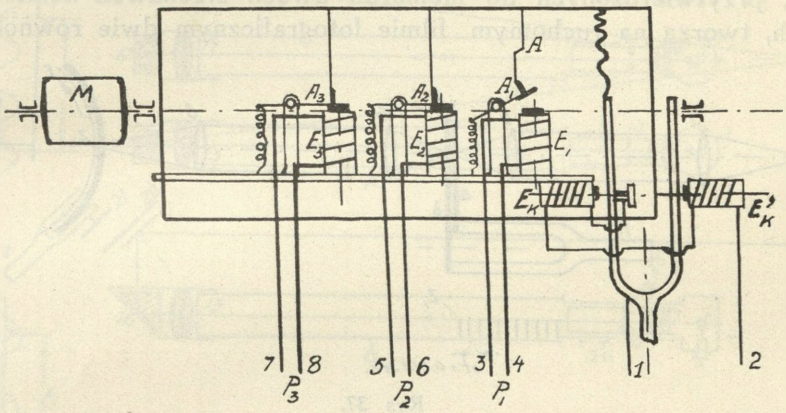
Czasomierz ten posiada 20 rejestrujących małych elektromagnesów (Deprez) tak czułych, że w jednej sekundzie mogą one

zakreślić na bębnie 1600 odchyleń, w chwilach przerwania i włączenia obwodów.

Błąd, popełniany tym czasomierzem, nie przekracza 0,00001 sek. (Balistyka dr. Cranza t. III).

2. *Fotograficzne czasomierze kamertonowe.*

W nowszych rodzajach czasomierzy, używanych do pomiarów bardzo małych okresów czasu, zastosowano również chronograf w postaci drgającego kamertonu, z tą tylko różnicą, że drgania te są fotografowane na poruszającej się płycie fotograficznej lub na filmie, który jest nawinięty na wirującym bębnie.



Rys. 36.

Celem sfotografowania drgań kamertonu, na końcu jednego z jego ramion jest przymocowane zwierciadło, które odbija na ruchomej taśmie fotograficznej promienie światła (np. lampki elektrycznej), skupione w jednym punkcie.

Jeżeli kamerton drga, to obraz linji świetlnej jest sinusoidą, która podaje stałą miarę czasu.

Rys. 37 przedstawia inny sposób fotografowania drgań kamertonu.

Na końcach ramion kamertonu K są przymocowane płytki *a* i *b*, z wąskiemi szczelinami, w ten sposób naprzeciw siebie umieszczonemi, że w chwili spoczynku ramion kamertona szczeliny są zasłonięte.

W czasie drgania kamertonu szczeliny te ulegają naprzemian odsłonięciu i zasłonięciu, a promienie źródła światła Z skupione soczewkami S, padają w równych odstępach czasu na taśmę foto-

graficzną, tworząc obrazy kształtu kresek Z_1, na filmie F, nawiniętym na obracającym się bębnie.

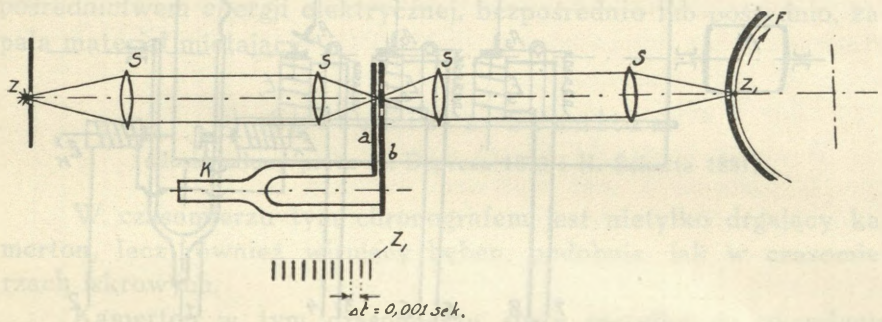
Odstęp kresek odpowiada okresowi jednego półdrgnięcia użytego kamertonu.

Przeważnie używa się kamertonu za którego pośrednictwem powstają kreski co 0,001 sek.

a) Czasomierz w balistografie inż. Dudy.

W czasomierzu, który jest częścią składową balistografu inż. Dudy, jest zastosowany chronograf w postaci drgającego kamertonu.

W czasomierzu tym znajdują się trzy wiązki skupionych promieni świetlnych, z których dwie odbijając się od dwóch zwierciadeł, przytwierdzonych do membran dwóch słuchawek telefonicznych, tworzą na ruchomym filmie fotograficznym dwie równoległe



Rys. 37.

linje świetlne, pozostała zaś wiązka odbija się od ramion drgającego kamertonu i zakreśla na tym samym filmie obraz drgania kamertonu.

W chwili przerwania obwodu prądu lub jego włączenia przez poruszający się pocisk, membrana urządzenia telefonicznego wraz ze zwierciadłem drgnie, wobec czego na filmie obraz prostej linji świetlnej odchyli się ostro i prostopadle do kierunku ruchu filmu fotograficznego.

Z ilości drgań widełek strojowych między temi odchyleniami obliczamy czas od pierwszego do drugiego działania telefonu.

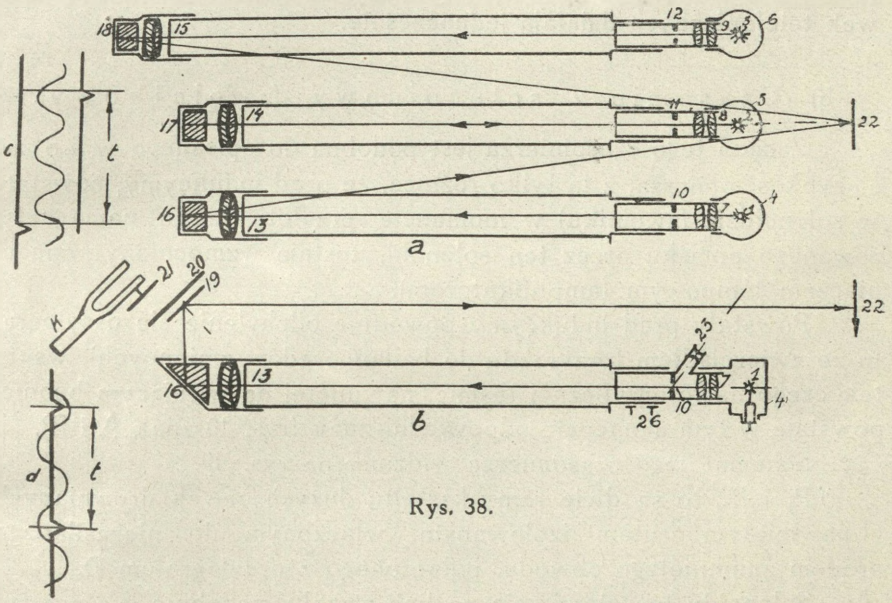
Schemat urządzenia tego czasomierza widzimy w przekroju poziomym i pionowym na rys. 38 a i b.

Na rys. 38 c i d widzimy obrazy tych trzech wiązek światła uchwycone na filmie, w wypadku, gdy trzy punkty świetlne padają na poruszający się film fotograficzny obok siebie i gdy się nakrywają.

Źródłami światła są trzy lampy elektryczne łukowe 1, 2, 3, dającą się odpowiednio ustawić w urządzeniach optycznych 4, 5, 6, zapomocą śrub mikrometrycznych.

Za pośrednictwem podwójnych soczewek 7, 8 i 9 część skupionych promieni każdej wiązki światła, przechodzi przez poszczególne djafragmy 10, 11 i 12, następnie przez objektywy 13, 14 i 15. Wiązki te, odbite od poszczególnych pryzmatów 16, 17 i 18, padają na zwierciadła 19, 20 i 21.

Zwierciadła 19 i 20 umocowane są do membran telefonów, 21 zaś do ramienia kamertonu K.



Rys. 38.

Wiązki skupionych promieni, odbite od tych zwierciadeł, padają na wirujący film 22.

Okulary 23, 24 i 25 służą do kontroli prawidłowego ustawienia lamp 1, 2 i 3 (widoczny tylko okular 23 na rys. 38b).

Każda para mikrometrycznych śrub 26, 27 i 28 służy do ostrego i dokładnego nastawienia punktów świetlnych, padających na film fotograficzny 22 (widoczna tylko para śrub 26).

Oba urządzenia telefoniczne można przy pomocy śrub mikrometrycznych wyregulować na odpowiednią czułość.

Kamerton i telefony są tak przytwierdzone do trójnożnej podstawy balistografu, że dają się dowolnie nastawiać śrubami mikrometrycznemi, przez co możemy dowolnie kierować wiązkami promieni światła, padającemi na film fotograficzny.

Ruch drgający kamertonu jest wzbudzony elektomagnesami.

Czasomierza tego używa się w połączeniu z aparatem fotograficznym balistografu inż. Dudy. Można go też stosować do pomiarów niezależnie od balistografu.

W nowszym balistografie inż. Dudy, czasomierz posiada w miejscu trzech lamp 1, 2 i 3 i trzech djafragm 10, 11 i 12, jedną lampę i jedną djafragmę, przez którą za pośrednictwem urządzeń optycznych, rozchodzą się promienie światła do trzech zwierciadeł 19, 20 i 21.

Urządzenie telefoniczne jest tak zbudowane, że w momencie przerwania któregokolwiek obwodu prądu, obie membrany słuchawek telefonicznych działają jednocześnie.

b) Czasomierz solenoidowy (zwojnikowy).

Zasada tego czasomierza jest podobna do opisanego w § 8 ust. c szybkościomierza, z tą tylko różnicą, że prąd indukcyjny, powstały w solenoidzie (zwojniku) w momencie przelotu lekko namagnetyzowanego pocisku przez ten solenoid, zostaje wzmocniony wzmacniaczem lampowym (amplifikatorem).

Powstały prąd indukcyjny powoduje odchylenie się oscylografu ze zwierciadłem (przyrządu do badań prądów zmiennych), wskutek czego na fotograficznej taśmie, nawiniętej na wirującym bębnie, powstaje w tym momencie odpowiedni znak (rys. 40 znak A i B).

Schemat tego czasomierza widzimy na rys. 39.

P_1 i P_2, to są dwie ramy kształtu dużych cewek drewnianych z nawiniętym drutem izolowanym, włączonym do niezasilanego prądem zamkniętego obwodu, połączonego z oscylografem O.

Solenoidy te ustawia się na linji strzału, podobnie jak przerywacze prądu (gdyż spełniają taką samą czynność) w odległości $s = 6$ do 10 metrów.

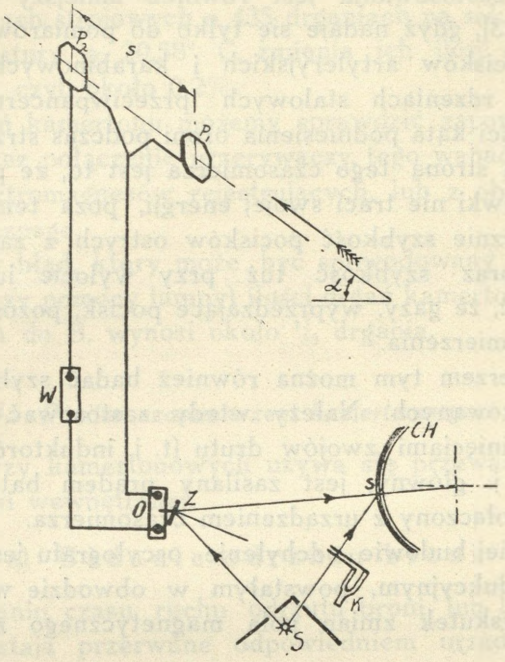
W zależności od charakteru badań, ilość tych cewek może być zwiększona, np. przy badaniu szybkości pocisku w kilku blisko siebie położonych punktach toru pocisku.

W — oznacza wzmacniacz lampowy, O — oscylograf ze zwierciadłem Z, które, odbijając wiązkę stałego źródła światła S, powoduje w chwili przejścia pocisku przez solenoid odchylenie zwierciadła Z. Wskutek tego na filmie bębna CH powstają znaki, w postaci ostrych odchyleń A i B (rys. 40).

CH — oznacza wirujący bęben z nawiniętą taśmią fotograficzną.

W osłonie bębna jest odpowiednio wycięta szczelina *s*, dla

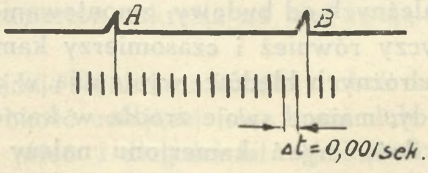
padających promieni, odbitych zwierciadłem Z oscylografu i promieni przechodzących przez szczeliny płytek umocowanych do ramion drgającego kamertonu K (rys. 37).



Rys. 39.

Rys. 40 przedstawia zdjęcie na taśmie fotograficznej promieni odbitych zwierciadłem oscylografu i drgania kamertonu.

W nowszej konstrukcji czasomierz ten został udoskonalony w kierunku zmniejszenia błędów, spowodowanych przez powstawanie i zanikanie sił elektromagnetycznych.



Rys. 40.

Dokładność pomiaru jest tu zależna w dużym stopniu od czułości działania oscylografu, który powinien dawać ostre i wyraźne znaki, w postaci ostrych odchyleń ciągłej linji światła na taśmie fotograficznej. Odchylenia powinny być, o ile możności, prostopadłe do linji światła.

Dokładność w zastosowaniu do badań szybkości pocisków, w porównaniu z czasomierzem Boulengé, jest o wiele mniejszą i wynosi około 0,4% przy rozstawieniu cewek s = 10 m.

Zakres zastosowania jest również mniejszy od czasomierza Boulengé (§ 13), gdyż nadaje się tylko do pomiarów szybkości początkowej pocisków artyleryjskich i karabinowych, o płaszczach stalowych lub rdzeniach stalowych (przeciwpancernych), niezależnie od wielkości kąta podniesienia broni podczas strzelania.

Dodatnią stroną tego czasomierza jest to, że pocisk przechodząc przez cewki nie traci swojej energji, poza tem możemy nim badać bezpiecznie szybkość pocisków ostrych z zapalnikami uderzeniowemi, oraz szybkość tuż przy wylocie lufy, mając zupełną pewność, że gazy, wyprzedzające pocisk, pozostają bez wpływu na wynik mierzenia.

Czasomierzem tym można również badać szybkość pocisków nienamagnetyzowanych. Należy wtedy zastosować cewki P_1 i P_2 z dwoma nawinięciami zwojów drutu (t. j. induktorów), z których jeden zwój, t. j. główny, jest zasilany prądem baterji, drugi zas wtórny, jest połączony z urządzeniem czasomierza.

Przy takiej budowie odchylenie oscylografu jest spowodowane prądem indukcyjnym, powstałym w obwodzie wtórnym cewki indukcyjnej, wskutek zmian pola magnetycznego zwojów, zasilanych baterją.

Zmiana ta jest spowodowana poruszającym się pociskiem nienamagnetyzowanym, w chwili jego przelotu przez oś cewki indukcyjnej P_1 i P_2.

3. Dokładność czasomierzy kamertonowych.

Wiele nieuniknionych błędów różnej natury, opisanych w § 12 i w § 14 ust. 3, zależnych od budowy, zmontowania i sposobu użycia czasomierza, dotyczy również i czasomierzy kamertonowych.

Oprócz tych różnych błędów występują w czasomierzach kametronowych błędy, mające swoje źródła w kamertonie.

Dlatego też ilość drgań kamertonu należy dokładnie zbadać i określić je w takich samych warunkach, w jakich kamerton będzie użyty do pomiarów.

Jeżeli do jednego ramienia kamertonu jest przytwierdzone zwierciadło, należy masę drugiego ramienia tegoż kamertonu odpowiednio wyrównać. Uskuteczniamy to w ten sposób, że przytwierdzamy do tego ramienia jakiś przedmiot, podobny pod względem wymiarów i masy do użytego zwierciadła.

Podczas badań należy szczególną uwagę zwrócić na temperaturę otoczenia, gdyż od niej również w dość znacznym stopniu, zależy ilość drgań kamertonu.

Na podstawie badań, przeprowadzonych przez Koeniga, w normalnych widełkach strojowych o 435 drganiach na sek. przy—15° C, zmiana temperatury o 20,58° C, zmienia ich ilość drgań o jedno pełne drgnięcie, czyli około 0,2%.

Ilość drgań kamertonu możemy sprawdzić zapomocą wahadła Helmholtza, przez połączenie przerywaczy tego wahadła z obwodami prądów elektromagnesów rejestrujących, lub z obwodami urządzenia telefonicznego.

Minimalny błąd, który może być spowodowany niedokładnem odczytaniem (przy pomocy lampy) ilości drgań kamertonu w pewnym przedziale od A do B, wynosi około $^1/_8$ drgania.

4. *Pomiar czasomierzem kamertonowym.*

BIBL. WOJSK. 2 P.S.P.

Czasomierzy kamertonowych używa się przeważnie do badań zjawisk balistyki wewnętrznej.

a) Badanie odrzutu broni.

Przy badaniu czasu ruchu odrzutu broni, lub też lufy, prądy elektryczne zostają przerwane odpowiedniem urządzeniem, przytwierdzonem do działa lub lufy.

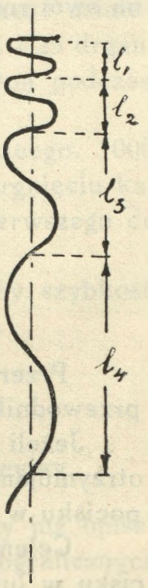
Przyrząd H. Séberta do badań przebiegu linji szybkości cofającego się działa lub lufy podczas wystrzału, jest podobny do udoskonalonego czasomierza Séberta (ust. 1 pkt. a).

Okopcona płyta stalowa połączona z bronią lub lufą, cofa się wraz z nią w chwili wystrzału, a równocześnie drgający kamerton zakreśla na niej swoją linję sinusoidalną.

Kamerton znajduje się unieruchomiony, obok działa.

Ponieważ szybkość cofającej się broni lub lufy wzrasta od zera, więc i długości fal tej linji sinusoidalnej również coraz to bardziej wzrastają od zera (rys. 41) t. j. $l_1 < l_2 < l_3 \ldots\ldots$

Przez pomiar tych długości, znając ilość drgań kamertonu w sekundzie, możemy z łatwością obliczyć szybkość cofającej się broni lub też lufy w poszczególnych po sobie następujących punktach.



Rys. 41.

Celem jednoczesnego otrzymania ruchu wsteczne-

go lufy w stosunku do wylatującego pocisku, stosuje się jednocześnie elektromagnesy rejestrujące, połączone z przerywaczami prądu, znajdującemi się w pewnych odległościach przed wylotem lufy.

Przyrządy piszące tych elektromagnesów zakreślają linje proste na tej samej płycie okopconej, poruszającej się z lufą, a w chwilach przerwania poszczególnych przerywaczy przez pocisk wylatujący z lufy, odznaczają na tej płycie odchylenia.

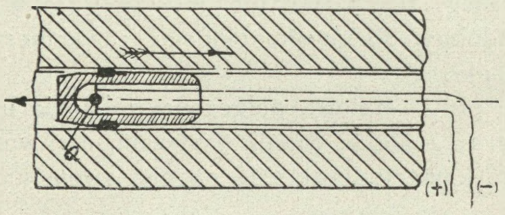
Znajomość przebiegu szybkości odrzutu broni, lub też lufy, w stosunku do czasu lub drogi, jest rzeczą bardzo ważną dla konstruktora broni, a w szczególności konstruktora oporo-powrotników.

Z przebiegu linji szybkości odrzutu broni, lub lufy, możemy również drogą przeliczeń przy zastosowaniu prawa równoważności ruchu mas (lufy, ładunku i pocisku), poruszających się podczas wystrzału, otrzymać linję szybkości pocisku w lufie.

b) Badanie ruchu pocisku w lufie.

Podczas badania czasu ruchu pocisku w lufie, obwód prądu pierwszego elektromagnesu zostaje przerwany przerywaczem umieszczonym wewnątrz pocisku.

Odbywa się to w ten sposób, że przerywacz w postaci cienkiego drucika zamykającego ten obwód, zostaje przerwany siłą bezwładności ciężarka Q (rys. 42), w chwili kiedy pocisk rozpoczyna swój ruch w lufie.



Rys. 42.

Przerywacz ten jest połączony z pierwszym obwodem prądu przewodnikiem przechodzącym wewnątrz lufy przez jej wylot.

Jeżeli drugi przerywacz znajduje się u wylotu lufy, to wtedy otrzymujemy tylko całkowity czas (z ilości drgań kamertonu) ruchu pocisku w lufie.

Celem otrzymania całkowitego przebiegu linji szybkości pocisku w lufie, stosujemy np. czasomierz Séberta (rys. 35) lub sposób opisany w § 14, ust. 4, punkt d.

Znajomość linji szybkości pocisku w lufie w zależności od czasu lub drogi, jest rzeczą bardzo ważną, gdyż z przebiegu tej linji możemy obliczyć przyśpieszenie pocisku w dowolnych punktach wewnątrz lufy.

Powyższe przyśpieszenie pocisku w różnych punktach lufy są podstawą dla konstruktora broni, a w szczególności amunicji, do obliczeń sił zewnętrznych i wewnętrznych (masowych), występujących podczas wystrzału. Od sił tych zależy budowa broni, amunicji, a w szczególności mechanizmy uderzeniowe i zabezpieczające zapalników artyleryjskich.

c) Badanie szybkości pocisku w powietrzu.

Do badania szybkości pocisku w powietrzu służą przeważnie fotograficzne czasomierze kamertonowe.

Czasomierzem opisanym w ustępie 2 pkt. b, możemy w połączeniu z całem urządzeniem balistografa inż. Dudy mierzyć szybkość pocisku w czasie całego jego ruchu i mierzyć szybkość końcową pocisku.

Jako przykład wykonywania pomiarów czasomierzem kamertonowym, podaję badanie szybkości początkowej pocisku czasomierzem solenoidowym przy rozstawieniu cewek s = 10 m.

Ilość drgań kamertonu w okresie przejścia pocisku od pierwszej cewki do drugiej, czyli między odchyleniami A i B (rys. 40), wynosi 19,25 drgań.

Czasowi oderwania t_1, otrzymanego przez równoczesne działanie obu cewek indukcyjnych (obu solenoidów) odpowiada 1,25 drgań.

Po uwzględnieniu tych drgań (dyzjunkcji), kamerton podczas badanego ruchu wykazuje 18 drgań.

Ponieważ do badań użyto kamertonu posiadającego 1000 drgań na sekundę, czas więc odpowiadający jednemu drgnięciu kamertonu wynosi $^1/_{1000}$ sek., czas zaś lotu pocisku od pierwszego do drugiego solenoidu wyniesie 18.1/1000 = 0,018 sek.

Znając czas lotu pocisku, ze wzoru 24 otrzymamy szybkość pocisku:

$$v_0 = \frac{10}{0{,}018} = 556 \text{ m/sek.}$$

§ 16. Elektryczno-optyczny czasomierz polaryzacyjny.

Niektóre czasomierze elektryczno-optyczne zostały już opisane w paragrafie 15 ust. 2 pod nazwą czasomierzy fotograficznych kamertonowych.

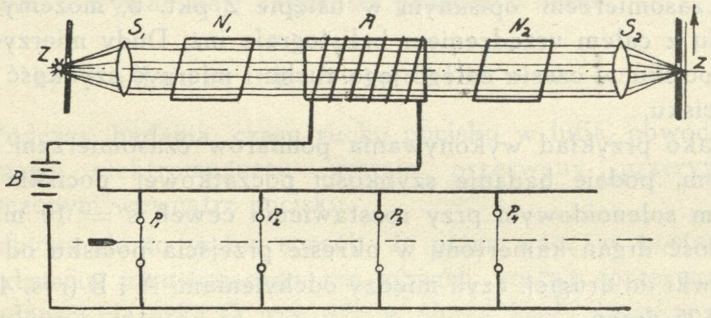
Do tego rodzaju czasomierzy zaliczamy również czasomierz polaryzacyjny.

Zasada działania tego czasomierza polega na określaniu początku i końca badanej różnicy czasu, przez przerywania linji świetlnej, uchwyconej na poruszającym się filmie.

Przerwania te zostają wywołane skręceniem płaszczyzny spolaryzowanego światła, pod wpływem działania pola magnetycznego solenoidu połączonego z przerywaczami.

Schemat takiego czasomierza konstrukcji A. C. Crehorego i G. O. Squiera widzimy na rys. 43.

Promienie światła lampy łukowej Z, przechodząc przez soczewkę S_1, skupiają się i przyjmują kierunek względem siebie równoległy.



Rys. 43.

Równoległe te promienie ulegają następnie spolaryzowaniu płytką Nicola N_1 i jako takie przechodzą przez rdzeń solenoidu R. Rdzeniem solenoidu R, jest zamknięta rurka szklana, wypełniona bezwodnikiem węglowym.

Po przejściu przez rdzeń, bez jakiejkolwiek zmiany płaszczyzny polaryzacji, promienie te ulegają depolaryzacji w płytce Niicola N_2 i następnie zostają ponownie skupione soczewką S_2 w punkcie Z na kliszy, lub też taśmie fotograficznej, posiadającej dość szybki ruch obrotowy (lub postępowy).

Przez solenoid przepływa prąd elektryczny, zasilany baterją B. Prąd ten przechodzi przez przerywacz P_1, a po jego przerwaniu przez P_2, i kolejno przez każdy następny.

Po przerwaniu przerywacza ramowego np. P_2 prąd na chwilę przestaje krążyć, lecz prawie natychmiast obwód zostaje samoczynnie zpowrotem zamknięty przerywaczem P_3 i t. d.

Zamknięcie samoczynne może być urządzone w sposób, opisany w § 14 ust. 1.

Płytki polaryzacyjne N_1 i N_2 są względem siebie tak ustawione, że przy zamkniętym obwodzie prądu, ruchoma klisza lub taśma fotograficzna jest oświetlona w punkcie Z; przy przerwanym zaś obwodzie prądu klisza światła nie otrzymuje, z powodu skręcenia płaszczyzny polaryzacyjnej.

Jest to tem spowodowane, że wskutek skręcenia płaszczyzny polaryzacyjnej, promienie światła nie przechodzą przez drugą płytkę N_2.

Wobec powyższego na ruchomej taśmie fotograficznej, powstaje linja jasna, ostro poprzerywana ciemnemi miejscami.

Miejsca te oznaczają momenty przerwania prądu.

Ruch taśmy fotograficznej może być prostolinijny, lub też obrotowy (np. taśma owinięta na wirującym bębnie).

Po skończonem badaniu odwija się taśmę fotograficzną z bębna i po jej wywołaniu, odmierza się odległości przejść z jasnego w ciemne.

Pomiar, jak i dokładność ruchu obrotowego bębna, określa drgający sfotografowany na tej samej fotograficznej taśmie kamerton (§ 15 ust. 2).

Na podstawie wymierzonych odległości między przejściami miejsc jasnych i ciemnych, możemy wzorem 49 lub 50 obliczyć czas, w którym dane zjawisko się odbywało, lub też sposobem podanym w § 15 ust. 4 pkt. c, t. j. z ilości sfotografowanych drgań kamertonu między ciemnemi punktami na kliszy.

W czasomierzu tym błędy spowodowane samoindukcją solenoidu są prawie usunięte, o ile wielkości samoindukcji podczas przerw dla każdego obwodu prądu są sobie równe.

Czasomierz ten z dobrym skutkiem można stosować do badań ruchu pocisku w lufie, przy użyciu odpowiednich przerywaczy (§ 14 ust. 4 pkt. d i § 15 ust. 4 pkt. b).

§ 17. Czasomierze galwanometryczne.

1. Czasomierz Pouillet-Helmholtza.

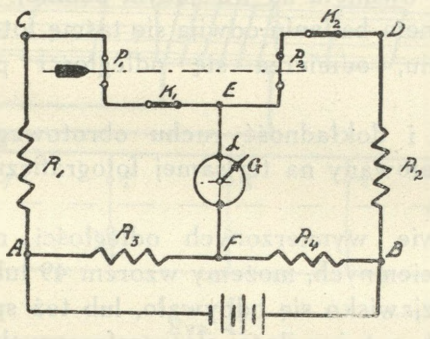
Czasomierz ten jest zbudowany na zasadzie uderzeniowego działania prądu na galwanometr.

Czas w tym czasomierzu określa wielkość odchylenia strzałki galwanometru.

W obwód prądu są włączone pewne opory wolne od samoindukcji i bardzo czuły balistyczny galwanometr, którego mechanizm ruchomy posiada dość znaczny moment bezwładności, wskutek czego ruch jego następuje po pewnej chwili uderzeniowego działania prądu.

Z określenia powyższego wynika, że przy pierwszym przerywaczu prąd musiałby być włączony poruszającym się pociskiem, przy drugim zaś wyłączony.

Ponieważ praktycznie trudno wykonać takie urządzenie (w miejsce przerywacza) w pierwszym obwodzie prądu, za którego pośrednictwem pocisk włączałby prąd w obwód, więc rozwiązano w ten sposób, że przy pierwszym przerywaczu wykonano odpowiednie rozgałęzienie prądu w postaci mostka Wheatston'a (rys. 44).



Rys. 44.

W rozgałęzienie to włączone są przerywacze ramowe P_1 i P_2, oraz kontakty K_1 i K_2 zegara wahadłowego Helmholtza, sprawdzającego dokładność lub też cechującego ten czasomierz (t. j. podziałkę szybkościową galwanometru).

Mostek Wheatstone'a zasilany jest baterją I.

Podczas krążenia prądu strzałka galwanometra G, wobec równości potencjałów w punktach E i F, znajduje się w położeniu początkowem, t. j. zerowem.

Po przerwaniu pociskiem przerywacza prądu P_1, część prądu przechodzi przez galwanometr G, rozgałęzieniem IAFGEDBI, pozostałą zaś część z punktu F przez FBI.

Prąd, przechodzący przez galwanometr G, jest wyłączony przerywaczem P_2, po przerwaniu go pociskiem.

Z zaobserwowanego odchylenia strzałki galwanometru balistycznego, drogą obliczeń, znając pewne wartości stałe tego galwanometra, otrzymuje się czas *t*, przelotu pocisku między przerywaczami P_1 i P_2.

Czas ten można również otrzymać z krzywej, charakteryzującej dany czasomierz galwanometryczny.

Wartości stałe galwanometru, lub też linję krzywą charakteryzującą dany czasomierz, otrzymujemy przez powtarzanie pomiarów dla różnych okresów czasu, odciętych kontaktami K_1 i K_2 zegara wahadłowego np. Helmholtza.

Przy tem badaniu, obserwujemy i odnotowujemy odchylenia strzałki galwanometra $\alpha_1, \alpha_2, \ldots\ldots \alpha_n$, które odpowiadają okresom czasu $t_1, t_2, t_3, \ldots. t_n$ zegara wahadłowego.

Badanie to jest właściwie zasadniczem skalowaniem tego czasomierza kontrolnym zegarem wahadłowym.

Z tego widzimy, że jest to jedyny czasomierz z dotychczas opisanych, który wymaga skalowania drugim czasomierzem, co jest jego stroną ujemną.

2. *Czasomierz galwanometryczny z kondensatorem Sabinego (1876) i M. Radakovića (1900).*

Czasomierz ten jest czasomierzem Pouillet — Helmholtza udoskonalonym w ten sposób, że w rozgałęzienie prądu został włączony kondensator.

Zasada pomiarowa tego czasomierza polega na tem, że z wielkości kąta odchylenia strzałki galwanometru możemy obliczyć stopień wyładowania kondensatora.

Z wielkości wyładowania kondensatora możemy już bardzo dokładnie obliczyć czas tego wyładowania, który jest równy czasowi przelotu pocisku między przerywaczami.

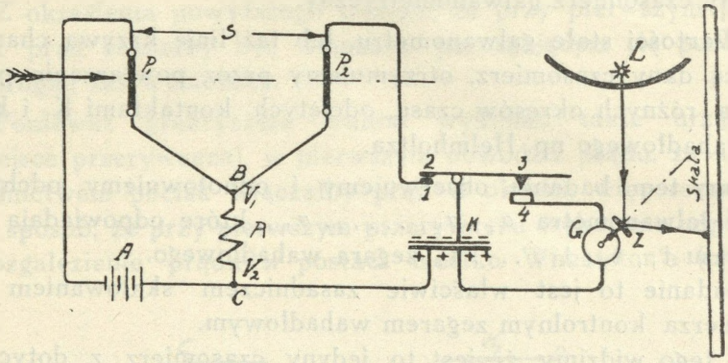
Czas ten obliczamy przy pomocy znanego w elektrotechnice wzoru:

$$t = R \cdot c \cdot \log_e \frac{q_0}{q_1} \qquad (52\ ^*).$$

---

*) Wzór 52 otrzymujemy z następującego rozważania. Podczas wyładowywania się kondensatora istnieje w każdym momencie związek, że $V = i \cdot R$, gdzie i jest chwilowem natężeniem prądu wyładowania, t. j. ilością wyładowania w nieskończenie małym czasie dt; więc $i = -\frac{dq}{dt}$ (znak minus oznacza, że ła-

gdzie R—jest to włączony w obwód opór (rys. 45), którego wielkość dowolnie możemy zmieniać, c — jest pojemnością kondensatora K, q_0 — ładunkiem elektrycznym kondensatora tuż przed badaniem (na chwilę przed przerwaniem przerywacza P_1), q_1 zaś — pozostałym ładunkiem, tuż po przerwaniu drugiego przerywacza P_2.



Rys. 45.

Opór R mierzymy w omach, pojemność c w faradach; obie te wielkości możemy podać również w bezwzględnych jednostkach elektromagnetycznych.

Zasadę działania tego czasomierza galwanometrycznego z kondensatorem uwidocznia rys. 45.

Źródłem prądu dla całego obwodu jest akumulator A.

W części rozgałęzienia C—R—B—P_2—1—2—K—C jest włączony kondensator K, w odnodze zaś K—3—4—G—K tegoż rozgałęzienia bardzo czuły galwanometr zwierciadłowy G.

W części obwodu A—P_1—B—R—C—A, między punktami B i C istnieje różnica napięć (potencjałów) $V_1 - V_2 = V$.

---

dunek kondensatora q maleje), natomiast $V = \frac{q}{c}$. Po podstawieniu otrzymujemy:

$$\frac{q}{c} + R \frac{dq}{dt} = 0 \qquad \text{lub} \qquad dt = - R \cdot c \frac{dq}{q}$$

jest to równanie różniczkowe wyładowania kondensatora, pod warunkiem, że w obwodzie wyładowania kondensatora samoindukcja jest bez wpływu, co przy zastosowaniu różnych udoskonaleń w danym czasomierzu można do pewnego stopnia uzyskać.

Po scałkowaniu obu stron tego równania, mamy:

$$\int_0^t dt = \int_{q_0}^{q_1} - R \cdot c \frac{dq}{q}, \qquad \text{z tego zaś } t = R \cdot c \cdot \log_e \frac{q_0}{q_1}.$$

Różnica tych napięć utrzymuje w drugiej części obwodu kondensator K w stanie naładowanym elektrycznością $q = c.V$.

W chwili przerwania obwodu prądu przerywaczem P_1 zanika różnica potencjałów V między punktami B i C, a kondensator rozpoczyna wyładowywać się w części zamkniętego obwodu C—R—B —P_2—1—2—K—C.

Wyładowanie to trwa do chwili przerwania tegoż obwodu zamkniętego przerywaczem P_2.

Ręcznie uruchomiany przełącznik U służy do wyłączania kondensatora K z głównego obwodu a włączania go w rozgałęzienie galwanometra G, przez rozluźnienie kontaktów 1—2, i styku kontaktów 3—4, a to w celu zmierzenia, przed i po badaniu, wielkości ładunków q_0 i q_1 kondensatora K.

Po takiem uruchomieniu przełącznika U następuje rozładowanie kondensatora, a cały jego ładunek q_0 lub q_1 przepływa przez galwanometr zwierciadłowy G i powoduje odchylenie jego wskazówki zapatrzonej w zwierciadło, o kąt α_0 lub α_1.

Obrotowi wskazówki odpowiada odchylenie s_0 lub s_1 promieni odbitych od zwierciadła wskazówki, na dość dużej skali znajdującej się w odpowiedniej odległości od galwanometra.

Wielkości tych odchyleń są miarą stopnia naładowania kondensatora, a ich różnica przed i po badaniu $(s_0 - s_1)$ stopniem wyładowania kondensatora $(q_0 - q_1)$, w czasie badanego zjawiska, np. w czasie lotu pocisku od chwili przerwania przerywacza P_1, do momentu przerwania przerywacza P_2.

Z własności galwanometra zwierciadłowego wynika, że:

$$\alpha_0 : \alpha_1 = q_0 : q_1 = s_0 : s_1$$

Wielkości s_0 i s_1 są wielkościami zredukowanemi (t. j. przeliczonemi) z odczytanych na skali, w zależności od odległości tej skali od galwanometru. Gdy zaś odległość ta jest dostosowana do skali, są to wielkości wprost odczytane na skali.

Wobec powyższej proporcji możemy przekształcić wz. 52 na

$$t = R \cdot c \cdot \log_e \frac{s_0}{s_1} \qquad (53).$$

lub zmieniając logarytm naturalny (dla zasady e = 2,718) na logarytm dla zasady 10, otrzymamy:

$$t = \frac{R \cdot c}{0{,}43429} \cdot \log \frac{s_0}{s_1} \qquad (54).$$

Przykład: pomiar szybkości początkowej pocisku Mauzera wz. 88 kal. 7,92 mm.

Badanie przeprowadzone przy rozstawieniu przerywaczy taśmowych 0,2 m; opór R = 450 omów, pojemność kondensatora c = 0,0000005 faradów.

Ładunki kondensatora q_0 i q_1 przed i po badaniu dają odchylenia na skali galwanometra $s_0 = 22{,}09$ i $s_1 = 5{,}71$.

Czas lotu pocisku między przerywaczami wynosi według wzoru 54:

$$t = \frac{450 \,.\, 0{,}0000005}{0{,}434290} \,.\, \log \frac{22{,}09}{5{,}71} = \text{ok. } 0{,}0003044 \text{ sek.}$$

Wobec powyższego, szybkość początkowa pocisku wynosi:

$$v_{0,1} = \frac{0{,}2}{0{,}0003044} = 657{,}0 \text{ m/sek.}$$

(pomiar wykonany przez por. Uscholda).

3. *Dokładność czasomierza galwanometrycznego z kondensatorem.*

Wyżej opisany czasomierz jest uważany dzisiaj za jeden z najczulszych i najbardziej nadający się do pomiarów bardzo małych różnic czasu, podobnie jak czasomierz iskrowy lub polaryzacyjny (elektryczno-optyczny).

Przez odpowiednią zmianę wielkości oporu R czasomierz ten daje się regulować, celem możności stosowania go do pomiarów różnych wielkości badanych okresów czasu.

Dokładność pomiaru czasomierzem kondensatorowym, zależy przedewszystkiem od stopnia dokładności odmierzenia wielkości wyładowania kondensatora w badanym czasie. Zależy to przedewszystkiem od czułości i dokładności zastosowanego galwanometra zwierciadłowego i od stopnia dokładności odczytów na skali tegoż galwanometra przed i po pomiarze.

Aby odpowiedzieć jak błąd popełniony w odczytach długości s_0 skali wpływa na badany czas *t*, oznaczamy błąd odczytów długości s_0 i s_1 przez $\triangle s_0$ i $\triangle s_1$.

Zależność $\triangle t$ od $\triangle s$ wyprowadzamy sposobem podanym w § 12 ust. I. Dla badanego więc czasu

$$t = R \,.\, c \,.\, \log_e \left(\frac{s_0}{s_1} \right), \text{ otrzymamy}$$

$$t + \triangle t = R \,.\, c \,.\, \log_e \left(\frac{s_0 + \triangle s_0}{s_1 + \triangle s_1} \right), \text{ po odjęciu zaś będzie:}$$

$$\triangle t = R \cdot c \cdot \left(\log_e \frac{s_0 + \triangle s_0}{s_1 + \triangle s_1} - \log_e \frac{s_0}{s_1} \right) \quad \text{lub}$$

$$\triangle t = R \cdot c \cdot [\log_e (s_0 + \triangle s_0) - \log_e (s_1 + \triangle s_1) - \log_e s_0 + \log_e s_1], \quad \text{stąd}$$

$$\triangle t = R \cdot c \cdot \left[\log_e \left(1 + \frac{\triangle s_0}{s_0} \right) - \log_e \left(1 + \frac{\triangle s_1}{s_1} \right) \right]; \quad \text{po przekształceniu}$$

$$\triangle t = R \cdot c \cdot \left[\frac{\triangle s_0}{s_0} \log_e \left(1 + \frac{\triangle s_0}{s_0} \right)^{\left(\frac{s_0}{\triangle s_0} \right)} - \frac{\triangle s_1}{s_1} \log_e \left(1 + \frac{\triangle s_1}{s_1} \right)^{\left(\frac{s_1}{\triangle s_1} \right)} \right];$$

gdy $\triangle s_0$ lub $\triangle s_1$ dążą do wartości zera, to wyrażenie $\left(1 + \frac{\triangle s_0}{s_0} \right)^{\left(\frac{s_0}{\triangle s_0} \right)}$ zbliża się do wartości t. zw. liczby naturalnej $e = 2{,}718...$

Wobec powyższego otrzymujemy:

$$\triangle t = R \cdot c \cdot \left(\frac{\triangle s_0}{s_0} - \frac{\triangle s_1}{s_1} \right) \qquad (55).$$

Powyższa funkcja jest szukaną zależnością popełnionego błędu $\triangle t$ od dokładności odczytów długości s_0 i s_1.

Przyjmując, że wielkości błędów tak w pierwszym jak i w drugiem odczycie są sobie równe, t.j. $\triangle s_0 = \triangle s_1$, i biorąc pod uwagę najniekorzystniejszy wypadek, który następuje wtedy, gdy błąd $\triangle s_0$ jest nadmiarem ($\triangle s_0$ dodatni), $\triangle s_1$ zaś niedomiarem ($\triangle s_1$ ujemne), wzór 55 przekształci się na:

$$\triangle t = R \cdot c \cdot \left(\frac{\triangle s_0}{s_0} + \frac{\triangle s_0}{s_1} \right), \quad \text{lub ostatecznie}$$

$$\triangle t = R \cdot c \cdot \frac{\triangle s_0}{s_0} \left(1 + \frac{s_0}{s_1} \right) \qquad (56).$$

Z wzoru tego widzimy, że błąd pomiaru czasu $\triangle t$ będzie tem mniejszy, im początkowa wielkość odczytu s_0 na skali będzie większa, a iloraz $\frac{s_0}{s_1}$ stosunkowo mały.

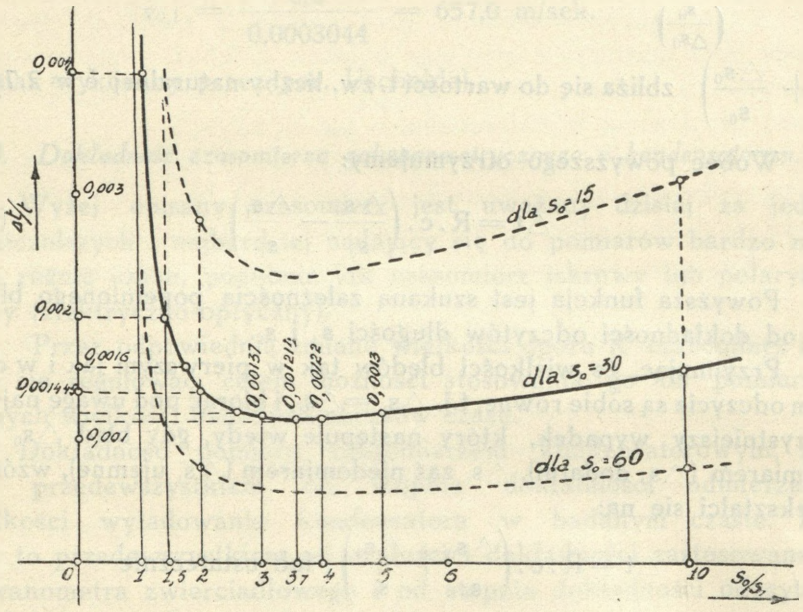
Chcąc podać w jakich warunkach należy pomiar wykonywać, aby przyczyna niedokładności odczytów s_0 i s_1 jak najmniej wpływała na dokładność badanego czasu, obliczmy stosunek błędu $\triangle t$ do badanego czasu t, czyli t. zw. błąd względny, to jest:

$$\frac{\triangle t}{t} = 0{,}43429 \cdot \frac{\triangle s_0}{s_0} \cdot \frac{1 + \frac{s_0}{s_1}}{\log \frac{s_0}{s_1}} \qquad (57).$$

i wykonajmy wykres tego wzoru (rys. 46).

Na osi odciętych tego wykresu są podane wartości stosunku s_0/s_1, na osi zaś rzędnych odpowiadające błędy względne $\frac{\triangle t}{t}$.

Celem otrzymania rzędnych powyższego wykresu przyjmujemy, że odchylenie odbitych promieni światła na skali galwanometra tuż przed pomiarem wynosi $s_0 = 30$ takich części długości, które odczytać możemy np. z dokładnością $\triangle s_0 = \pm 0{,}01$.



Rys. 46.

Krzywe kreskowane tego wykresu przedstawiają również obraz powyższej funkcji dla $s_0 = 60$ i $s_0 = 15$; w danym wypadku rzędne otrzymuje się według wzoru 57, lub mnożąc rzędne wykresu dla $s_0 = 30$ przez 30/60 i 30/15.

Wykres ten uwidocznia przy jakim stosunku s_0/s_1, a właściwie q_0/q_1, należy pomiar wykonywać, aby błąd względny $\frac{\triangle t}{t}$ był jak najmniejszy.

Z trzech krzywych tego wykresu widzimy, że pomiar na-

leży wykonywać przy dużych odchyleniach s_0 galwanometru, ponadto w ten sposób, aby wielkość stosunku $s_0/s_1 = q_0/q_1$ była zawarta w granicach mniej więcej od 2,5 do 5,0.

Najmniejszy jednak błąd względny $\frac{\triangle t}{t}$ popełnimy przy $s_0/s_1 =$ ok. 3,7*), gdyż wtedy $\frac{\triangle t}{t}$ będzie posiadało wartość minimalną.

Podług wykonanych prób i doświadczeń, przeprowadzonych przez por. Uscholda, największą absolutną dokładność pomiaru otrzyma się, wykonywając ten pomiar przy stosunku q_0/q_1 względnie s_0/s_1 znajdującym się w granicach od 2 do 3, co do pewnego stopnia jest zgodne z podaną wyżej analizą teoretyczną.

Na tę nieznaczną różnicę granic składają się zapewne przyczyny, zależne od galwanometra, przewodników prądu i t. d., które zwiększają swoje ujemne działanie przy stosunku s_0/s_1, wychodzącym poza wyżej podaną granicę od 2 do 3.

Celem otrzymania takiej wielkości stosunku q_0/q_1, przy którym wykonany pomiar będzie prawdopodobnie najdokładniejszy, należy powyższą analizę teoretyczną oprzeć na doświadczeniu, przez przeprowadzenie większej ilości badań i przy stosowaniu teorji błędów.

Oparte na tej zasadzie obliczenia W. Schmundta wykazały, że najkorzystniej jest wykonywać pomiar czasomierzem z kondensatorem przy stosunku $q_0/q_1 = s_0/s_1$ zawartym w granicach:

$$2{,}7 < q_0/q_1 < 3{,}0$$

W praktyce pomiarowej stosują przeważnie $q_0/q_1 = 3{,}0$.

By powyższą najkorzystniejszą wielkość $q_0/q_1 = s_0/s_1 = 3{,}0$

---

*) Wartość dla $s_0/s_1 = 3{,}7$ uwidocznia w przybliżeniu wykres rys. 46. Dokładnie możemy ją obliczyć matematycznie przez znalezienie minimum funkcji $y = \frac{1+x}{\log x}$, gdzie $x = s_0/s_1$.

W tym celu przyrównywamy pierwszą pochodną tej funkcji z zerem, t. j.:

$$y' = \frac{\log x - \frac{1}{x} - 1}{\log^2 x} = 0;$$

stąd $\log x - \frac{1}{x} - 1 = 0$, a z równania tego $x = 3{,}664$.

podczas pomiarów różnych okresów czasu utrzymać jako stałą, należy przy badaniach tych różnych okresów czasu odpowiednio zmieniać szybkość wyładowania kondensatora, co możemy uczynić, zmieniając odpowiednio opór R i to w tym samym stosunku w jakim zmienia się badany czas.

Dokładność badań tym czasomierzem zależy jeszcze od innych wpływów, zależnych od dokładności i czułości galwanometra, od wielkości powstałej samoindukcji i innych przyczyn mających swe źródła w kondensatorze i przewodach elektrycznych.

Błąd, spowodowany samoindukcją przewodów, można zbadać i obliczyć. W udoskonalonych czasomierzach jest on w stosunku do innych błędów tak mały, że możemy go pominąć; przyczem wskazuje nam na to jeszcze i ta okoliczność, czy przy znacznej zmianie oporu R i c, wielkość badanego czasu wykazuje pewną zmianę.

Zła izolacja wszystkich części, a w szczególności kondensatora wpływa również do pewnego stopnia na odchylenia poszczególnych mierzeń i na wielkość błędu względnego $\triangle t/t$.

Powyższa przyczyna wpływa przedewszystkiem w dość znacznym stopniu na odchylenie wyniku badań od rzeczywistej wielkości mierzonej, t. j. na błąd absolutny.

Podczas pomiaru należy przestrzegać, aby pomiary ładunków kondensatora q_0 i q_1 były wykonane tuż przed, jak i po mierzeniu tym czasomierzem.

Przy wykonywaniu pomiarów należy również zwrócić uwagę na przerywacze prądu, czy są dokładnie wyregulowane, a w szczególności, czy dokładnie jest odmierzona ich odległość § 12 ust. 1 pkt. 6.

Wobec powyższego widzimy, że wykonywanie pomiarów tym czasomierzem wymaga bardzo wzorowej i fachowej obsługi.

TABLICA 7.

L. p.	Średni wynik pomiaru $t_{śr}$ w sek.	Prawdopodobny błąd poszczególnych mierzeń r	
		w miljonowych cz. sek.	w %
1.	0,016315	10	0,06
2.	0,002135	8	0,38
3.	0,000310	4,8	1.53

W celu przedstawienia dokładności tego czasomierza oraz wykazania jak małe okresy czasu i z jaką dokładnością można nim mierzyć, podaję na tablicy 7 wyniki pomiarów (wykonanych przez por. Uscholda, zob. Balistyka dr. C. Cranza t. III) trzech różnych okresów czasu, odmierzonych wahadłem Helmholtza.

Okresy czasu wynosiły około 0,016/sek., 0,012 sek. i 0,0003 sek., a każdy okres był mierzony w tych samych warunkach 50 razy.

§ 18. Pomiar szybkości metodą porównywania.

Pomiar szybkości metodą porównywania, jak sama nazwa wskazuje, polega na określeniu pewnej nieznanej szybkości przez porównanie jej z inną szybkością, dokładnie znaną.

Metodę tę stosuje się przeważnie do pomiarów szybkości różnych rodzajów fal, wywołanych detonacją materjałów wybuchowych.

1. Pomiar szybkości sposobem dr. H. Dautriche'a.

Pomiar szybkości sposobem H. Dautriche'a służy przeważnie do badań szybkości fal detonacji materjałów wybuchowych, t. j. szybkości, z jaką rozchodzi się fala detonacji na cały materjał wybuchowy.

Znajomość szybkości detonacji różnych materjałów wybuchowych i w różnych warunkach, jest rzeczą bardzo ważną, gdyż charakteryzuje ona zdolność kruszenia tych materjałów wybuchowych.

Zasada pomiarowa tym sposobem polega na określeniu szybkości detonacji przez porównanie jej z inną dokadnie znaną szybkością, np. z szybkością detonacji jakiegoś znanego lontu wybuchowego.

Rys. 47 przedstawia schemat takiego urządzenia pomiarowego.

R — oznacza rurkę metalową, w której umieszcza się, względnie wprasowuje do pewnej pożądanej gęstości materjał wybuchowy badany pod względem szybkości detonacji.

Spłonka S_1, posiadająca 1,5 g materjału detonującego, powoduje wybuch badanego materjału w rurce R.

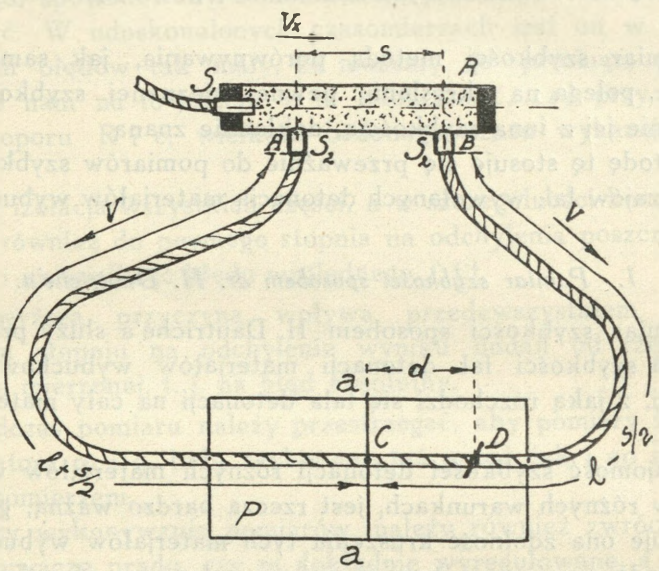
Za pośrednictwem spłonek S_2, przenosi się ten wybuch kolejno na oba końce lontu detonującego o długości $2.l$ i o znanej prędkości detonacji.

Lont ten, użyty do badań, powinien być wzorcowy.

Część środkowa tego lontu spoczywa swobodnie na płycie ołowianej P, tak jednak, aby punkt C, dzielący obwód lontu i ma-

terjału wybuchowego na równe części w odniesieniu do punktu A, znajdował się dokładnie nad kreską a—a płyty ołowianej.

Zasada pomiaru polega na tem, że jednokierunkowa fala detonacji lontu powoduje na płycie ołowianej tylko wgłębienie wzdłuż zetknięcia się lontu z płytą; jeżeli zaś zdetonujemy lont w punktach A i B, to wówczas w loncie powstają dwie fale detonacji o kierunkach przeciwnych, które w punkcie spotkania się na płycie powodują wgłębienie dość znaczne, posiadające kierunek skośny do kierunku lontu położonego na płycie P.



Rys. 47.

Gdyby badany materjał wybuchowy w rurce R posiadał tę samą szybkość detonacji, co lont użyty do badań, to charakterystyczne wgłębienie skośne powstałoby na linji a—a płyty ołowianej P i przechodziłoby przez punkt C.

Przy mniejszej zaś szybkości detonacji badanego materjału wybuchowego, wgłębienie powyższe powstałoby w punkcie D, t. j. w pewnej odległości *d* na prawo od punktu C, a przy większej szybkości na lewo od punktu C.

Im większą otrzymujemy odległość *d*, tem większa zachodzi różnica szybkości między detonacją materjału badanego, a lontu użytego do pomiarów.

Znając wielkość *d*, odległość spłonek *s*, długość lontu $2 . l$ i jego szybkość detonacji *v*, z łatwością możemy obliczyć szybkość deto-

nacji badanego materjału wybuchowego, sprasowanego w rurce R.

Badaną szybkość oznaczamy przez v_x.

Ponieważ obie fale detonacji powstają równocześnie w punkcie A i następnie spotykają się w punkcie D, przeto czas przejścia fali detonacji lontu z punktu A do D równa się sumie czasów t_1 i t_2, t. j. czasom przejścia fali detonacji materjału wybuchowego z A do B i lontu z B do D; więc $t = t_1 + t_2$.

Przyjmując ruch fali detonacji jako ruch jednostajny, otrzymamy według praw ruchu jednostajnego:

$$t = \frac{l + \frac{1}{2}s + d}{v}, \qquad t_1 = \frac{s}{v_x}, \qquad t_2 = \frac{l - \frac{1}{2}s - d}{v}.$$

Po podstawieniu tych wielkości w równaniu $t = t_1 + t_2$ otrzymamy:

$$\frac{l + \frac{1}{2}s + d}{v} = \frac{s}{v_x} + \frac{l - \frac{1}{2}s - d}{v},$$

stąd

$$v_x = \frac{v \cdot s}{s + 2d} \qquad (58).$$

Względna wartość *d* zależna jest od położenia punktu D: gdy punkt D znajduje się po prawej stronie C, dla *d* przyjmuje się znak algebraiczny dodatni, w przeciwnym razie ujemny.

Pomiar ten można również uskutecznić przy pomocy dwóch jednakowych lontów, wychodzących z punktów A i B, przyczem końcowe ich części należy równolegle blisko siebie ułożyć na płycie ołowianej i odpowiednio brać punkt C lontów na linji a—a.

Dla niektórych materjałów wybuchowych zamiast spłonki S_1, do wywołania wybuchu można użyć iskry elektrycznej.

Gdy zaś wybuch badanego materjału może spowodować bezpośrednio detonację lontu, użycie spłonek S_2 jest również zbyteczne.

Metodą tą możemy badać zależność szybkości detonacji nietylko od rodzaju materjału wybuchowego, lecz i od wielu innych czynników, jak temperatura, ciśnienie, kształt rurki R, gęstość wprasowania materjału badanego i t. d.

Wobec powyższego należy zawsze podać, w jakich warunkach pomiar został wykonany, a przedewszystkiem, z jaką gęstością materjał był wprasowany do rurki R, gdyż jest to czynnik, który najwięcej wpływa na szybkość detonacji.

Dla przykładu podaję powyższą zależność (tabl. 8) dla szedytu (cheddit).

Wielkości podane w tej tablicy otrzymano metodą wyżej opisaną (H. Brunswig Explosivstoffe).

W niektórych materjałach wybuchowych zależność ta daje się zauważyć jeszcze w większym stopniu.

TABLICA 8.

Gęstość materjału wybuchowego w rurce R.	Szybkość detonacji w m/sek.	Ilość wykonanych pomiarów.	Średnie odchylenie w m/sek.
0,7	2100	5	20
0,8	2248	5	52
0,9	2430	4	24
1,0	2504	4	19
1,1	2550	4	31
1,2	2510	4	37
1,3	2360	4	42
1,38	2166	1	—
1,52	materjał wybuchowy nie zdetonował.		

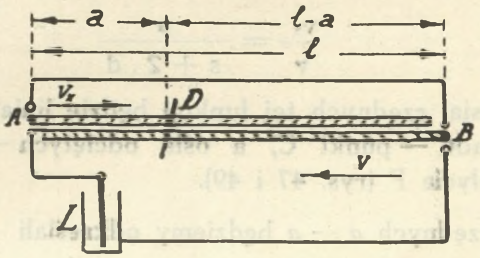
Poniżej podaję przybliżone wartości szybkości detonacji dla niektórych rodzajów ważniejszych materjałów wybuchowych (używanych przeważnie we Francji).

Anilit	8000 m/sek.
Materjały wybuchowe potrójnie nitrowane (czyste)	6500 — 7000 m/sek.
Mieszaniny nitro-związków	6200 — 6500 m/sek.
Materjał wybuchowy N. T. t. j. azotan amonu + trotyl (70/30)	5500 — 5800 m/sek.
Materjał wybuchowy N. X. t. j. azotan amonu + ksylit (77/23)	5400 — 5600 m/sek.
Szneideryt t. j. azotan amonu + dwunitronaftalina (87,5/12,5)	4800 — 5200 m/sek.
Materjały wybuchowe chloranowe .	3200 — 3600 m/sek.
Piorunian rtęci . . . . . ok.	5000 m/sek.

Z powyższego zestawienia porównawczo możemy sobie uzmysłowić zdolność kruszenia tych materjałów wybuchowych, ponieważ zależy ona głównie od szybkości detonacji.

W celu zbadania szybkości fali detonacji jakiegokolwiek lontu sposobem porównawczym, bierzemy pewną odległość tego lontu, np. 1 metr i taką samą długość lontu wzorcowego, o znanej szybkości detonacji.

Oba te lonty (rys. 48) kładziemy obok siebie równolegle na płycie ołowianej i powodujemy równoczesny wybuch ich końców A i B, np. iskrami elektrycznemi za pośrednictwem wyładowania butelki lejdejskiej L; wówczas w miejscu, gdzie się obie fale detonacji spotkają, powstanie dość ostro widoczny znak D na płycie ołowianej.



Rys. 48.

Z proporcji, wynikającej z ruchów jednostajnych obu tych fal, t. j.

$$\frac{v_x}{v} = \frac{a}{l - a},$$

otrzymujemy wartość badanej szybkości v_x, a mianowicie:

$$v_x = \frac{v \cdot a}{l - a} \qquad (59).$$

Przykład:

gęstość badanego dynamitu w rurce R (rys. 47) wynosi 1,54. Szybkość detonacji wzorcowego lontu, użytego do pomiaru równa się v = 6900 m/sek.

Odstęp s = 100 mm.

Po wybuchu wgłębienie D na płycie powstało z prawej strony punktu C w odległości d = 16 mm.

Z wzoru 58 otrzymujemy szybkość badanego dynamitu:

$$v_x = \frac{6900 \cdot 100}{100 + 2.16} = 5227 \text{ m/sek.}$$

2. *Dokładność pomiarów sposobem Dautriche'a.*

(Wywody i wskazówki inż. W. Hanki).

Dokładność pomiaru szybkości detonacji sposobem Dautriche'a zależy przedewszystkiem od dokładnego wymierzenia wielkości d, co nie jest tak łatwe, ponieważ ostrość otrzymanego znaku D niezupełnie jest wyraźna.

Celem podania, w jakich warunkach należy pomiar wykonywać, aby wpływ niedokładnego odmierzenia odległości d na wzrost błędu badanej szybkości był jak najmniejszy, wykonajmy wykres wzoru 58, przekształconego na wzór 58a.

$$\frac{v_x}{v} = \frac{s}{s + 2 \cdot d} \qquad (58a).$$

Niech osią rzędnych tej funkcji będzie linja $a - a$ płyty, początkiem układu — punkt C, a osią odciętych — kierunek lontu, leżącego na płycie P (rys. 47 i 49).

Na osi rzędnych $a - a$ będziemy odkreślali $\frac{v_x}{v}$ (t.j. stosunek badanej szybkości do szybkości detonacji użytego lontu), lub badaną szybkość v_x, wyrażoną wielkością v lontu, na osi zaś odciętych będziemy odkreślali wielkość d, wyrażoną wielkością s.

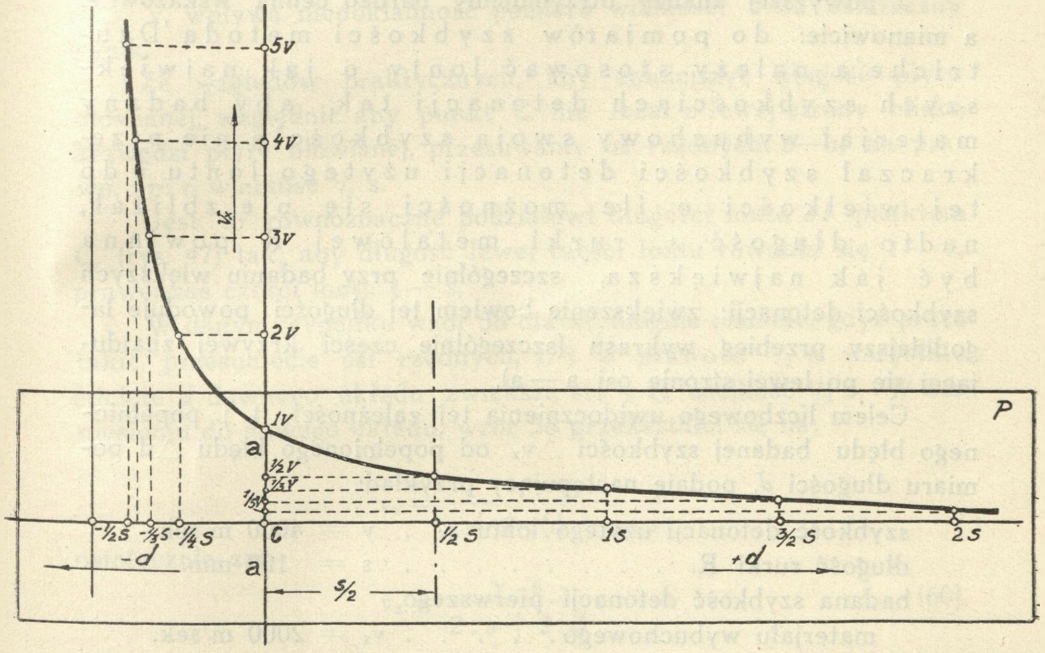
Celem wykreślenia tej krzywej, z wzoru 58a obliczamy niektóre charakterystyczne wielkości współrzędnych dla v_x, i d, a mianowicie:

dla $\frac{v_x}{v} = 1$	lub	$v_x = v$	$d = 0$
„ „ $= 1/2$	„	$v_x = 1/2 . v$	$d = \frac{s}{2}$
„ „ $= 1/3$	„	$v_x = 1/3 . v$	$d = s$
„ „ $= 1/4$	„	$v_x = 1/4 . v$	$d = 3/2 . s$
„ „ $= 1/5$	„	$v_x = 1/5 . v$	$d = 2 . s$
„ „ $= 5$	„	$v_x = 5 . v$	$d = -2/5 . s$
„ „ $= 4$	„	$v_x = 4 . v$	$d = -3/8 . s$
„ „ $= 3$	„	$v_x = 3 . v$	$d = -1/3 . s$
„ „ $= 2$	„	$v_x = 2 . v$	$d = -1/4 . s$

Z wykresu tego możemy odczytać wskazówki, które należy znać i które należy przestrzegać podczas badań tym sposobem szybkości fal detonacji materjałów, aby wynik tych badań był jak najprawdopodobniejszą wartością rzeczywistej wielkości. Mianowicie:

a) jeżeli wielkość szybkości v_x badanego materjału wybuchowego znajduje się w granicach np. 5v do 1/3v, gdzie v jest szybkością detonacji użytego lontu, to długość płyty ołowianej P, z prawej strony linji *a—a*, nie może być mniejsza od 2.s, a z lewej od $^2/_5$.s, gdyż w przeciwnym razie wgłębienie D wypadłoby poza obrębem płyty P;

b) jeżeli badana szybkość równa się szybkości użytego lontu ($v_x = v$), to wgłębienie D powstanie w punkcie C, t. j. w początku układu, a więc *d* będzie się równało 0,0 mm;



Rys. 49.

c) z wykresu wynika również, że o ile badana szybkość v_x jest mniejsza od szybkości v detonacji lontu ($v_x < v$), to znak D powstanie na płycie ołowianej z prawej strony osi rzędnych, czyli punktu C (d dodatnie), gdy zaś $v_x > v$, to z lewej strony punktu C (d ujemne);

d) jedną z najważniejszych własności tej krzywej jest to, że z prawej strony osi rzędnych posiada ona przebieg stosunkowo łagodny, z lewej zaś bardzo stromy.

Z tego wynika, że im badana szybkość v_x jest mniejsza od szybkości detonacji użytego lontu ($v_x < v$), tem większej zmianie długości *d* odpowiada stosunkowo mała zmiana wyniku v_x; czyli

wpływ błędu pomiaru długości d na badaną szybkość v_x w tym wypadku będzie stosunkowo mały.

Przeciwnie przedstawia się sprawa, jeżeli badana szybkość jest większa od szybkości detonacji lontu, t. j. $v_x > v$ (lewa strona wykresu), gdyż wtedy małym zmianom długości d odpowiada stosunkowo większa zmiana badanej szybkości v_x .

Z tego wynika, że wtedy mały błąd, popełniony w wymierzeniu długości d, w dość znacznym stopniu wpłynie na dokładność pomiarową.

Z powyższej analizy otrzymujemy bardzo cenną wskazówkę, a mianowicie: do pomiarów szybkości metodą Dautriche'a należy stosować lonty o jak największych szybkościach detonacji tak, aby badany materjał wybuchowy swoją szybkością nie przekraczał szybkości detonacji użytego lontu i do tej wielkości o ile możności się nie zbliżał, nadto długość s, rurki metalowej R powinna być jak największa, szczególnie przy badaniu większych szybkości detonacji; zwiększenie bowiem tej długości powoduje łagodniejszy przebieg wykresu (szczególnie części krzywej znajdującej się po lewej stronie osi a — a).

Celem liczbowego uwidocznienia tej zależności, t. j. popełnionego błędu badanej szybkości $\triangle v_x$ od popełnionego błędu $\triangle d$ pomiaru długości d, podaję następujący przykład:

szybkość detonacji użytego lontu . . $v = 4000$ m/sek.
długość rurki R. . . . . $s = 100$ mm.
badana szybkość detonacji pierwszego materjału wybuchowego . . . . . $v_x = 2000$ m/sek.
badana szybkość detonacji drugiego materjału wybuchowego . . . . . $v_x = 8000$ m/sek.

Według wz. 58 a, lub podanych wyżej obliczonych współrzędnych, otrzymanoby przy idealnem badaniu pierwszego materjału wybuchowego odległość wgłębienia D od C, t. j. $d = 50$ mm, przy takiem zaś samem badaniu drugiego materjału wybuchowego $d = -25$ mm.

Przyjmijmy, że popełniony błąd pomiaru długości d tak w pierwszym, jak i w drugim wypadku wynosi $\triangle d = 2$ mm, wtedy w pierwszym wypadku będzie $d = 52$ mm; z wzoru więc 58,

$$v_x = \frac{4000 \cdot 100}{100 + 2.52} = 1960{,}8 \text{ m/sek.},$$

stąd błąd pomiaru szybkości

$$\triangle v_x = 2000 - 1960{,}8 = 39{,}2 \text{ m/sek.} = \text{ok. } 2\%.$$

W drugim wypadku będzie $d = -23$ mm; więc

$$v_x = \frac{4000 \cdot 100}{100 - 2.23} = 7407{,}4 \text{ m/sek.},$$

błąd pomiaru szybkości

$$\triangle v_x = 8000 - 7407{,}6 = 592{,}6 \text{ m/sek.} = \text{ok. } 7{,}4\%.$$

Z tego przykładu widzimy w jak wielkim stopniu, gdy $v_x > v$, wpływa niedokładność pomiaru wielkości d na ostateczny wynik.

Ze względów praktycznych, aby zmniejszyć długość płyty ołowianej, względnie aby punkt C nie leżał z lewej strony blisko krawędzi płyty ołowianej, przesuwamy oś rzędnych $a—a$, na prawo, np. o wielkość $^1/_2$ s.

Jest to równoznaczne podziałowi długości lontu $2l$ punktem C. (rys. 47) tak, aby długość lewej części lontu równała się $l + s$, prawej zaś części lontu $l - s$.

W danym wypadku wzór 58 dla v_x ulegnie zmianie, gdyż przez takie przesunięcie osi rzędnych, t. j. w prawo o $^1/_2$ s. wszystkie odcięte d dawnego układu zwiększą się o tę wielkość $^1/_2$ s. W odniesieniu do nowego układu, wzór 58 przekształci się na:

$$v_x = \frac{v \cdot s}{s + 2 \cdot (d + \frac{1}{2} \cdot s)}$$

ostatecznie zaś

$$v_x = \frac{v \cdot s}{2 \cdot s + 2 \cdot d} \qquad (60).$$

Zmiana ta nie wpływa zupełnie na dokładność pomiarową, gdyż przebieg krzywej v_x przez to się nie zmieni.

Przez taki podział lontu punktem C zmieni się tylko treść wyżej podanych ustępów a); b) i c).

Oprócz popełnionego błędu przez niedokładne odmierzenie odległości d, na dokładność badania powyższym sposobem, składają się jeszcze inne błędy, powstałe z powodu niedokładnego podziału lontu punktem C, niedokładnego wymierzenia odległości s spłonek, oraz niedokładnej znajomości szybkości detonacji użytego lontu wzorcowego.

Przy przestrzeganiu wskazówek, podanych w punkcie d), i te błędy zmniejszają swój wpływ na dokładność otrzymanego wyniku.

Wobec powyższego możemy powiedzieć, że dokładność po-

miarów szybkości detonacji sposobem Dautriche'a (porównywania) nie jest zbyt duża, lecz ze względów praktycznych wystarczająca.

Dokładność tę uwidocznia tabl. 6, w której są podane wielkości średnich odchyleń serji tych samych pomiarów.

Błąd pomiaru sposobem Dautriche'a według praktycznych danych wynosi około 5% badanej szybkości rozchodzenia się fali detonacji.

Jeżeli chodzi o bardzo dokładne pomiary szybkości fal detonacji materjałów wybuchowych, to do pomiarów tych należy używać odpowiednio czułych czasomierzy.

3. Badania szybkości fal ośrodka wywołanych wybuchem.

Metodą porównywania możemy również badać szybkość rozchodzenia się fal powietrza (ośrodka), wywołanych wybuchem materjału wybuchowego, lub innym źródłem, które działa silnym wstrząsem na otaczające powietrze.

Wiemy z fizyki, że szybkość fali głosowej w atmosferze powietrza przy temperaturze 0^0 C wynosi 333 m/sek.

Szybkość ta w zależności od temperatury i innych własności powietrza jest nieco zmienna. Niektórzy autorzy podają wzór na tę szybkość w zależności od temperatury, a mianowicie:

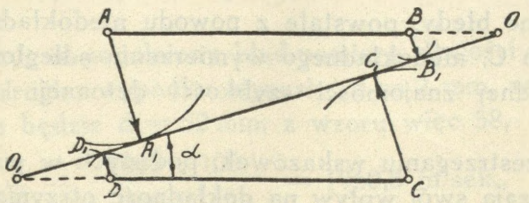
$$c = 330{,}7 + 0{,}66 \cdot t \text{ m/sek.} \qquad (61).$$

Z rozmaitych doświadczeń, jak i z powyższego wzoru widzimy, że temperatura w bardzo małym stopniu wpływa na szybkość fali głosowej. Rozmaite jednak próby i pomiary przeprowadzone przez E. Macha wykazały, że największy wpływ na szybkość fal głosowych posiada siła źródła, która te fale wywołuje.

Znajomość szybkości fal otoczenia wywołanych wybuchem, jest rzeczą ważną, gdyż od tej szybkości zależy siła uderzenia tych fal, a tem samem działanie wybuchu przez wpływ.

Badanie szybkości c_x fali głosowej metodą porównywania możemy wykonać następująco:

na płycie okopconej układamy równolegle dwa lonty AB i CD o znanej szybkości v detonacji i pod każdym względem jednakowe (rys. 50).



Rys. 50.

Jeżeli równocześnie, np. iskrą elektryczną (rys. 48), wywołamy wybuch lontów w punktach A i C, wówczas fale powietrza (ośrodka) powstałe pod wpływem postępującej detonacji lontów AB i CD w miejscu spotkania się, utworzą z pyłu, którym jest okopcona płyta, ostrą linję 00_1, t. j. linję interferencji.

Linja ta jest wynikiem tego, iż w tym samym czasie, w którym fala detonacji obu lontów postępuje od A do O, jak również od C do O_1, elementarne kuliste fale powietrza (głosowe), przejdą od A do A_1, od B do B_1 i t. d., od C do C_1, od D do D_1 i t. d.

Z trójkąta O_1CC_1 otrzymamy: $\sin\alpha = \frac{CC_1}{O_1C}$, gdzie CC_1 jest drogą odbytą przez falę głosową, O_1C zaś przez falę detonacji lontu w tym samym czasie τ; więc $CC_1 = c_x\tau$, a $O_1C = v \cdot \tau$.

Wobec powyższego $\sin\alpha = \frac{c_x \cdot \tau}{v \cdot \tau} = \frac{c_x}{v}$, stąd zaś

$$c_x = v \cdot \sin\alpha \qquad (62)$$

W ten sposób zbadana i obliczona szybkość c_x fali powietrza wywołana wybuchem, jest tylko pewną pośrednią szybkością tej fali, gdyż ruch fali powietrza np. od punktu C do C_1 nie jest jednostajny, jak to przyjęliśmy przy wyprowadzaniu powyższego wzoru, lecz malejący z oddaleniem się od źródła wybuchu. W pobliżu źródła wybuchu szybkość tych fal powietrza zbliża się do szybkości detonacji materjału wybuchowego, a z oddaniem maleje, przechodząc w pewnej odległości do normalnej szybkości głosu.

Powyższy sposób badań zastosował pierwszy raz w 1880 r. E. Mach do pomiarów szybkości detonacji materjałów wybuchowych, przyjmując średnią szybkość fal głosowych 400 m/sek.

Założenie przyjęte przez Macha, że średnia szybkość fal głosowych wynosi 400 m/sek. nie było prawdziwe, dlatego też otrzymane przez niego wyniki dla szybkości fal detonacji materjałów wybuchowych różniły się znacznie od otrzymanych później przy pomocy czułych czasomierzy lub sposobu Dautriche'a (np. dla rtęci piorunującej Mach otrzymał v = 1700 — 2000/sek., a w rzeczywistości szybkość ta wynosi 4000 — 5000 m/sek.).

Szybkość fali powietrza, którego źródłem jest szybki ruch pocisku, E. Mach zbadał przy pomocy urządzenia podanego na rys. 51.

Dwie rury R_1, R_2 połączone są przewodem ABCDEF, gdzie CD oznacza wąską płytkę okopconą.

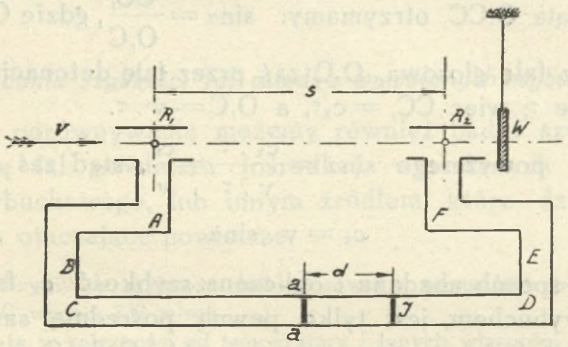
Przez obie rury R_1 i R_2 przelatuje wystrzelony pocisk, którego

szybkość określa szybkościomierz wahadłowy W, umieszczony tuż przy wylocie rury R_2.

Oznaczmy tą szybkość pocisku przez *v*, a odległość rur R_1 i R_2 przez *s*.

Wskutek impulsu w punktach R_1, następnie R_2, powstają fale głosowe, tworzące na okopconej płycie CD w miejscu ich spotkania, ostrą linję interferencji J, w odległości *d* od linji symetrji a — a urządzenia.

Oznaczmy różnicę czasu powstania fal głosowych w punktach R_1 i R_2 przez *t*, przyczem t = s/v.



Rys. 51.

W czasie tym *t* fala głosowa o szybkości c_x z punktu R_1 wykona już drogę $c_x \cdot t = 2d$, zanim powstanie fala, mająca swe źródło w punkcie R_2. Wobec tego obie fale spotkają się w punkcie J, na prawo od a—a w odległości *d*.

Podstawiając w równaniu $c_x \cdot t = 2\ d$, $t = s/v$ otrzymamy:

$$c_x \cdot \frac{s}{v} = 2 \cdot d, \text{ stąd zaś}$$

$$c_x = \frac{2 \cdot d \cdot v}{s} \qquad (63).$$

Jeżeli czas przelotu pocisku *t* zmierzymy czasomierzem, to:

$$c_x = \frac{2 \cdot d}{t} \qquad (64).$$

Powyższym sposobem pomiarowym wykazał Mach, że szybkość fali powietrza (głosowej) pochodzącej od poruszającego się pocisku jest większa od 400 m/sek.

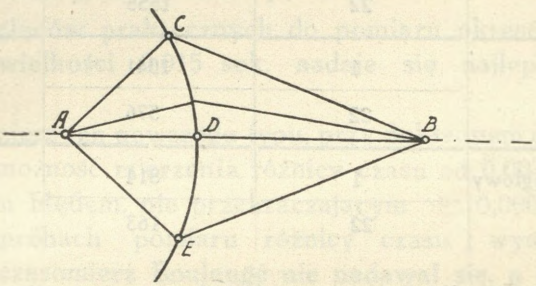
Sposób ten do określenia szybkości fal głosowych nie jest ścisły, gdyż w naszem rozumowaniu przyjęliśmy, że szybkość ta jest

jednostajna, co nie jest zgodne z rzeczywistością, więc i otrzymany wynik z wzoru 63 lub 64 będzie tylko pewną przybliżoną średnią wielkością tej szybkości.

Zależność szybkości fal głosowych od siły wybuchu możemy określić i innym sposobem, np. detonując równocześnie dwie różne dawki materjału wybuchowego, umieszczone w dwóch różnych punktach A i B na okopconej płycie (rys. 52).

Jeżeli ilość materjału wybuchowego w punkcie B jest większa od materjału znajdującego się w punkcie A, linja interferencji będzie linją krzywą CDE.

Z porównania poszczególnych odległości punktów tej krzywej od punktów A i B możemy określić wpływ ilości zdetonowanego materjału wybuchowego na szybkość rozchodzenia się fali ośrodka.



Rys. 52.

Gdy w punktach A i B będzie zdetonowana ta sama ilość i ten sam materjał wybuchowy pod względem swoich własności, linja interferencji będzie prostą symetralną odcinka AB.

Do badań szybkości fal ośrodka, wywołanych wybuchem, można również zastosować sposób H. Dautriche'a.

Jako źródło fali powietrza dr. H. Dautriche stosował 100 g kapsle detonujące, ułożone w odległości 5 cm jedna od drugiej. Kapsle te połączone były lontem detonującym (wzorcowym).

Wybuch każdej poszczególnej kapsli odbywa się przez wpływ działania sąsiedniej.

Przy zastosowaniu kapsli napełnionych dynamitem, których szybkość detonacji wynosi około 7000 m/sek., H. Dautriche otrzymał, że średnia szybkość fali powietrza w odległości 5 cm od źródła wybuchu wynosi 3000 m/sek., dla kapsli zaś wypełnionej szedytem o szybkości detonacji około 3000 m/sek., otrzymał w tych samych warunkach badania 950 m/sek. (H. Brunswig Explosivstoffe ust. 165).

Według przeprowadzonych badań i prób wykonanych przez Comey'a i P. Vieille'a sposobem Dautriche'a wynika, że szybkość

fal ośrodka w którym odbywa się wybuch, zależy również w dużym stopniu od własności chemicznej i gęstości tegoż ośrodka. Dla przykładu podaję w tabl. 9 wynik badań, otrzymany przez P. Vieille'a, przy zastosowaniu wybuchu 0,63 g piorunianu rtęci (dr. H. Brunswig, Explosivstoffe).

TABLICA 9.

Skład chemiczny ośrodka	Ciśnienie w atmosferach	Średnia szybkość fali w odległości 113 cm, w m/sek.	Normalna szybkość fali głosowej w m/sek.
Wodór	1	2104	1319
H_2	22	1555	
Powietrze	1	1041	340
	22	576	
Bezwodnik węglowy	1	814	281
CO_2	22	163	

Inne wpływy działające również do pewnego stopnia na szybkość rozchodzenia się fal otoczenia, pomijam, ponieważ zakres tych badań należy właściwie już do teorji balistyki wewnętrznej.

Badania sposobem porównywania szybkości rozchodzenia się jakichkolwiek fal, których źródłem jest energja detonacji, są tylko przybliżone, chociażby nawet z tego względu, że wogóle dokładność pomiaru tym sposobem jest mała, co zostało już wykazane w 2 ustępie niniejszego paragrafu. Dlatego też celem otrzymania dokładniejszych wyników lepiej jest mierzyć te szybkości czasomierzami, stosując do pomiaru odpowiednie przerywacze prądu, np. przerywacz membranowy, opisany w § 11 ust. 2e rys. 17.

§ 19. Ogólne zestawienie porównawcze.

Z pośród czasomierzy opisanych w poprzednich paragrafach wszystkie są samocechujące, z wyjątkiem czasomierza galwanicznego konstrukcji Pouillet-Helmholtza, który wymaga cechowania (naskalowania) innym czasomierzem.

Dokładność tych czasomierzy jest różna, a z opisanych ro-

dzajów i systemów widzimy, że naprawdę idealnych przyrządów do mierzenia małych okresów czasu nie posiadamy i nie możemy skonstruować.

Do najbardziej dokładnych przyrządów możnaby zaliczyć zegar wahadłowy Helmholtza-Wolffa, jest to jednak przyrząd służący nie do mierzenia czasu, lecz tylko do odmierzania krótkiego czasu, przy sprawdzaniu dokładności różnych czasomierzy.

Celem zobrazowania dokładności ważniejszych rodzajów czasomierzy, podaję wyniki pomiarów.

Przy kilkakrotnym pomiarze okresu czasu wynoszącego około 0,015 sek., najbardziej dokładnym okazał się czasomierz galwanometryczny z kondensatorem, następnie udoskonalony czasomierz Boulengé, iskrowy, kamertonowy i t. d.

Ze względów praktycznych do pomiaru okresów czasu, zbliżonych do wielkości 0,015 sek. nadaje się najlepiej czasomierz Boulengé.

Czasomierz ten nowszego typu, przy dokładnem obchodzeniu się z nim, daje możność mierzenia różnicy czasu od 0,002 do 0,016 sek., z absolutnym błędem, nie przekraczającym ± 0,0001 sek.

Przy próbach pomiaru różnicy czasu wynoszącej około 0,0003 sek. czasomierz Boulengé nie nadawał się, a czasomierz kamertonowy mierzył ten bardzo krótki czas z wielką niedokładnością.

Okazało się, że do pomiarów tak krótkiego czasu nadaje się jeszcze najlepiej czasomierz galwanometryczny z kondensatorem, następnie iskrowy i elektro-optyczny.

Ze względów praktycznych do pomiarów bardzo małych różnic czasu, lepiej jest stosować czasomierze iskrowe, gdyż galwanometryczne z kondensatorem wymagają dokładniejszego obchodzenia się, a przedewszystkiem bardzo wzorowej izolacji wszystkich części.

Z rozdziału II widzimy, że problem badań krótkich okresów czasu, względnie dużych szybkości, został praktycznie rozwiązany, zarówno pod względem dokładności, jak i zastosowania.

Jedyną wadą, jakąby można zarzucić wszystkim wyżej opisanym czasomierzom, jest ich zawiła konstrukcja i prawie niemożliwość stosowania ich do pomiarów w polu, gdyż przyrządy te wymagają odpowiednich pomieszczeń i urządzeń.

W najnowszych czasach zagadnienie to zostało już prawie rozwiązane przez wprowadzenie w życie t. zw. balistografu inż. Dudy, z czasomierzem opisanym w § 15 ust. 2a (rys. 38).

Ponieważ przyrząd ten, jak sama nazwa jego wskazuje, służy

jeszcze do innych badań balistycznych oprócz szybkości pocisków, przeto opis jego będzie podany w części III.

Tutaj tylko wspomnę, że balistografem tym możemy prócz innych, w rozdziale tym nie wymienionych badań, mierzyć szybkość pocisku w dowolnych punktach jego toru, tuż przy wylocie lufy, badać spadek szybkości pocisku w czasie jego ruchu w atmosferze powietrza, mierzyć szybkość końcową pocisku, czego wykonać nie było można żadnym z opisanych wyżej przyrządów, oraz badać szybkość odrzutu lufy lub broni podczas strzału.

Całe urządzenie tego aparatu fotograficznego mieści się w małej skrzynce, a pomiary można nim wykonać przy świetle dziennem.

Dokładność badań szybkości pocisków tym czasomierzem dorównywa dokładności badań czasomierzem iskrowym.

TABLICA 2.

(Inż. W. Doignon: Mémoire descriptif instruction sur l'emploi chronographe de précision le Boulengé — Breger).

Wykonana do pomiarów szybkości pocisków czasomierzem le Boulengé przy rozstawieniu przerywaczy prądu s = 20, 30, 40, 50, 100 i 150 metrów.

Czas oderwania t = 0,15 sek.,
Wysokość oderwania h = 110,37 mm.

TABLICA 2a.

Odległość przerywaczy s w metrach.	20	30	40	50	100
Szybkość mierzona w m/sek.	100—600	150—720	200—800	250—1000	500—1200

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy: 20	30	40	50	Wysokość H w m/m	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy: 20	30	40	50
164,8	600,8								
9	599,8								
165,0	598,8				168,0	570,4			
1	597,8				1	569,5			
2	596,8				2	568,6			
3	595,8				3	567,7			
4	594,8				4	566,9			
5	593,8				5	0			
6	592,9				6	565,1			
7	591,9				7	564,2			
8	590,9				8	563,3			
9	589,9				9	562,5			
166,0	0				169,0	561,6			
1	588,0				1	560,8			
2	587,1				2	559,4			
3	586,1				3	1			
4	585,2				4	558,2			
5	584,2				5	557,4			
6	583,2				6	556,5			
7	582,3				7	555,7			
8	581,4				8	555,8			
9	580,4				9	0			
167,0	579,5				170,0	553,1			
1	578,6				1	552,3			
2	577,7				2	551,4			
3	576,8				3	550,6			
4	575,9				4	549,7			
5	0				5	548,9			
6	574,0				6	1			
7	573,1				7	547,3			
8	572,2				8	546,5			
9	571,3				9	545,7			

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy: 20	30	40	50	Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy: 20	30	40	50
171,0	544,9				174,0	521,7			
1	0				1	0			
2	543,2				2	520,2			
3	542,4				3	519,5			
4	541,6				4	518,8			
5	540,8				5	0			
6	0				6	517,3			
7	539,2				7	516,6			
8	538,5				8	515,9			
9	537,7				9	2			
172,0	536,9				175,0	514,5			
1	1				1	513,7			
2	535,3				2	0			
3	534,5				3	512,3			
4	533,8				4	511,6			
5	533,0				5	510,9			
6	532,2				6	2			
7	531,5				7	509,5			
8	530,7				8	508,8			
9	0				9	1			
173,0	529,2				176,0	507,4			
1	528,4				1	506,7			
2	527,6				2	0			
3	526,9				3	505,3			
4	1				4	504,6			
5	525,3				5	0			
6	524,6				6	503,3			
7	523,9				7	502,6			
8	2				8	501,9			
9	522,4				9	3			

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:			
	20	30	40	50		20	30	40	50
177,0	500,6				180,0	481,3	721,9	962,6	1203,0
1	499,9				1	480,7	0	961,4	1201,5
2	2				2	0	720,1	960,0	1200,0
3	498,6				3	479,4	719,2	958,8	1198,4
4	497,9				4	478,8	718,3	957,6	1196,8
5	2				5	2	717,4	956,4	1195,2
6	496,6				6	477,6	716,5	955,2	1193,7
7	495,9				7	0	715,5	954,0	1192,2
8	2				8	476,4	714,6	952,8	1190,7
9	494,6				9	475,8	713,7	951,6	1189,2
178,0	493,9				181,0	475,2	712,8	950,4	1187,7
1	3				1	474,6	711,9	949,2	1186,2
2	492,6				2	0	0	948,0	1184,7
3	0				3	473,4	710,2	946,8	1183,3
4	491,4				4	472,8	709,3	945,6	1181,9
5	490,7				5	2	708,4	944,4	1180,5
6	1				6	471,6	707,5	943,2	1179,1
7	489,4				7	0	706,6	942,0	1177,7
8	488,8				8	470,4	705,7	940,8	1176,3
9	488,2				9	469,9	704,8	939,7	1174,9
179,0	487,5				182,0	469,3	703,9	938,6	1173,5
1	486,9				1	468,7	0	937,4	1172,0
2	3				2	1	702,2	936,2	1170,5
3	485,6				3	467,5	701,3	935,0	1169,0
4	0				4	0	700,5	934,0	1167,5
5	484,4				5	466,4	699,6	932,8	1166,0
6	483,7				6	465,8	698,8	931,6	1164,5
7	1				7	2	697,9	930,4	1163,0
8	482,5				8	464,7	1	929,3	1161,6
9	481,9				9	1	696,2	928,2	1160,2

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:			
	20	30	40	50		20	30	40	50
183,0	463,5	695,3	927,0	1158,8	186,0	447,2	670,8	894,4	1118,0
1	0	694,5	926,0	1157,3	1	446,7	0	893,4	1116,7
2	462,4	693,7	924,8	1155,9	2	1	669,2	892,2	1115,4
3	461,8	692,8	923,6	1154,5	3	445,6	668,4	891,2	1114,1
4	3	691,9	922,6	1153,1	4	1	667,7	890,2	1112,8
5	460,7	1	921,4	1151,7	5	444,6	666,9	889,2	1111,5
6	2	690,2	920,4	1150,3	6	1	1	888,2	1110,2
7	459,6	689,4	919,2	1148,9	7	443,6	665,3	887,2	1108,9
8	0	688,6	918,0	1147,5	8	0	664,6	886,0	1107,6
9	458,5	687,7	917,0	1146,1	9	442,5	663,8	885,0	1106,3
184,0	457,9	686,9	915,8	1144,7	187,0	0	0	884,0	1105,0
1	4	1	914,8	1143,3	1	441,5	662,3	883,0	1103,7
2	456,8	685,3	913,6	1141,9	2	0	661,5	882,0	1102,4
3	3	684,5	912,6	1140,5	3	440,5	660,7	881,0	1101,1
4	455,7	683,7	911,4	1139,1	4	0	0	880,0	1099,8
5	2	682,9	910,4	1137,7	5	439,5	659,2	879,0	1098,5
6	454,6	1	909,2	1136,4	6	0	658,5	878,0	1097,2
7	1	681,2	908,2	1135,1	7	438,5	657,7	877,0	1096,0
8	453,5	680,4	907,0	1133,8	8	0	0	876,0	1094,8
9	0	679,6	906,0	1132,5	9	437,5	656,2	875,0	1093,6
185,0	452,5	678,7	905,0	1131,2	188,0	0	655,5	874,0	1092,4
1	0	677,9	904,0	1129,8	1	436,5	654,8	873,0	1091,1
2	451,4	1	902,8	1128,4	2	0	0	872,0	1089,8
3	450,9	676,3	901,8	1127,1	3	435,5	653,3	871,0	1088,5
4	4	675,5	900,8	1125,8	4	0	652,5	870,0	1087,2
5	449,8	674,8	899,6	1124,5	5	434,5	651,8	869,0	1085,9
6	3	0	898,6	1123,2	6	0	1	868,0	1084,7
7	448,8	673,2	897,6	1121,9	7	433,5	650,3	867,0	1083,5
8	2	672,4	896,4	1120,6	8	1	649,6	866,2	1082,3
9	447,7	671,6	895,4	1119,3	9	432,6	648,8	865,2	1081,1

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:			
	20	30	40	50		20	30	40	50
189,0	432,1	648,1	864,2	1079,9	192,0	418,1	627,1	836,2	1044,9
1	431,6	647,4	863,2	1078,7	1	417,6	626,4	835,2	1043,8
2	1	646,7	862,2	1077,5	2	2	625,7	834,4	1042,7
3	430,6	0	861,2	1076,3	3	416,7	0	833,4	1041,6
4	1	645,2	860,2	1075,1	4	3	624,4	832,6	1040,5
5	429,7	644,5	859,4	1073,9	5	415,8	623,7	831,6	1049,4
6	2	643,8	858,4	1072,8	6	4	0	830,8	1038,3
7	428,7	0	857,4	1071,7	7	414,9	622,4	829,8	1037,2
8	2	642,3	856,4	1070,6	8	5	621,7	0	1036,1
9	427,8	641,6	855,6	1069,5	9	0	0	828,0	1035,0
190,0	3	640,9	854,6	1068,4	193,0	413,6	620,4	827,2	1033,9
1	426,8	2	853,6	1067,2	1	2	619,8	826,4	1032,8
2	3	639,5	852,6	1066,0	2	412,7	1	825,4	1031,7
3	425,9	638,8	851,8	1064,8	3	3	618,5	824,6	1030,6
4	4	1	850,8	1063,6	4	411,9	617,9	823,8	1029,5
5	424,9	637,4	849,8	1062,4	5	4	3	822,8	1028,4
6	5	636,7	0	1061,2	6	0	616,6	0	1027,3
7	0	0	848,0	1060,0	7	410,6	615,9	821,2	1026,2
8	423,5	635,3	847,0	1058,8	8	1	2	820,2	1025,1
9	0	634,6	846,0	1057,7	9	409,7	614,6	819,4	1024,1
191,0	422,6	633,9	845,2	1056,6	194,0	3	613,9	818,6	1023,1
1	1	2	844,2	1055,4	1	408,8	3	817,6	1022,0
2	421,7	632,5	843,4	1054,2	2	4	612,7	816,8	1020,9
3	2	631,8	842,4	1053,0	3	0	1	0	1019,8
4	420,8	1	841,6	1051,8	4	407,6	611,4	815,2	1018,7
5	3	630,4	840,6	1050,6	5	1	8	814,2	1017,7
6	419,9	629,7	839,8	1049,4	6	406,7	610,1	813,4	1016,7
7	4	1	838,8	1048,2	7	3	609,5	812,6	1015,7
8	0	628,4	0	1047,1	8	405,9	608,8	811,8	1014,7
9	418,5	627,7	837,0	1046,0	9	4	1	810,8	1013,7

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:			
	20	30	40	50		20	30	40	50
195,0	405,0	607,5	810,0	1012,7	198,0	392,9	589,3	785,8	982,2
1	404,6	606,8	809,2	1011,6	1	5	588,7	0	981,2
2	2	2	808,4	1010,5	2	1	1	784,2	980,2
3	403,8	605,6	807,6	1009,4	3	391,7	587,6	783,4	979,3
4	4	0	806,8	1008,3	4	3	0	782,6	978,3
5	0	604,4	0	1007,2	5	390,9	586,4	781,8	977,3
6	402,5	603,7	805,0	1006,1	6	5	585,8	0	976,3
7	1	1	804,2	1005,1	7	2	2	780,4	975,4
8	401,7	602,5	803,4	1004,1	8	389,8	584,6	779,6	974,4
9	3	601,9	802,6	1003,1	9	4	1	778,8	973,5
196,0	400,9	3	801,8	1002,1	199,0	0	583,5	778,0	972,5
1	5	600,7	0	1001,3	1	388,6	582,9	777,2	971,5
2	1	1	800,2	1000,1	2	2	4	776,4	970,6
3	399,7	599,5	799,4	999,1	3	387,9	581,8	775,8	969,7
4	3	598,9	798,6	998,1	4	5	2	0	968,8
5	398,8	3	797,6	997,0	5	1	580,6	774,2	967,8
6	4	597,7	796,8	996,0	6	386,7	1	773,4	966,9
7	8	1	0	995,0	7	3	579,5	772,6	0
8	397,6	596,5	795,2	994,0	8	0	578,9	0	965,1
9	2	595,9	794,4	993,0	9	385,6	5	771,2	964,1
197,0	396,8	3	793,6	992,0	200,0	2	577,9	770,4	963,1
1	4	594,7	792,8	991,1	1	384,8	3	769,6	962,2
2	0	1	0	990,1	2	5	576,7	768,9	961,3
3	395,6	593,5	791,2	989,1	3	1	1	2	960,2
4	2	592,9	790,4	988,1	4	383,7	575,6	767,4	959,4
5	8	3	789,6	987,1	5	3	0	766,6	958,5
6	394,4	591,7	788,8	986,1	6	0	574,5	765,9	957,7
7	0	1	788,0	985,1	7	382,6	573,9	2	956,7
8	393,7	590,5	787,3	984,2	8	2	4	764,5	955,8
9	3	589,9	786,6	983,2	9	381,9	572,8	763,8	954,9

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:			
	20	30	40	50		20	30	40	50
201,0	381,5	572,3	763,0	953,8	204,0	370,9	556,3	741,7	927,3
1	1	571,7	762,3	1	1	5	555,8	0	926,4
2	380,8	2	761,6	952,2	2	2	3	740,3	925,6
3	4	570,6	760,9	951,3	3	369,8	554,7	739,6	924,7
4	1	1	2	950,4	4	5	2	738,9	923,9
5	379,7	569,5	759,4	949,4	5	1	553,7	738,2	0
6	3	0	758,7	948,5	6	368,8	2	737,6	922,2
7	0	568,5	0	947,6	7	5	552,7	736,9	921,3
8	378,6	0	757,3	946,6	8	1	2	2	920,4
9	2	567,4	756,5	945,7	9	367,8	551,7	735,5	919,6
202,0	377,9	566,9	755,8	944,8	205,0	5	2	734,9	918,8
1	5	3	1	0	1	1	550,7	2	0
2	2	565,8	754,4	943,1	2	366,8	550,2	733,6	917,2
3	376,8	2	753,7	942,2	3	5	549,7	732,9	916,4
4	5	564,7	0	941,3	4	1	2	2	915,5
5	1	2	752,3	940,3	5	365,8	548,7	731,6	914,7
6	375,8	563,6	751,6	939,4	6	5	2	730,9	913,9
7	4	1	750,8	938,6	7	1	547,7	2	913,1
8	0	562,6	1	937,7	8	364,8	2	729,6	912,2
9	374,7	0	749,4	936,8	9	5	546,7	728,9	911,4
203,0	3	561,5	748,7	935,8	206,0	1	2	2	910,5
1	0	0	0	0	1	363,8	545,7	727,6	909,7
2	373,6	560,5	747,3	934,2	2	5	2	0	908,8
3	3	559,9	746,6	933,3	3	1	544,7	726,2	908,0
4	372,9	4	745,9	932,4	4	362,8	2	725,6	907,2
5	6	558,9	2	931,6	5	5	543,7	0	906,4
6	2	4	744,5	930,8	6	2	2	724,4	905,6
7	371,9	557,8	743,8	929,9	7	361,8	542,8	723,6	904,8
8	6	3	1	0	8	5	3	0	903,9
9	2	556,8	742,4	928,1	9	2	541,8	722,4	903,1

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy: 20	30	40	50	Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy: 20	30	40	50
207,0	360,9	541,3	721,7	902,2	210,0	351,5	527,2	702,9	878,7
1	5	540,8	0	901,5	1	2	526,7	3	0
2	2	3	720,4	900,8	2	350,9	3	701,7	877,2
3	359,9	539,8	719,8	899,9	3	5	525,8	1	876,5
4	6	4	1	1	4	2	4	700,5	875,7
5	3	538,9	718,5	898,3	5	349,9	524,9	699,9	874,9
6	358,9	4	717,8	897,5	6	6	5	3	2
7	6	537,9	2	896,7	7	3	0	698,7	873'4
8	3	5	716,6	895,9	8	0	523,6	1	872,7
9	0	0	0	1	9	348,7	1	697,5	871,9
208,0	357,7	536,5	715,4	894,2	211,0	4	522,7	696,9	1
1	4	0	714,8	893,5	1	1	2	3	870,4
2	0	535,6	2	892,7	2	347,8	521,8	695,7	869,7
3	356,7	1	713,5	891,9	3	5	3	1	0
4	4	534,6	712,9	1	4	2	520,9	694,5	868,2
5	1	1	3	890,3	5	346,9	4	693,9	867,5
6	355,8	533,7	711,6	889,6	6	7	0	3	866,7
7	5	2	710,9	888,8	7	4	519,6	692,7	1
8	2	532,7	2	0	8	1	1	1	865,3
9	354,8	2	709,5	887,1	9	345,8	518,7	691,5	864,6
209,0	5	531,8	708,9	886,3	212,0	5	2	690,9	863,9
1	2	3	3	885,6	1	2	517,8	3	2
2	353,9	530,9	707,7	884,9	2	344,9	4	689,7	862,4
3	6	4	1	0	3	6	0	1	861,7
4	3	529,9	706,5	883,2	4	3	516,5	688,5	0
5	0	5	705,9	882,5	5	0	0	0	860,2
6	352,7	0	3	881,7	6	343,7	515,6	687,4	859,5
7	4	528,6	704,7	0	7	5	2	686,9	858,8
8	1	1	1	880,2	8	2	514,8	3	1
9	351,8	527,6	703,5	879,5	9	342,9	3	685,7	857,3

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:			
	20	30	40	50		20	30	40	50
213,0	342,6	513,9	685,2	856,5	215,0	336,9	505,4	674,0	842.8
1	3	5	684,6	0	1	7	0	673,4	0
2	0	0	0	855,4	2	4	504,6	672,8	841,3
3	341,7	512,6	683,4	854,6	3	1	2	2	840,7
4	4	1	682,8	853,8	4	335,9	503,8	671,7	839,9
5	2	511,7	3	1	5	6	4	1	3
6	340,9	3	681,7	852,4	6	3	0	670,6	838.6
7	6	510,9	2	851,8	7	0	502,6	1	837,9
8	3	5	680,6	0	8	334,8	1	669,5	1
9	0	0	0	850,3	9	5	501,7	0	836,4
214,0	339,7	509,6	679.5	849,5	216,0	2	3	668,4	835,7
1	5	2	678,9	848,9	1	333,9	500,9	667,9	834.9
2	2	508,8	3	2	2	7	5	4	3
3	338,9	4	677,8	847,6	3	4	1	666,8	833.6
4	6	507,9	2	846,8	4	1	499,7	3	832,9
5	3	5	676,7	2	5	332,9	3	665,8	2
6	1	1	2	845,5	6	6	498,9	2	831,6
7	337,8	506,7	675,6	844,8	7	3	5	664,7	830,9
8	5	8	1	1	8	1	1	2	1
9	2	505,9	674,5	843,4	9	331,8	497,7	663,6	829,5

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy: 20	30	40	50	150	Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy: 20	30	40	50	150
217,0	331,5	497,3	663,1	828,8	2486,3	220,0	323,7	485,6	647,5	809,4	2428,0
1	3	496,9	662,6	1	2484,3	1	5	3	0	808,8	2426,1
2	0	5	1	827,5	2482,4	2	2	484,9	646,5	2	2424,3
3	330,7	1	661,5	826,8	2480,4	3	0	5	0	807,5	2422,4
4	5	495,7	0	1	2478,5	4	322,8	1	645,5	806,9	2420,5
5	2	3	660,5	825,5	2476,5	5	5	483,8	0	3	2418,6
6	329,9	494,9	0	824,7	2474,5	6	3	4	644,5	805,6	2416,8
7	7	5	659,4	1	2472,6	7	0	0	0	0	2414,9
8	4	1	658,9	823,5	2470,6	8	321,8	482,6	643,5	804,4	2413,0
9	2	493,7	3	822,8	2468,7	9	5	3	0	803,7	2411,2
218,0	328,9	3	657,8	0	2466,7	221,0	3	481,9	642,5	1	2409,3
1	6	0	3	821,3	2464,7	1	0	5	0	802,5	2407,5
2	4	492,6	656,8	820,7	2462,8	2	320,8	1	641,5	801,9	2405,6
3	1	2	2	0	2460,8	3	5	480,8	0	3	2403,7
4	327,9	491,8	655,7	819,5	2458,9	4	3	4	640,5	800,7	2401,9
5	6	4	2	3	2456,8	5	0	0	0	1	2400,0
6	3	0	654,7	818,3	2454,9	6	319,8	479,7	639,6	799,5	2398,2
7	1	490,6	2	817,7	2452,9	7	5	3	1	798,8	2396,3
8	326,8	2	653,6	0	2450,9	8	3	478,9	638,6	2	2394,5
9	5	489,8	1	816,3	2449,0	9	0	6	1	797,6	2392,6
219,0	3	5	652,6	815,7	2447,0	222,0	318,8	2	637,6	0	2390,8
1	0	1	1	1	2445,1	1	5	477,8	1	796,0	2389,0
2	325,8	488,7	651,6	814,4	2443,2	2	3	5	636,6	795,8	2387,2
3	5	3	1	813,8	2441,3	3	0	1	2	2	2385,4
4	3	487,9	650,6	2	2439,4	4	317,8	476,7	635,7	794,6	2383,6
5	0	5	1	812,5	2437,5	5	6	4	2	0	2381,7
6	324,8	1	649,5	811,9	2435,6	6	3	0	634,7	793,4	2379,9
7	5	486,8	0	2	2433,7	7	1	475,7	3	792,8	2378,1
8	3	4	648,5	810,6	2431,8	8	316,9	3	633,8	2	2376,3
9	0	0	0	0	2429,9	9	6	474,9	3	791,6	2374,5

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				
	20	30	40	50	150		20	30	40	50	150
223,0	316,4	474,4	632,8	791,0	2372,7	226,0	309,4	464,1	618,7	773,5	2320,4
1	1	2	3	790,4	2370,9	1	2	463,8	2	772,9	2318,7
2	315,9	473,9	631,8	789,8	2369,2	2	308,9	4	617,8	3	2317,0
3	7	5	4	2	2367,4	3	7	1	3	771,8	2315,3
4	4	1	630,9	788,6	2365,7	4	5	462,7	616,9	2	2313,6
5	2	472,8	5	0	2363,9	5	3	4	4	770,7	2311,9
6	0	4	629,9	787,4	2362,2	6	0	1	0	1	2310,2
7	314,7	1	4	786,9	2360,4	7	307,8	461,7	615,5	769,6	2308,5
8	5	471,7	0	3	2358,7	8	6	4	1	0	2306,8
9	2	4	628,5	785,7	2356,9	9	4	1	614,6	768,5	2305,1
224,0	0	0	0	1	2355,2	227,0	1	460,7	2	767,9	2303,4
1	313,8	470,7	627,5	784,5	2353,4	1	306,9	4	613,8	3	2301,7
2	5	3	1	783,9	2351,7	2	7	0	4	766,8	2300,1
3	3	0	626,6	3	2349,9	3	5	459,7	612,9	2	2298,4
4	1	469,6	2	782,7	2348,1	4	2	4	5	765,6	2296,8
5	312,8	3	625,7	1	2346,3	5	0	0	0	1	2295,1
6	6	468,9	2	781,5	2344,6	6	305,8	458,7	611,6	764,5	2293,5
7	4	6	624,8	0	2342,8	7	6	4	1	0	2291,8
8	1	2	3	780,4	2341,0	8	3	0	610,7	763,4	2290,2
9	311,9	467,9	623,8	779,8	2339,3	9	1	457,7	2	762,9	2288,5
225,0	7	5	4	2	2337,5	228,0	304,9	4	609,8	3	2286,9
1	4	2	622,9	778,6	2335,8	1	7	1	4	761,8	2285,3
2	2	466,8	4	1	2334,1	2	5	456,7	608,9	3	2283,6
3	0	5	0	777,5	2332,4	3	3	4	5	760,7	2282,0
4	310,8	1	621,5	776,9	2330,7	4	0	1	0	2	2280,3
5	5	465,8	0	4	2329,0	5	303,8	455,7	607,6	759,6	2278,7
6	3	5	620,5	775,8	2327,2	6	6	4	2	1	2277,1
7	1	1	1	2	2325,5	7	4	1	606,8	758,5	2275,4
8	309,8	464,8	619,6	774,7	2323,8	8	2	454,8	4	0	2273,8
9	6	4	1	1	2322,1	9	0	4	0	757,4	2272,1

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
229,0	302,7	454,1	605,4	756,9		2270,5
1	5	453,8	0	3		2269,1
2	3	5	604,6	755,8		2267,8
3	1	1	2	3		2266,4
4	301,9	452,8	603,8	754,8		2265,1
5	7	5	4	2		2263,7
6	5	2	0	753,7		2262,4
7	2	451,9	602,4	1		2261,0
8	0	5	0	752,6		2259,7
9	300,8	2	601,6	0		2258,3
230,0	6	450,9	2	751,5	1502,9	2257,0
1	4	6	600,8	750,9	1501,8	2255,2
2	2	3	3	4	1500,8	2253,3
3	0	449,9	599,9	749,9	1499,8	2251,5
4	299,8	6	5	4	1498,7	2249,7
5	5	3	1	748,8	1497,6	2247,8
6	3	0	598,7	3	1496,6	2246,0
7	1	448,7	2	747,8	1495,6	2244,2
8	298,9	4	597,8	2	1494,5	2242,4
9	7	1	4	746,7	1493,4	2240,5
231,0	5	447,8	0	2	1492,3	2238,7
1	3	4	596,5	745,7	1491,3	2237,1
2	1	1	1	2	1490,3	2235,6
3	297,9	446,8	595,7	744,7	1489,3	2234,0
4	6	5	3	1	1488,2	2232,4
5	4	2	594,9	743,6	1487,2	2230,8
6	2	445,8	5	1	1486,2	2229,3
7	0	5	1	742,6	1485,2	2227,7
8	296,8	2	593,7	0	1484,1	2226,1
9	6	444,9	2	741,5	1483,0	2224,6

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
232,0	296,4	444,6	592,8	741,0	1481,9	2223,0
1	2	3	4	740,5	0	2221,5
2	0	0	0	0	1480,0	2219,9
3	295,8	443,7	591,6	739,5	1479,0	2218,4
4	6	4	2	0	1478,0	2216,9
5	4	1	590,8	738,5	1477,0	2215,3
6	2	442,8	4	0	1476,0	2213,8
7	0	4	0	737,4	1474,9	2212,3
8	294,8	1	589,6	736,9	1473,8	2210,8
9	6	441,8	2	4	1472,8	2209,2
233,0	4	5	588,7	735,9	1471,7	2207,7
1	2	2	3	4	1470,8	2206,2
2	0	440,9	587,9	734,9	1469,8	2204,7
3	293,8	6	5	4	1468,8	2203,2
4	6	3	1	733,9	1467,8	2201,7
5	4	0	586,7	4	1466,8	2200,2
6	2	439,7	3	732,9	1465,8	2198,7
7	0	4	585,9	4	1464,8	2197,2
8	292,8	1	5	731,9	1463,8	2195,7
9	6	438,8	1	4	1462,8	2194,2
234,0	4	5	584,7	730,9	1461,8	2192,7
1	2	2	3	4	1460,8	2191,2
2	0	437,9	583,9	729,9	1459,8	2189,7
3	291,8	6	5	4	1458,8	2188,2
4	6	3	1	728,9	1457,8	2186,7
5	4	1	582,7	4	1456,8	2185,2
6	2	436,8	3	0	1455,9	2183,8
7	0	5	581,9	227,5	0	2182,3
8	290,8	2	5	0	1454,0	2180,8
9	6	435,9	2	226,5	1453,0	2179,3

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
235,0	290,4	435,6	580,8	726,0	1451,9	2177.8
1	2	3	4	725.5	0	2176,3
2	0	0	0	0	1450,0	2174,9
3	289,8	434,7	579,6	724,5	1449,0	2173,4
4	6	4	2	0	1448,0	2172.0
5	4	1	578,8	723,5	1447,0	2170.5
6	2	433,8	4	1	1446,1	2169,0
7	0	5	0	722,6	1445,2	2167,6
8	288,8	2	577,6	1	1444,2	2166,1
9	6	432,9	2	721,6	1443,2	2164,7
236,0	4	6	576,8	1	1442,2	2163,2
1	2	4	4	720,6	1441,2	2161,8
2	0	1	1	1	1440,2	2160,3
3	287,9	431,8	575,7	719,6	1439.3	2158,9
4	7	5	3	2	1438,3	2157,4
5	5	2	574,9	718,7	1437,4	2156,0
6	3	430,9	6	2	1436,4	2154,6
7	1	6	2	717,7	1435,4	2153,1
8	286,9	3	573,8	2	1434,4	2151.7
9	7	1	4	716,8	1433,5	2150,2
237,0	5	429,8	0	3	1432,5	2148,8
1	3	5	572,6	715,8	1431,6	2147,4
2	1	2	3	3	1430,6	2146,0
3	285,9	428,9	571,9	714,9	1429,7	2144,5
4	8	6	5	4	1428,7	2143,1
5	6	4	1	713,9	1427,7	2141,7
6	4	1	570,7	5	1426,8	2140,3
7	2	427,8	4	0	1425,9	2138.9
8	0	5	0	712,6	0	2137,4
9	284,8	2	569,6	4	1424.1	2136,0

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
238,0	284,6	426,9	569,2	711,6	1423,1	2134,6
1	4	7	568,9	2	1422,3	2133,2
2	3	4	5	710,7	1421,4	2131,8
3	1	1	1	2	1420,4	2130,4
4	283,9	425,8	567,8	709,7	1419,5	2129,0
5	7	5	4	2	1418,5	2127,6
6	5	3	0	708,7	1417,6	2126,3
7	3	0	566,6	3	1416,6	2124,9
8	1	424,7	3	707,8	1415,7	2123,5
9	282,9	4	565,9	3	1414,7	2122,1
234,0	8	1	5	706,9	1413,9	2120,7
1	6	423,9	2	4	1412,8	2119,3
2	4	6	564,8	705,9	1411,8	2118,0
3	2	3	4	5	1410,9	2116,6
4	0	0	0	0	0	2115,2
5	281,8	422,8	563,7	704,6	1409,1	2113,8
6	7	5	3	1	1408,2	2112,5
7	5	2	0	703,7	1407,3	2111,1
8	3	421,9	562,6	2	1406,4	2109,7
9	1	7	2	702,8	1405,5	2108,4
240,0	280,9	4	561,9	3	1404,5	2107,0
1	7	1	5	701,9	1403,6	2105,6
2	6	420,9	1	4	1402,7	2104,3
3	4	6	560,8	0	1401,8	2102,9
4	2	3	4	700,5	1400,9	2101,6
5	0	0	0	1	0	2100,2
6	279,8	419,8	559,7	699,6	1399,1	2098,8
7	7	5	3	2	1398,2	2097,5
8	5	2	0	698,7	1397,3	2096,1
9	3	0	558,6	3	1396,4	2094,8

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
241,0	279,1	418,7	558,3	697,8	1395,5	2093,4
1	278,9	4	557,9	3	1394,6	2092,1
2	8	1	5	696,9	1393,7	2090,7
3	6	417,9	2	5	1392,9	2089,4
4	4	6	556,8	0	0	2088,1
5	2	3	4	695,6	1391,1	2086,7
6	1	1	1	2	1390,1	2085,4
7	277,9	416,8	555,8	694,7	1389,4	2084,1
8	7	5	4	3	1388,5	2082,8
9	5	3	0	693,8	1387,5	2081,4
242,0	3	0	554,7	4	1386,6	2080,1
1	2	415,8	3	692,9	1385,8	2078,8
2	0	5	0	5	0	2077,5
3	276,8	2	553,6	1	1384,2	2076,1
4	6	0	3	691,6	1383,3	2074,8
5	5	414,7	552,9	2	1382,4	2073,5
6	3	4	6	690,7	1381,4	2072,2
7	1	2	2	3	1380,5	2070,9
8	275,9	413,9	551,9	689,9	1379,7	2069,5
9	7	7	5	4	1378,8	2068,2
243,0	6	4	2	0	1378,0	2066,9
1	4	1	550,8	688,6	1377,1	2065,6
2	2	412,9	5	1	1376,2	2064,3
3	1	6	1	687,7	1375,3	2063,0
4	274,9	3	549,8	3	1374,4	2061,7
5	7	1	4	686,8	1373,5	2060,4
6	6	411,8	1	4	1372,7	2059,2
7	4	6	548,7	0	1371,9	2057,9
8	2	3	4	685,5	0	2056,6
9	0	0	1	1	1370,1	2055,3

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
244,0	273,9	410,8	547,7	684,7	1369,3	2054,0
1	7	5	4	3	1368,5	2052,7
2	5	3	1	683,8	1367,6	2051,4
3	4	0	546,7	4	1366,8	2050,2
4	2	409,8	4	0	0	2048,9
5	0	5	0	682,5	1365,1	2047,6
6	272,8	3	545,7	1	1364,2	2046,3
7	7	0	4	681,7	1363,3	2045,0
8	5	408,8	0	2	1362,4	2043,8
9	3	5	544,7	680,8	1361,6	2042,5
245,0	2	3	3	4	1360,7	2041,2
1	0	0	0	0	0	2039,9
2	271,8	407,7	543,7	679,6	1359,2	2038,7
3	7	5	4	2	1358,4	2037,4
4	5	2	0	678,8	1357,6	2036,2
5	3	0	542,7	3	1356,7	2034,9
6	2	406,7	3	677,9	1355,8	2033,6
7	0	5	1	5	0	2032,4
8	270,8	2	541,7	1	1354,2	2031,1
9	7	0	3	676,6	1353,3	2029,9
246,0	5	405,7	0	2	1352,5	2028,6
1	3	5	540,6	675,8	1351,6	2027,4
2	2	2	3	4	1350,8	2026,1
3	0	0	0	0	0	2024,9
4	269,8	404,7	539,6	674,6	1349,1	2023,6
5	7	5	3	2	1348,3	2022,4
6	5	2	0	673,8	1347,5	2021,2
7	3	0	538,7	3	1346,6	2019,9
8	2	403,7	3	672,9	1345,8	2018,7
9	0	5	0	5	0	2017,4

BIBLIOTEKA OFICERSKA
2. PUŁKU STRZELCÓW PODHALAŃSKICH

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
247,0	268,8	403,3	537,7	672,1	1344,2	2016,2
1	7	0	4	671,7	1343,4	2015,0
2	5	402,8	0	3	1342,6	2013,8
3	3	5	536,7	670,9	1341,8	2012,5
4	2	3	4	5	0	2011,3
5	0	0	0	1	1340,2	2010,1
6	267,9	401,8	535,7	669,7	1339,4	2008,9
7	7	5	4	2	1338,5	2007,7
8	5	3	0	668,8	1337,6	2006,4
9	4	0	534,7	4	1336,8	2005,2
248,0	2	400,8	4	0	0	2004,0
1	0	5	1	667,6	1335,2	2002,8
2	266,9	3	533,7	2	1334,4	2001,6
3	7	1	4	666,8	1333,6	2000,4
4	5	399,8	1	4	1332,8	1999,2
5	4	6	532,8	0	0	1998,0
6	2	3	5	665,6	1331,2	1996,8
7	0	1	2	2	1330,4	1995,6
8	265,9	398,9	531,8	664,8	1329,6	1994,4
9	7	7	5	4	1328,8	1993,2
249,0	6	4	2	0	0	1992,0
1	4	2	530,9	663,6	1327,2	1990,8
2	3	397,9	6	2	1326,4	1989,6
3	1	7	2	662,8	1325,6	1988,4
4	0	4	529,9	4	1324,8	1987,2
5	264,8	2	6	0	0	1986,0
6	6	0	3	661,6	1323,2	1984,9
7	5	396,8	0	2	1322,4	1983,7
8	3	5	528,7	660,8	1321,6	1982,5
9	2	3	3	4	1320,8	1981,3

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
250,0	264,0	396,0	528,0	660,0	1320,0	1980,1
1	263,9	395,8	527,7	659,6	1319,2	1975,9
2	7	5	4	2	1318,4	1977,8
3	5	3	1	658,8	1317,6	1976,6
4	4	0	526,8	4	1316,8	1975,4
5	2	394,8	5	0	0	1974,2
6	1	6	1	657,6	1315,2	1973,1
7	262,9	4	525,8	3	1314,5	1971,9
8	8	1	5	656,9	1313,7	1970,7
9	6	393,9	2	5	0	1969,6
251,0	4	7	524,9	1	1312,2	1968,4
1	3	5	6	655,7	1311,4	1967,2
2	1	2	3	3	1310,6	1966,1
3	0	0	0	654,9	1309,8	1964,9
4	261,8	392,8	523,7	6	1	1963,8
5	7	5	4	2	1308,3	1962,6
6	5	3	1	653,8	1307,5	1961,4
7	4	1	522,7	4	1306,7	1960,3
8	2	391,8	4	1	0	1959,1
9	1	6	1	652,7	1305,2	1958,0
252,0	260,9	4	521,8	3	1304,4	1956,8
1	8	1	5	651,9	1303,7	1955,7
2	6	390,9	2	5	1302,9	1954,5
3	5	7	520,9	1	2	1953,4
4	3	5	6	650,7	1301,4	1952,2
5	2	2	3	4	1300,7	1951,1
6	0	0	0	0	0	1950,0
7	259,8	389,8	519,7	649,6	1299,2	1948,9
8	7	5	4	3	1298,5	1947,7
9	5	3	1	648,9	1297,7	1946,5

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
253,0	259,4	389,1	518,8	648,5	1296,9	1945,4
1	2	388,9	5	1	2	1944,3
2	1	7	2	647,7	1295,4	1943,1
3	258,9	5	517,9	3	1294,6	1942,0
4	8	2	6	646,9	1293,8	1940,9
5	7	0	3	6	1	1939,7
6	5	387,7	0	2	1292,4	1938,6
7	4	5	516,7	645,8	1291,6	1937,5
8	2	3	4	5	1290,9	1936,4
9	0	1	1	1	2	1935,2
254,0	257,9	386,8	515,8	644,7	1289,5	1934,1
1	7	6	5	3	1288,7	1933,0
2	6	4	2	0	0	1931,9
3	4	2	514,9	643,6	1287,2	1930,8
4	3	385,9	6	2	1286,4	1929,7
5	2	7	3	642,8	1285,6	1928,6
6	0	5	0	4	1284,8	1927,5
7	256,9	3	513,7	1	1	1926,4
8	7	1	4	641,7	1283,4	1925,3
9	6	384,8	1	3	1282,7	1924,2
255,0	4	6	512,8	0	1	1923,1
1	3	4	5	640,6	1281,3	1922,0
2	1	2	2	2	1280,5	1920,9
3	0	0	511,9	639,9	1279,7	1919,8
4	255,8	383,7	6	5	0	1918,7
5	7	5	4	2	1278,3	1917,5
6	5	3	1	638,8	1277,6	1916,4
7	4	1	510,8	5	1276,9	1915,3
8	2	382,9	5	1	2	1914,2
9	1	6	2	637,8	1275,5	1913,1

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
256,0	255,0	382,4	509,9	637,3	1274,7	1912,0
1	254,8	2	6	0	0	1910,9
2	7	0	3	636,6	1273,3	1909,9
3	5	381,8	0	3	1272,6	1908,8
4	4	6	508,7	635,9	1271,9	1907,7
5	2	3	5	6	2	1906,6
6	1	1	2	2	1270,5	1905,6
7	253,9	380,9	507,9	634,9	1269,8	1904,5
8	8	7	6	5	1	1903,4
9	6	5	3	2	1268,4	1902,4
257,0	5	3	0	633,8	1267,6	1901,3
1	4	1	506,7	4	1266,8	1900,2
2	2	379,8	5	0	0	1899,2
3	1	6	2	632,7	1265,3	1898,1
4	252,9	4	505,9	3	1264,6	1897,1
5	8	2	6	0	0	1895,9
6	7	0	3	631,6	1263,3	1894,9
7	5	378,8	1	3	1262,6	1893,8
8	4	6	504,8	630,9	1261,9	1892,7
9	2	3	5	5	1	1891,7
258,0	1	1	2	2	1260,4	1890,6
1	0	377,9	503,9	629,8	1259,6	1889,5
2	251,8	7	6	4	1258,8	1888,5
3	7	5	3	0	0	1887,4
4	5	3	1	628,7	1257,3	1886,4
5	4	1	502,8	4	1256,7	1885,3
6	2	376,9	5	0	0	1884,3
7	1	7	2	627,7	1255,4	1883,2
8	0	5	501,9	4	1254,8	1882,2
9	250,8	2	7	0	1	1881,1

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
259,0	250,7	376,0	501,4	626,7	1253,5	1880,1
1	6	375,8	1	4	1252,8	1879,1
2	4	6	500,8	0	1	1878,0
3	3	4	5	625,7	1251,4	1877,0
4	1	2	3	4	1250,7	1875,9
5	0	0	0	0	0	1874,9
6	249,9	374,8	499,7	624,6	1249,3	1873,9
7	7	6	4	2	1248,6	1872,8
8	6	4	2	0	1247,8	1871,8
9	4	2	498,9	623,6	1	1870,7
260,0	3	0	6	2	1246,4	1869,7
1	2	373,8	3	622,8	1245,7	1868,2
2	0	5	0	5	0	1867,7
3	248,9	3	497,8	2	1244,4	1866,6
4	7	1	5	621,9	1243,7	1865,6
5	6	372,9	2	6	1	1864,6
6	5	7	0	3	1242,5	1863,6
7	3	5	496,7	620,9	1241,8	1862,6
8	2	3	4	5	1	1861,5
9	0	1	1	1	1240,3	1860,5
261,0	247,9	371,9	495,9	619,8	1239,6	1859,5
1	8	7	6	5	0	1858,5
2	7	5	3	2	1238,3	1857,5
3	5	3	1	618,8	1237,6	1856,5
4	4	1	494,8	5	0	1855,5
5	3	370,9	5	2	1236,3	1854,4
6	1	7	2	617,8	1235,6	1853,4
7	0	5	0	5	0	1852,4
8	246,9	3	493,7	2	1234,3	1851,4
9	7	1	4	616,8	1233,6	1850,4

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
262,0	246,6	369,9	493,2	616,5	1232,9	1849,4
1	5	7	492,9	2	3	1848,4
2	3	5	6	615,8	1231,7	1847,4
3	2	3	4	5	0	1846,4
4	1	1	1	2	1230,4	1845,4
5	245,9	368,9	491,8	614,8	1229,7	1844,4
6	8	7	6	5	0	1843,4
7	7	5	3	2	1228,3	1842,2
8	5	3	0	613,8	1227,6	1841,4
9	4	1	490,8	5	1226,9	1840,4
263,0	2	367,9	5	1	2	1839,4
1	1	7	2	612,8	1225,7	1838,4
2	0	5	0	5	1	1837,4
3	244,9	3	489,7	2	1224,4	1836,4
4	7	1	5	611,8	1223,7	1835,4
5	6	366,9	2	5	1	1834,4
6	5	7	488,9	2	1222,4	1833,5
7	3	5	7	610,8	1221,7	1832,5
8	2	3	4	5	1	1831,5
9	1	1	2	2	1220,4	1830,5
264,0	343,9	365,9	487,9	609,8	1219,7	1829,5
1	8	7	6	5	0	1828,5
2	7	5	4	2	1218,4	1827,6
3	5	3	1	608,8	1217,7	1826,6
4	4	1	486,8	5	1	1825,6
5	3	364,9	6	2	1216,5	1824,6
6	2	7	3	607,9	1215,9	1823,7
7	0	5	1	5	2	1822,7
8	242,9	3	485,8	2	1214,5	1821,7
9	8	1	5	606,9	1213,9	1820,8

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
265,0	242,6	363,9	485,3	606,5	1213,2	1819,8
1	5	7	0	2	1212,6	1818,8
2	4	6	483,8	0	0	1817,9
3	3	4	5	605,7	1211,3	1816,9
4	1	2	2	3	1210,6	0
5	0	0	0	0	0	1815,0
6	241,9	362,8	483,7	604,7	1209,3	1814,0
7	7	6	4	3	1208,6	1813,1
8	6	4	2	0	0	1812,1
9	5	2	0	603,7	1207,4	1811,2
266,0	4	0	482,7	4	1206,7	1810,2
1	2	361,8	5	0	0	1809,2
2	1	7	2	602,8	1205,4	1808,3
3	0	5	0	5	1204,9	1807,3
4	240,8	3	481,7	2	2	1806,4
5	7	1	4	601,8	1203,5	1805,4
6	6	360,9	2	5	1202,9	1804,4
7	5	7	480,9	2	2	1803,5
8	3	5	7	600,8	1201,6	1802,5
9	2	3	4	5	1200,9	1801,6
267,0	1	1	2	2	5	1800,6
1	0	359,9	479,9	599,9	1199,9	1799,7
2	239,8	8	7	6	3	1798,7
3	7	6	4	3	1198,6	1797,8
4	6	4	2	0	0	1796,9
5	5	2	478,9	598,7	1197,4	1795,9
6	3	0	7	3	1196,5	0
7	2	358,8	4	0	0	1794,1
8	1	6	2	597,7	1195,5	1793,2
9	0	4	477,9	4	0	1792,2

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
268,0	238,8	358,3	477,7	597,1	1194,2	1791,3
1	7	1	4	596,8	1193,6	1790,4
2	6	357,9	2	5	1	1789,4
3	5	7	476,9	3	1192,6	1788,5
4	3	5	7	595,8	1191,9	1787,6
5	2	3	4	5	3	1786,5
6	1	1	2	2	1190,7	1785,7
7	0	0	475,9	0	1	1784,8
8	237,8	356,8	7	594,7	1189,5	1783,9
9	7	6	5	3	1188,8	1782,9
269,0	6	4	2	0	2	0
1	5	2	0	593,7	1187,6	1781,1
2	4	0	474,7	4	0	1780,2
3	2	355,9	5	1	1186,3	1779,2
4	1	7	2	592,8	1185,7	1778,3
5	0	5	0	5	0	1777,4
6	236,9	3	473,7	2	1184,4	1776,5
7	7	1	5	591,8	1183,8	1775,6
8	6	354,9	2	5	2	1774,6
9	5	8	0	2	1182,5	1773,7
270,0	4	6	472,8	0	0	1772,8
1	3	4	5	590,7	1181,5	5
2	1	2	3	3	1180,8	1
3	0	0	0	0	1	1771,8
4	235,9	353,8	471,8	589,7	1179,5	4
5	8	7	6	4	1178,9	1
6	7	6	3	1	3	1770,8
7	5	3	0	588,8	1177,7	4
8	4	1	470,8	5	1	1
9	3	352,9	6	2	1176,5	1769,7

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
271,0	235,2	352,8	470,4	588,0	1176,0	1769,4
1	1	6	1	587,7	1175,4	1767,9
2	234,9	4	469,9	3	1174,7	1766,5
3	8	2	6	0	1	1765,0
4	7	0	4	586,7	1173,5	1763,6
5	6	351,9	2	5	1	1762,1
6	5	7	468,9	2	1172,4	1760,6
7	3	5	7	285,8	1171,7	1759,2
8	2	3	4	5	1	1757,7
9	1	2	2	3	1170,6	1756,3
272,0	0	0	0	0	0	1754,8
1	233,9	350,8	467,7	584,7	1169,5	1753,9
2	7	6	5	4	1168,9	0
3	6	4	3	1	2	1752,2
4	5	3	0	583,8	1167,7	1751,3
5	4	1	466,8	5	1	1750,4
6	3	349,9	6	2	1166,5	1749,5
7	2	7	3	582,9	1165,9	1748,6
8	0	5	1	6	3	1747,8
9	232,9	4	465,9	3	1164,6	1746,9
273,0	8	2	6	0	0	0
1	7	0	4	581,7	1163,5	1745,1
2	6	348,9	2	4	1162,9	1744,3
3	5	7	464,9	1	3	1743,4
4	3	5	7	580,8	1161,7	1742,5
5	2	3	4	5	1	1741,6
6	1	2	2	3	1160,6	1740,8
7	0	0	0	0	1160,0	1739,9
8	231,9	347,9	463,8	579,7	1159,4	0
9	8	7	5	4	1158,8	1738,2

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
274,0	231,6	347,5	463,3	579,1	1158,1	1737,3
1	5	3	1	578,8	1157,5	1736,4
2	4	1	462,8	5	1157,0	1735,6
3	3	346,9	6	2	1156,4	1734,7
4	2	8	4	0	1155,8	1733,8
5	1	6	1	577,7	3	1732,9
6	230,9	4	461,9	3	1154,7	1
7	8	3	7	1	1	1731,2
8	7	1	4	576,8	1153,6	1730,3
9	6	345,9	2	5	0	1729,5
275,0	5	7	0	2	1152,5	1728,6
1	4	6	460,8	0	1151,9	1727,7
2	3	4	5	575,7	3	1726,9
3	1	2	3	4	1150,7	0
4	0	1	1	1	2	1725,2
5	229,9	344,9	459,8	574,8	1149,6	1724,3
6	8	7	6	5	1	1723,5
7	7	5	4	2	1148,5	1722,6
8	6	4	2	0	0	1721,8
9	5	2	458,9	573,7	1147,4	1720,9
276,0	4	0	7	4	1146,8	1
1	2	343,9	5	1	2	1719,2
2	1	7	3	572,8	1145,6	1718,3
3	0	5	0	5	1	1717,5
4	228,9	4	457,8	3	1144,6	1716,7
5	8	2	6	0	0	1715,8
6	7	0	4	571,7	1143,4	0
7	6	342,8	1	4	1142,8	1714,2
8	5	7	456,9	1	2	1713,4
9	3	5	7	570,8	1141,7	1712,5

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
277,0	228,2	342,3	456,5	570,5	1141,1	1711,7
1	1	2	2	3	1140,6	1710,9
2	0	0	0	0	0	0
3	227,9	341,8	455,8	569,7	1139,5	1709,2
4	8	7	6	5	0	1708,4
5	7	5	3	2	1138,5	1707,5
6	6	3	1	568,9	1137,9	1706,7
7	5	2	454,9	6	3	1705,9
8	3	0	7	3	1136,7	1
9	2	340,8	5	0	1	1704,2
278,0	1	7	2	567,8	1135,6	1703,4
1	0	5	0	5	1	1702,6
2	226,9	3	453,8	2	1134,6	1701,7
3	8	2	6	0	1	1700,9
4	7	0	4	566,7	1133,5	1
5	6	339,9	1	4	0	1699,2
6	5	7	452,9	1	1132,4	1698,4
7	3	5	7	565,8	1131,8	1697,6
8	2	4	5	6	3	1696,8
9	1	2	3	3	1130,7	1695,9
279,0	0	0	0	0	1	1
1	225,9	338,9	451,8	564,8	1129,6	1694,2
2	8	7	6	5	1	1693,4
3	7	5	4	2	1128,5	1692,6
4	6	4	2	0	1127,9	1691,8
5	5	2	0	563,7	4	0
6	4	1	450,7	5	1126,9	1690,2
7	3	337,9	5	2	4	1689,4
8	2	7	3	562,9	1125,8	1788,6
9	0	6	1	6	2	1687,8

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
280,0	224,9	337,4	449,9	562,3	1124,7	1687,0
1	8	2	6	0	1	1686,2
2	7	1	4	561,8	1123,6	1685,4
3	6	336,9	2	5	0	1684,6
4	5	8	0	3	1122,5	1683,7
5	4	6	448,8	0	1121,9	1682,9
6	3	4	6	560,7	4	1
7	2	3	4	5	1120,9	1681,3
8	1	1	2	2	4	1680,5
9	0	0	447,9	0	1119,9	1679,7
281,0	223,9	335,8	7	559,7	3	1678,9
1	8	6	5	4	1118,8	1
2	7	5	3	1	2	1677,3
3	5	3	1	558,8	1117,6	1676,5
4	4	2	446,9	6	1	1675,7
5	3	0	7	3	1116,6	1674,9
6	2	334,8	4	0	1	2
7	1	7	2	557,8	1115,5	1673,4
8	0	5	0	5	0	1672,3
9	222,9	4	445,8	3	1114,5	1671,8
282,0	8	2	6	0	1	0
1	7	0	4	556,7	1113,6	1670,2
2	6	333,9	2	5	0	1669,4
3	5	7	0	2	1112,5	1668,6
4	4	6	444,8	0	1111,9	1667,8
5	3	4	5	555,7	4	0
6	2	2	3	4	1110,9	1666,3
7	1	1	1	2	4	1665,5
8	0	332,9	443,9	554,9	1109,9	1664,7
9	221,9	8	7	7	4	1663,9

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
283,0	221,7	332,6	443,5	554,4	1108,7	1663,1
1	6	5	3	1	2	1662,3
2	5	3	1	553,8	1107,7	1661,5
3	4	2	442,9	6	2	1660,8
4	3	0	7	3	1106,6	0
5	2	331,8	5	0	1	1659,2
6	1	7	3	552,8	1105,6	1658,4
7	0	5	0	5	0	1657,6
8	220,9	4	441,8	3	1104,5	1656,9
9	8	2	6	0	1	1
284,0	7	1	4	551,8	1103,6	1655,3
1	6	330,9	2	5	0	1654,5
2	5	8	0	3	1102,5	1653,8
3	4	6	440,8	0	1101,9	0
4	3	5	6	550,8	5	1652,2
5	2	3	4	5	0	1651,4
6	1	1	2	2	1100,5	1650,7
7	0	0	0	0	0	1649,9
8	219,9	329,8	439,7	549,7	1099,5	1
9	8	6	5	4	1098,9	1648,4
285,0	7	5	3	2	4	1647,6
1	6	3	1	548,9	1097,9	1646,8
2	5	2	438,9	7	5	1
3	4	1	7	5	0	1645,3
4	3	328,9	5	2	1096,4	1644,6
5	2	8	3	0	0	1643,8
6	1	6	1	547,7	1095,4	0
7	0	5	437,9	5	1094,9	1642,3
8	218,9	3	3	2	4	1641,5
9	8	2	2	0	1093,9	1640,8

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
286,0	218,7	328,0	437,3	546,7	1093,4	1640,0
1	6	327,9	1	5	1092,9	1639,7
2	5	7	436,9	2	4	3
3	4	6	7	0	0	1638,9
4	3	4	5	545,7	1091,5	5
5	2	3	3	5	0	1
6	1	1	1	2	1090,5	1637,8
7	0	326,9	435,9	544,9	0	4
8	217,9	8	7	7	1089,5	0
9	8	7	5	5	0	1636,7
287,0	7	5	3	2	1088,5	3
1	6	4	1	0	0	1635,2
2	5	2	434,9	543,7	1087,5	1634,2
3	4	1	7	5	0	1633,1
4	3	325,9	5	2	1086,5	1632,1
5	2	8	3	0	0	1631,0
6	1	7	1	542,8	1085,5	1630,0
7	0	5	433,9	5	0	1628,9
8	216,9	4	7	2	1084,5	1627,9
9	8	2	5	0	0	1626,8
288,0	7	1	3	541,8	1083,5	1625,8
1	6	324,9	1	5	0	0
2	5	7	432,9	2	1082,5	1624,2
3	4	6	7	0	0	1623,4
4	3	4	5	540,7	1081,5	1622,6
5	2	3	3	5	0	1621,7
6	1	1	2	2	1080,5	1620,9
7	0	0	0	0	0	1
8	215,9	323,8	431,8	539,7	1079,5	1619,3
9	8	7	6	5	0	1618,5

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
289,0	215,7	323,5	431,4	539,2	1078,5	1617,7
1	6	4	2	0	0	0
2	5	3	0	538,8	1077,6	1616,2
3	4	1	430,8	5	1	1615,5
4	3	0	6	3	1076,5	1614,8
5	2	322,8	4	0	0	0
6	1	7	2	537,8	1075,5	1613,3
7	0	5	0	5	0	1612,6
8	214,9	4	429,8	3	1074,6	1611,9
9	8	3	6	1	0	1
290,0	7	1	4	536,8	1073,6	1610,4
1	6	0	3	6	1	1609,7
2	5	321,8	1	3	1072,6	0
3	4	7	428,9	1	1	1608,2
4	3	5	7	535,8	1071,7	1607,5
5	2	4	5	6	2	1606,8
6	1	2	3	3	1070,7	0
7	1	1	1	2	2	1605,4
8	0	320,9	427,9	534,9	1069,7	1604,6
9	213,9	8	7	7	3	1603,9
291,0	8	6	5	4	1068,8	2
1	7	5	4	2	4	1602,3
2	6	4	2	0	1067,9	1601,8
3	5	2	0	533,7	4	1
4	4	1	426,8	5	1066,9	1600,4
5	3	319,9	6	2	4	1599,6
6	2	8	4	0	1065,9	1598,9
7	1	6	2	532,7	5	2
8	0	5	0	5	0	1597,5
9	212,9	4	425,8	3	1064,5	1596,8

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
292,0	212,8	319,2	425,6	532,0	1064,1	1596,1
1	7	1	5	531,8	1063,6	1595,4
2	6	318,9	3	5	1	1594,7
3	5	8	1	3	1062,6	0
4	4	6	424,9	0	2	1593,2
5	3	5	7	530,8	1061,7	1592,5
6	2	3	5	6	3	1591,8
7	2	2	3	4	1060,7	1
8	1	1	1	2	3	1590,4
9	0	317,9	423,9	529,9	1059,8	1589,7
293,0	211,9	8	7	7	3	0
1	8	6	6	4	1058,9	1588,3
2	7	5	4	2	4	1587,6
3	6	4	2	0	1057,9	1586,9
4	5	2	0	528,7	5	2
5	4	1	422,8	5	0	1585,5
6	3	0	6	3	1056,6	1584,8
7	2	316,8	4	0	1	1
8	1	7	2	527,8	1055,6	1583,4
9	0	5	1	5	1	1582,7
294,0	210,9	4	421,9	3	1054,7	0
1	8	3	7	1	2	1581,3
2	8	1	5	526,9	1053,7	1580,6
3	7	0	3	7	3	1579,9
4	6	315,9	1	5	1052,8	2
5	5	7	0	2	4	1578,5
6	4	6	420,8	0	1051,9	1577,9
7	3	4	6	525,7	5	2
8	2	3	4	5	0	1576,5
9	1	2	2	3	1050,5	1575,8

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
295,0	210,0	315,0	420,0	525,0	1050,1	1575,1
1	209,9	314,9	419,9	524,8	1049,7	1574,4
2	8	8	7	6	2	1573,7
3	7	6	5	3	1048,7	1573,1
4	6	5	3	1	3	1572,4
5	6	3	1	523,9	1047,8	1571,7
6	5	2	0	7	3	1571,0
7	4	1	418,8	5	1046,8	1570,3
8	3	313,9	6	2	4	1569,7
9	2	8	4	0	0	1569,0
296,0	1	7	2	522,8	1045,5	1568,3
1	0	6	0	6	1	1567,6
2	208,9	4	417,9	3	1044,7	1566,9
3	8	3	7	1	2	1566,3
4	7	2	5	521,9	1043,7	1565,6
5	7	0	3	7	3	1564,9
6	6	312,8	1	4	1042,8	2
7	5	7	416,9	2	3	1563,5
8	4	6	8	0	1041,9	1562,9
9	3	4	6	520,7	5	2
297,0	2	3	4	5	0	1561,5
1	1	2	2	3	1040,6	1560,8
2	0	0	0	0	1	2
3	207,9	311,9	415,9	519,8	1039,7	1559,5
4	8	8	7	6	3	1558,8
5	8	6	5	4	1038,8	1
6	7	5	3	2	4	1557,5
7	6	3	2	518,9	0	1556,8
8	5	2	0	7	1037,5	1
9	4	1	414,8	5	1	1555,5

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
298,0	207,3	311,0	414,6	518,3	1036,7	1554,8
1	2	310,8	4	0	2	1
2	1	7	3	517,8	1035,7	1553,5
3	0	6	1	6	2	1552,8
4	0	4	413,9	4	1034,7	2
5	206,9	3	7	2	3	1551,5
6	8	2	6	0	1033,9	1550,8
7	7	0	4	516,7	4	2
8	6	309,9	2	5	0	1549,5
9	5	7	0	2	1032,5	1548,9
299,0	4	6	412,8	0	1	2
1	3	4	7	515,8	1031,6	1547,5
2	3	3	5	6	2	1546,9
3	2	2	4	4	1030,7	2
4	1	1	2	2	3	1545,6
5	0	0	0	0	1029,9	1544,9
6	205,9	308,9	411,8	514,8	5	2
7	8	8	6	6	1	1543,6
8	7	6	5	3	1028,5	1542,9
9	6	5	3	1	1	3
300,0	5	3	1	513,8	1027,7	1541,6
1	5	2	410,9	6	2	1540,9
2	4	1	8	4	1026,7	3
3	3	307,9	6	2	3	1539,6
4	2	8	4	0	1025,9	0
5	1	7	2	512,8	5	1538,3
6	0	6	1	6	0	1537,7
7	204,9	4	409,9	4	1024,5	0
8	9	3	7	2	0	1536,4
9	8	2	5	0	1023,7	1535,7

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
301,0	204,7	307,0	409,4	511,7	1023,3	1535,1
1	6	306,9	2	5	1022,9	1534,5
2	5	8	0	2	4	1533,8
3	4	6	408,8	0	0	2
4	3	5	7	510,8	1021,6	1532,5
5	3	4	5	6	2	1531,9
6	2	3	3	4	1020,8	3
7	1	1	2	2	4	1530,6
8	0	0	0	0	0	0
9	203,9	305,9	407,8	509,8	1019,6	1529,3
302,0	8	7	6	6	2	1528,7
1	7	6	5	4	1018,8	1
2	7	5	3	2	4	1527,4
3	6	4	1	0	1017,9	1526,8
4	5	2	0	508,7	4	1
5	4	1	406,8	5	0	1525,5
6	3	0	6	3	1016,6	1524,9
7	2	304,8	5	0	1	2
8	1	7	3	507,8	1015,7	1523,6
9	1	6	1	6	3	1522,9
303,0	0	5	0	4	1014,9	3
1	202,9	3	405,8	2	4	1521,7
2	8	2	6	0	0	0
3	7	1	4	506,8	1013,6	1520,4
4	6	0	3	6	2	1519,8
5	6	303,8	1	4	1012,8	1
6	5	7	404,9	2	4	1518,5
7	4	6	8	0	0	1517,9
8	3	5	6	505,8	1011,6	3
9	2	3	4	5	0	1516,6

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
304,0	202,1	303,2	404,3	505,3	1010,7	1516,0
1	1	1	1	1	3	1515,4
2	0	0	403,9	0	1009,9	1514,8
3	201,9	302,8	8	504,7	5	1
4	8	7	6	5	0	1513,5
5	7	6	4	3	1008,6	1512,9
6	6	5	3	1	1	3
7	6	3	1	503,9	1007,7	1511,7
8	5	2	402,9	7	4	0
9	4	1	8	5	1006,9	1510,4
305,0	3	0	6	3	5	1509,8
1	2	301,8	4	0	1	2
2	1	7	3	502,8	1005,7	1508,6
3	1	6	1	6	3	1507,9
4	0	5	401,9	4	1004,9	3
5	200,9	3	8	2	4	1506,7
6	8	2	6	0	0	1
7	7	1	5	501,8	1003,6	1505,5
8	6	0	3	6	2	1504,8
9	6	300,8	2	4	1002,8	2
306,0	5	7	0	2	4	1503,6
1	4	6	400,8	0	0	0
2	3	5	6	500,8	1001,6	1502,4
3	2	4	5	6	2	1501,8
4	2	2	3	4	1000,8	2
5	1	1	1	2	4	1500,5
6	0	0	0	0	0	1499,9
7	199,9	299,9	399,8	499,8	999,6	3
8	9	7	6	6	2	1498,7
9	9	6	5	4	998,7	1

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
307,0	199,6	299,5	399,3	499,2	998,3	1497,5
1	6	4	2	0	997,9	1496,9
2	5	3	0	498,8	5	3
3	4	1	398,8	6	1	1495,7
4	4	0	7	4	996,7	1
5	3	298,9	5	2	3	1494,4
6	2	8	4	0	995,9	1493,8
7	1	6	2	497,8	5	2
8	0	5	0	6	1	1492,6
9	198,9	4	397,9	4	994,7	0
308,0	9	3	7	2	3	1491,4
1	8	2	5	496,8	993,7	1490,8
2	7	1	4	6	3	2
3	6	297,9	2	4	992,9	1489,6
4	5	8	0	2	5	0
5	5	7	396,9	0	1	1488,4
6	4	6	7	495,8	991,7	1487,8
7	3	5	5	6	3	2
8	2	3	4	4	990,9	1486,6
9	1	2	2	2	5	0
309,0	0	1	1	1	1	1485,4
1	197,9	0	395,9	494,9	989,8	1484,8
2	9	296,8	8	8	6	2
3	8	7	6	6	2	1483,6
4	7	6	5	4	988,8	0
5	6	5	3	2	4	1482,4
6	6	4	2	0	0	1481,8
7	5	2	0	493,8	987,6	2
8	4	1	394,8	6	2	1480,6
9	4	0	7	4	986,8	0

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
310,0	197,3	295,9	394,5	493,2	986,4	1479,4
1	2	8	4	0	986,0	1478,8
2	1	7	2	492,8	985,6	2
3	0	5	0	6	2	1477,7
4	196,9	4	393,9	4	984,8	1
5	8	3	7	2	4	1476,5
6	8	2	6	0	0	1475,9
7	7	1	4	491,8	983,6	3
8	6	0	3	6	2	1474,8
9	5	294,8	1	4	982,8	2
311,0	5	7	0	2	4	1473,6
1	4	6	392,8	0	0	0
2	3	5	7	490,9	981,7	1472,4
3	3	4	5	7	3	1471,8
4	2	3	4	5	980,9	2
5	1	1	2	3	5	1470,6
6	1	0	1	1	1	1
7	0	293,9	391,9	489,9	979,7	1469,5
8	195,9	8	8	7	3	1468,9
9	8	7	6	5	978,9	3
312,0	7	6	4	3	5	1467,7
1	6	4	2	1	1	1
2	5	3	1	488,9	977,7	1466,6
3	5	2	390,9	7	3	0
4	4	1	8	5	976,9	1465,4
5	3	0	6	3	5	1464,8
6	3	292,9	5	1	1	3
7	2	7	3	487,9	975,7	1463,7
8	1	6	2	8	4	1
9	0	5	0	6	0	1462,6

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
313,0	194,9	292,4	389,9	487,4	974,7	1462,0
1	8	3	7	2	3	1461,4
2	8	2	6	0	973,9	1460,8
3	7	1	4	486,8	5	3
4	6	291,9	2	6	1	1459,7
5	6	8	1	4	972,7	1
6	5	7	388,9	2	3	1468,5
7	4	6	8	0	0	1457,9
8	3	5	6	485,8	971,6	4
9	2	4	5	6	2	1456,8
314,0	2	3	3	4	970,8	2
1	1	1	2	2	4	1455,6
2	0	0	0	0	0	1
3	193,9	290,9	387,9	484,9	969,6	1454,5
4	8	8	7	7	3	1453,9
5	8	7	6	5	968,9	3
6	7	6	4	3	5	1452,8
7	7	4	3	1	1	2
8	6	3	1	483,9	967,7	1451,6
9	5	2	0	8	5	1
315,0	4	1	386,8	6	3	1450,5
1	4	0	7	4	966,7	1449,9
2	3	289,9	5	2	3	4
3	2	8	4	0	965,9	1448,8
4	1	7	2	482,8	5	3
5	1	6	1	6	1	1447,7
6	0	4	385,9	4	964,7	2
7	192,9	3	8	2	3	1446,6
8	8	2	6	0	963,9	1
9	8	1	5	481,9	7	1445,5

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
316,0	192,7	289,0	385,3	481,7	963,3	1445,0
1	6	288,9	2	5	962,9	1444,4
2	5	8	0	3	6	1443,9
3	5	7	384,9	1	3	3
4	4	6	7	480,9	0	1442,8
5	3	4	6	8	961,6	2
6	2	3	4	6	2	1441,6
7	2	2	3	4	960,8	1
8	1	1	1	2	4	1440,5
9	0	0	0	0	0	0
317,0	191,9	287,9	383,8	479,8	959,6	1439,4
1	9	8	7	6	2	1438,8
2	8	7	5	4	958,8	3
3	7	6	4	2	4	1437,7
4	6	4	2	0	0	2
5	6	3	1	478,9	957,8	1436,6
6	5	2	382,9	7	4	1
7	4	1	8	5	0	1435,5
8	3	0	6	3	956,6	0
9	3	286,9	5	1	2	1434,4
318,0	2	8	3	477,8	955,8	1433,9
1	1	7	2	7	5	3
2	0	6	0	5	1	1332,8
3	0	5	381,9	3	954,8	2
4	190,9	3	7	2	4	1431,7
5	8	2	6	0	0	1
6	7	1	4	476,8	953,7	1430,6
7	6	0	3	6	3	0
8	6	285,9	1	4	952,9	1429,5
9	5	8	0	2	5	1428,9

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
319,0	190,4	285,7	380,8	476,0	952,1	1428,4
1	4	6	7	475,8	951,7	1427,9
2	3	5	6	7	4	3
3	2	4	4	5	1	1426,8
4	2	3	3	4	950,8	2
5	1	1	2	2	4	1425,7
6	1	0	1	1	1	2
7	0	284,9	379,9	474,9	949,8	1424,6
8	189,9	8	8	8	5	1
9	8	7	6	6	1	1423,5
320,0	8	6	5	4	948,7	0
1	7	5	4	2	3	1422,5
2	6	4	2	0	0	1421,9
3	6	3	1	473,9	947,6	4
4	5	2	378,9	7	3	1420,8
5	4	1	8	5	0	3
6	3	0	6	3	946,7	1419,8
7	3	283,9	5	1	3	2
8	2	7	3	472,9	945,9	1418,7
9	1	6	2	8	5	1
321,0	0	5	0	6	1	1417,6
1	183,9	4	377,9	4	944,8	1
2	8	3	7	2	5	1416,5
3	8	2	6	0	1	0
4	7	1	4	471,8	943,7	1415,5
5	7	0	3	6	4	1414,9
6	6	282,9	2	5	1	4
7	5	8	0	3	942,7	1413,9
8	5	7	376,9	2	4	4
9	4	6	8	0	0	1412,8

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
322,0	188,3	282,5	376,6	470,8	941,6	1412,3
1	3	4	5	6	3	1411,8
2	2	3	3	4	940,9	2
3	1	2	2	2	5	1410,7
4	0	0	0	0	1	2
5	0	281,9	375,9	469,9	939,9	1409,6
6	187,9	8	8	8	6	1
7	8	7	6	6	2	1408,6
8	8	6	5	4	938,8	1
9	7	5	4	2	4	1407,5
323,0	6	4	2	0	1	0
1	6	3	1	468,9	937,8	1406,5
2	5	2	374,9	7	4	0
3	4	1	8	6	0	1405,4
4	4	0	7	4	936,7	1404,9
5	3	280,9	5	2	4	4
6	2	8	4	0	1	1403,9
7	1	7	2	467,8	935,7	4
8	1	6	1	6	3	1402,8
9	0	5	0	5	0	3
324,0	186,9	4	373,8	3	934,6	1401,8
1	9	3	7	2	3	3
2	8	2	6	0	0	1400,8
3	7	1	4	466,8	933,6	3
4	7	0	3	6	3	1399,8
5	6	279,9	2	5	932,9	2
6	5	7	0	3	5	1398,7
7	5	6	372,9	1	2	2
8	4	5	7	465,9	931,9	1397,7
9	3	4	6	7	5	2

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
325,0	186,2	279,3	372,4	465,6	931,1	1396,7
1	2	2	3	4	930,8	2
2	1	1	2	2	4	1395,7
3	0	0	0	0	0	1
4	0	278,9	371,9	464,9	929,7	1394,6
5	185,9	8	8	8	4	1
6	8	7	6	6	1	1393,6
7	7	6	5	4	928,7	1
8	7	5	4	2	3	1392,5
9	6	4	2	0	0	0
326,0	5	3	1	463,9	927,7	1391,5
1	5	2	370,9	7	3	0
2	4	1	8	5	926,9	1390,5
3	4	0	7	3	6	0
4	3	277,9	5	2	3	1389,5
5	2	8	4	0	0	0
6	1	7	2	462,8	925,6	1388,5
7	1	6	1	7	3	0
8	0	5	0	5	0	1387,5
9	0	4	369,9	4	924,7	0
327,0	184,9	3	7	2	3	1386,5
1	8	2	6	0	0	0
2	8	1	5	461,9	923,7	1385,5
3	7	0	3	7	3	0
4	6	276,9	2	5	0	1384,5
5	6	8	1	4	922,7	0
6	5	7	368,9	2	4	1383,4
7	4	6	8	0	0	1382,9
8	4	5	7	460,9	921,7	4
9	3	4	5	7	4	1381,9

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
328,0	184,2	276,3	368,4	460,5	921,0	1381,4
1	2	2	3	4	920,7	1380,9
2	1	1	1	2	4	4
3	0	0	0	0	1	1379,9
4	0	275,9	367,9	459,9	919,7	4
5	183,9	8	7	7	4	1378,9
6	8	7	6	5	0	4
7	8	6	5	4	918,8	1377,9
8	7	5	4	2	4	4
9	6	4	2	0	1	1376,9
329,0	6	3	1	458,9	917,8	4
1	5	2	0	7	4	1375,9
2	4	1	366,8	5	1	4
3	4	0	7	4	916,7	1374,9
4	3	274,9	5	2	4	4
5	2	8	4	0	1	1373,9
6	2	7	3	457,9	915,7	5
7	1	6	1	7	4	0
8	0	5	0	5	1	1372,5
9	0	4	365,9	4	914,8	0
330,0	182,9	3	7	2	4	1371,5
1	8	2	6	0	1	0
2	8	1	5	456,9	913,8	1370,5
3	7	0	3	8	5	0
4	6	273,9	2	6	2	1369,5
5	6	8	1	4	912,8	0
6	5	7	364,9	2	4	1368,6
7	4	6	8	0	1	1
8	4	5	7	455,9	911,8	1367,6
9	3	4	6	8	5	1

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
331,0	182,2	273,3	364,4	455,6	911,1	1366,6
1	2	2	3	4	910,7	1
2	1	1	2	2	4	1365,6
3	0	0	0	0	1	1
4	0	272,9	363,9	454,9	909,7	1364,6
5	181,9	8	8	7	4	1
6	8	7	6	5	1	1363,7
7	8	6	5	4	908,7	2
8	7	5	4	2	4	1362,7
9	7	4	3	1	1	2
332,0	6	3	1	453,9	907,8	1361,7
1	5	2	0	8	5	2
2	5	1	362,9	6	2	1360,7
3	4	1	7	4	906,8	3
4	3	0	6	2	4	1359,8
5	3	271,9	5	1	1	3
6	2	8	3	452,8	905,8	1358,8
7	1	7	2	7	5	3
8	1	6	1	6	2	1357,9
9	0	5	0	4	904,9	4
333,0	180,9	4	361,8	3	6	1356,9
1	9	3	7	2	3	4
2	8	2	6	0	0	1355,9
3	8	1	5	451,9	903,7	5
4	7	0	3	7	4	0
5	6	270,9	2	5	0	1354,5
6	6	8	1	3	902,6	0
7	5	7	360,9	2	3	1353,6
8	4	6	8	0	0	1
9	4	5	7	450,9	901,7	1352,6

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
334,0	180,3	270,4	360,6	450,8	901,4	1352,1
1	2	3	4	6	1	1351,6
2	2	2	3	4	900,8	1
3	1	1	2	2	5	1350,7
4	1	0	1	1	2	2
5	0	269,9	359,9	449,9	899,8	1349,7
6	179,9	9	8	8	5	2
7	9	8	7	6	1	1348,7
8	8	6	6	4	898,8	3
9	7	5	4	3	5	1347,8
335,0	7	5	3	1	2	3
1	6	4	2	0	897,9	1346,8
2	5	3	0	448,8	6	4
3	5	2	358,9	6	3	1345,9
4	4	1	8	5	0	5
5	4	0	7	4	896,7	0
6	3	268,9	5	2	4	1344,5
7	2	8	4	0	1	1
8	2	7	3	447,9	895,8	1343,6
9	1	6	2	8	5	2
336,0	0	5	0	6	2	1342,7
1	0	4	357,9	4	894,8	2
2	178,9	3	8	2	5	1341,8
3	9	3	7	1	2	3
4	8	2	5	446,8	893,8	1340,8
5	7	1	4	7	5	3
6	7	0	3	6	2	1339,9
7	6	267,9	2	4	892,9	4
8	5	8	0	2	6	1338,9
9	5	7	356,9	1	3	5

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
337,0	178,4	267,6	356,8	446,0	892,0	1338,0
1	4	5	7	445,9	891,7	1337,5
2	3	4	6	8	4	1
3	2	3	4	6	1	1336,6
4	2	2	3	4	890,8	2
5	1	1	2	3	5	1335,7
6	1	0	1	1	2	2
7	0	0	355,9	444,8	889,9	1334,8
8	177,9	266,9	8	7	5	3
9	9	8	7	6	2	1333,9
338,0	8	7	6	5	888,9	4
1	7	6	4	3	6	1332,9
2	7	5	3	1	3	5
3	6	4	2	0	0	1332,0
4	6	3	1	443,9	887,7	1331,6
5	5	2	0	8	4	1
6	4	1	354,8	6	1	1330,6
7	4	0	7	4	886,8	2
8	3	265,9	6	2	5	1329,7
9	3	9	5	0	2	3
339,0	2	8	3	442,8	885,8	1328,8
1	1	7	2	7	5	3
2	1	6	1	6	2	1327,9
3	0	5	0	5	0	4
4	176,9	4	353,9	3	884,7	0
5	9	3	7	1	3	1326,5
6	8	2	6	0	0	0
7	8	1	5	441,9	883,7	1325,6
8	7	0	4	8	4	1
9	6	264,9	3	6	1	1324,7

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
340,0	176,6	264,9	353,1	441,4	882,8	1324,2
1	5	8	0	2	5	1323,7
2	5	7	352,9	1	2	3
3	4	6	8	0	881,9	1322,8
4	4	5	7	440,9	6	4
5	3	4	5	7	3	1321,9
6	2	3	4	5	0	5
7	2	2	3	4	880,7	0
8	1	1	2	3	4	1320,6
9	1	0	1	1	1	1
341,0	0	0	351,9	439,8	879,8	1319,7
1	175,9	263,9	8	7	5	2
2	9	8	7	6	2	1318,8
3	8	7	6	5	878,9	3
4	8	6	5	4	6	1317,9
5	7	5	3	2	3	4
6	6	4	2	0	0	0
7	6	3	1	438,9	877,7	1316,5
8	5	2	0	8	4	1
9	5	1	350,9	7	1	1315,6
342,0	4	1	7	5	876,8	2
1	3	0	6	3	5	1314,8
2	3	262,9	5	1	2	3
3	2	8	4	0	875,9	1313,9
4	2	7	3	437,9	6	4
5	1	6	1	7	3	0
6	0	5	0	5	0	1312,6
7	0	4	349,9	4	874,7	1
8	174,9	3	8	3	4	1311,7
9	9	3	7	1	1	2

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
343,0	174,8	262,2	349,6	437,0	873,9	1310,8
1	7	1	4	436,8	6	4
2	7	0	3	6	3	1309,9
3	6	261,9	2	5	0	5
4	6	8	1	4	872,7	0
5	5	7	0	2	4	1308,6
6	5	7	348,9	0	1	2
7	4	6	7	435,8	871,8	1307,7
8	3	5	6	7	5	3
9	3	4	5	6	2	1306,8
344,0	2	3	4	5	870,9	4
1	2	2	3	4	6	0
2	1	1	2	2	3	1305,5
3	0	0	0	0	0	1
4	0	260,9	347,9	434,9	469,7	1304,7
5	173,9	9	8	7	4	2
6	9	8	7	6	2	1303,8
7	8	7	6	5	868,9	4
8	8	6	5	4	6	0
9	7	5	3	2	3	1302,5
345,0	6	4	2	0	0	1
1	6	3	1	433,9	867,7	1301,7
2	5	3	0	7	4	2
3	5	2	346,9	6	1	1300,8
4	4	1	8	5	866,9	3
5	4	0	7	3	6	1299,9
6	3	259,9	5	1	3	5
7	2	8	4	0	0	0
8	2	7	3	432,9	865,7	1298,6
9	1	7	2	7	4	1

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
346,0	173,1	259,6	346,1	432,6	865,2	1297,7
1	0	5	0	5	864,9	1296,9
2	172,9	4	345,8	3	6	2
3	9	3	7	1	3	1295,4
4	8	2	6	0	0	1294,6
5	8	1	5	431,9	863,8	1293,8
6	7	0	4	8	5	1
7	7	258,9	3	7	2	1292,3
8	6	9	2	5	862,9	1291,5
9	5	8	0	3	6	1290,8
347,0	5	7	344,9	1	3	0
1	4	6	8	0	0	1289,9
2	4	5	7	430,9	861,7	8
3	3	4	6	8	5	8
4	3	4	5	6	2	7
5	2	3	4	4	860,9	6
6	1	2	2	2	6	5
7	1	1	1	1	3	4
8	0	0	0	0	0	3
9	0	0	343,9	429,9	859,8	3
348,0	171,9	257,9	8	7	5	2
1	9	8	7	6	2	1288,8
2	8	7	6	5	858,9	4
3	8	6	5	3	6	1287,9
4	7	5	3	1	3	5
5	6	5	2	428,9	857,0	1
6	6	4	1	8	7	1286,7
7	5	3	0	7	5	3
8	5	2	342,9	6	2	1285,8
9	4	1	8	5	856,9	4

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
349,0	171,4	257,0	342,7	428,3	856,6	1285,0
1	3	256,9	6	2	3	1284,6
2	2	8	4	0	0	2
3	2	7	3	427,9	855,7	1283,7
4	1	7	2	7	5	3
5	1	6	1	6	2	1282,9
6	0	5	0	5	854,9	5
7	0	4	341,9	4	6	1
8	170,9	3	8	3	3	1281,6
9	9	2	7	2	0	2
350,0	8	2	6	0	853,8	1280,8
1	7	1	4	426,8	5	4
2	7	0	3	7	3	0
3	6	255,9	2	6	1	1279,5
4	6	8	1	4	852,9	1
5	5	7	0	3	7	1278,7
6	5	7	340,9	1	3	3
7	4	6	8	0	1	1277,9
8	4	5	7	425,9	851,7	4
9	3	4	6	7	4	0
351,0	2	3	4	5	0	1276,6
1	2	2	3	4	850,7	2
2	1	2	2	2	4	1275,8
3	1	1	1	1	2	4
4	0	0	0	0	0	0
5	0	254,9	339,9	424,9	849,8	1274,5
6	169,9	8	8	8	5	1
7	9	7	7	7	2	1273,7
8	8	7	6	5	848,9	3
9	7	6	4	3	6	1272,9

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
352,0	169,7	254,5	339,3	424,1	848,3	1272,5
1	6	4	2	0	0	1
2	6	3	1	423,9	847,8	1271,7
3	5	3	0	7	5	3
4	5	2	338,9	6	2	1270,9
5	4	1	8	5	846,9	4
6	4	0	7	4	7	0
7	3	253,9	6	3	5	1269,6
8	3	9	5	1	2	2
9	2	8	4	0	845,9	1268,8
353,0	1	7	2	422,8	6	4
1	1	6	1	6	3	0
2	0	5	0	5	0	1267,6
3	0	4	337,9	4	844,7	2
4	168,9	4	8	2	5	1266,8
5	9	3	7	1	3	4
6	8	2	6	0	0	0
7	8	1	5	421,9	843,8	1265,6
8	7	0	4	8	5	2
9	7	0	3	6	2	1264,8
354,0	6	252,9	2	5	842,9	4
1	5	8	0	3	6	0
2	5	7	336,9	1	3	1263,6
3	4	6	8	0	0	2
4	4	6	7	420,8	841,7	1262,8
5	3	5	6	7	5	3
6	3	4	5	6	2	1261,9
7	2	3	4	5	0	5
8	2	2	3	4	840,7	1
9	1	1	2	3	4	1260,7

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
355,0	168,1	252,1	336,1	420,1	840,2	1260,3
1	0	0	0	0	0	1259,9
2	0	251,9	335,9	419,9	839,8	5
3	167,9	8	8	8	5	1
4	9	7	7	7	2	1258,7
5	8	7	6	5	838,9	3
6	8	6	5	3	6	1257,9
7	7	5	3	1	3	5
8	6	4	2	0	0	1
9	6	3	1	418,9	837,7	1256,7
356,0	5	3	0	7	5	3
1	5	2	334,9	6	2	1255,9
2	4	1	8	5	0	5
3	4	0	7	4	836,7	1
4	3	250,9	6	3	5	1254,7
5	3	9	5	1	2	3
6	2	8	4	0	835,9	0
7	2	7	3	417,9	7	1253,6
8	1	6	2	8	5	2
9	1	6	1	6	2	1252,8
357,0	0	5	0	5	834,9	4
1	0	4	333,9	4	7	0
2	166,9	3	8	3	5	1251,6
3	9	2	7	1	2	2
4	8	2	5	416,9	833,9	1250,8
5	7	1	4	8	7	4
6	7	0	3	7	4	0
7	6	249,9	2	5	1	1249,6
8	6	8	1	4	832,8	2
9	5	8	0	2	5	1248,8

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
358,0	166,5	249,7	332,9	416,1	832,3	1248,4
1	4	6	8	0	0	0
2	4	5	7	415,9	831,7	1247,6
3	3	5	6	7	5	2
4	3	4	5	6	2	1246,8
5	2	3	4	5	830,9	4
6	2	2	3	4	7	1
7	1	1	2	3	4	1245,7
8	1	1	1	1	1	3
9	0	0	0	0	829,8	0
359,0	0	248,9	331,9	414,9	6	1244,5
1	165,9	8	8	8	4	1
2	9	8	7	6	1	1243,7
3	8	7	6	5	828,9	3
4	8	6	5	4	7	1242,9
5	7	5	4	3	5	5
6	7	4	3	2	3	2
7	6	4	2	0	1	1241,8
8	5	3	0	413,8	827,5	4
9	5	2	330,9	6	3	0
360,0	4	1	8	5	1	1240,6
1	4	1	7	3	826,8	2
2	3	0	6	2	5	1239,8
3	3	247,9	5	1	3	5
4	2	8	4	0	1	1
5	2	7	3	412,9	825,8	1238,7
6	1	7	2	7	5	3
7	1	6	1	6	3	1237,9
8	0	5	0	5	1	6
9	0	4	329,9	4	824,8	2

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
361,0	164,9	247,4	329,8	412,2	824,5	1236,8
1	9	3	7	1	2	4
2	8	2	6	0	0	1
3	8	1	5	411,9	823,8	1235,7
4	7	0	4	8	6	3
5	7	0	3	6	3	1234,9
6	6	246,9	2	5	0	5
7	6	8	1	4	822,7	1
8	5	8	0	2	4	1233,8
9	5	7	328,9	1	2	4
362,0	4	6	8	0	0	0
1	4	5	7	410,9	821,8	1232,6
2	3	4	6	8	5	2
3	3	4	5	6	2	1231,9
4	2	3	4	5	820,9	5
5	2	2	3	4	7	1
6	1	1	2	3	5	1230,7
7	1	1	1	2	3	3
8	0	0	0	1	0	0
9	0	245,9	327,9	409,9	819,7	1229,6
363,0	163,9	8	8	8	4	2
1	9	8	7	6	2	1
2	8	7	6	5	818,9	1
3	8	6	5	4	7	0
4	7	5	4	3	5	0
5	7	5	3	1	2	1228,9
6	6	4	2	0	0	8
7	6	3	1	408,9	817,7	8
8	5	2	0	8	5	7
9	5	2	326,9	6	2	7

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
364,0	163,4	245,1	326,8	408,5	817,0	1228,6
1	4	0	7	4	816,7	1227,9
2	3	244,9	6	3	5	2
3	3	9	5	1	2	1226,5
4	2	8	4	0	0	1925,8
5	2	7	3	407,9	815,7	1
6	1	6	2	8	5	1224,5
7	1	6	1	6	2	1223,8
8	0	5	0	5	814,9	1
9	0	4	325,9	4	7	1222,4
365,0	162,9	3	8	3	5	1221,7
1	9	3	7	1	2	3
2	8	2	6	0	0	0
3	8	1	5	406,9	813,8	1220,6
4	7	0	4	8	5	2
5	7	0	3	6	2	1219,8
6	6	243,9	2	5	0	5
7	6	8	1	4	812,7	1
8	5	8	0	2	5	1218,7
9	5	7	324,9	1	2	4
366,0	4	6	8	0	0	0
1	4	5	7	405,9	811,8	1217,6
2	3	5	6	7	5	3
3	3	4	5	6	3	0
4	2	3	4	5	0	1216,5
5	2	2	3	4	810,7	1
6	1	2	2	2	5	1215,8
7	1	1	1	1	3	4
8	0	0	0	0	0	0
9	0	242,9	323,9	404,9	809,8	1214,7

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
367,0	161,9	242,9	323,8	404,7	809,6	1214,3
1	9	8	7	6	3	1213,9
2	8	7	6	5	0	6
3	8	6	5	4	808,8	2
4	7	6	4	2	5	1212,9
5	7	5	3	1	3	5
6	6	4	2	0	1	1
7	6	4	1	403,9	807,8	1211,8
8	5	3	0	8	5	4
9	5	2	322,9	7	3	1
368,0	4	1	8	6	1	1210,7
1	4	1	8	5	806,8	3
2	3	0	7	4	5	0
3	3	241,9	6	3	3	1209,6
4	2	8	5	2	1	2
5	2	8	4	0	805,9	1208,8
6	2	7	3	402,9	6	5
7	1	6	2	8	3	1
8	1	6	1	6	1	1207,7
9	0	5	0	5	804,9	4
369,0	0	4	321,9	4	7	0
1	160,9	3	8	3	4	1206,6
2	9	3	7	1	1	1206,3
3	8	2	6	0	803,9	1205,9
4	8	1	5	401,9	6	6
5	7	1	4	7	4	1205,2
6	7	0	3	6	1	1204,8
7	6	240,9	2	5	802,9	5
8	6	8	1	4	7	1204,1
9	5	8	0	3	6	1203,8

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					
	20	30	40	50	100	150
370,0	160,5	240,7	320,9	401,2	802,3	1203,4
1	4	6	8	1	0	0
2	4	6	8	0	801,8	1202,7
3	3	5	7	400,9	5	3
4	3	4	6	8	2	0
5	2	3	5	7	0	1201,6
6	2	3	4	5	800,8	3
7	2	2	3	4	6	1200,9
8	1	1	2	3	5	6
9	1	0	1	2	3	2
371,0	0	0	0	0	1	1199,9
1	0	239,9	319,9	399,9	799,9	
2	159,9	8	8	8	5	
3	9	8	7	6	2	
4	8	7	6	5	0	
5	8	6	5	4	798,8	
6	7	5	4	3	6	
7	7	5	3	1	3	
8	6	4	2	0	1	
9	6	3	1	398,9	797,9	
372,0	5	3	0	7	6	
1	5	2	318,9	6	3	
2	4	1	8	5	1	
3	4	1	7	4	796,9	
4	3	0	7	3	7	
5	3	238,9	6	2	4	
6	2	8	5	1	2	
7	2	8	4	0	0	
8	2	7	3	397,9	795,7	
9	1	6	2	8	5	

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				
	20	30	40	50	100		20	30	40	50	100
373,0	159,1	238,6	318,1	397,6	795,3	376,0	157,7	236,5	315,3	394,1	788,3
1	0	5	0	5	1	1	6	4	2	0	1
2	0	4	317,9	4	794,8	2	6	4	1	393,9	787,9
3	158,9	4	8	2	5	3	5	3	0	8	7
4	9	3	7	1	3	4	5	2	314,9	7	5
5	8	2	6	0	1	5	4	1	9	6	2
6	8	1	5	396,9	793,9	6	4	1	8	5	0
7	7	1	4	8	6	7	3	0	7	3	786,7
8	7	0	3	7	4	8	3	235,9	6	2	5
9	6	237,9	3	6	2	9	3	9	5	1	3
374,0	6	9	2	5	0	377,0	2	8	4	0	1
1	5	8	1	4	792,7	1	2	7	3	392,9	785,9
2	5	7	0	3	5	2	1	7	2	7	6
3	5	7	316,9	1	3	3	1	6	1	6	3
4	4	6	8	0	0	4	0	5	0	5	1
5	4	5	7	395,9	791,8	5	0	5	313,9	4	784,9
6	3	5	6	7	5	6	156,9	4	9	3	7
7	3	4	5	6	3	7	9	3	8	2	5
8	2	3	4	5	1	8	8	3	7	1	3
9	2	3	3	4	790,9	9	8	2	6	0	0
375,0	1	2	2	3	6	378,0	7	1	5	391,9	783,7
1	1	1	1	2	4	1	7	1	4	7	5
2	0	0	0	1	1	2	6	0	3	6	3
3	0	0	0	0	789,9	3	6	234,9	2	5	1
4	157,9	236,9	315,9	394,9	7	4	5	9	1	4	782,9
5	9	8	8	8	5	5	5	8	0	3	6
6	8	8	7	6	2	6	5	7	0	2	4
7	8	7	6	5	0	7	4	6	312,9	1	2
8	7	6	5	4	788,8	8	4	6	8	0	0
9	7	6	4	2	5	9	3	5	7	390,9	781,7

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				
	20	30	40	50	100		20	30	40	50	100
379,0	156,3	234,4	312,6	390,8	781,5	382,0	155,0	232,5	309,9	387,4	774,9
1	3	4	5	6	3	1	154,9	4	8	3	7
2	2	3	4	5	1	2	9	3	8	2	5
3	2	2	3	4	780,8	3	9	3	7	1	3
4	1	2	2	3	6	4	8	2	6	0	1
5	1	1	1	2	4	5	8	1	5	386,9	773,8
6	0	0	1	1	2	6	7	1	4	7	6
7	0	0	0	0	779,9	7	7	0	3	6	3
8	0	233,9	311,9	389,9	7	8	6	231,9	2	5	1
9	155,9	8	8	8	5	9	6	9	2	5	772,9
380,0	9	8	7	6	3	383,0	6	8	1	4	7
1	8	7	6	5	1	1	5	7	0	2	5
2	8	6	5	4	778,9	2	5	7	308,9	1	3
3	7	6	4	3	6	3	4	6	8	0	1
4	7	5	3	2	4	4	4	5	7	385,9	771,8
5	6	4	3	1	2	5	3	5	6	8	6
6	6	4	2	0	0	6	3	4	5	7	4
7	6	3	1	388,9	777,7	7	3	3	5	6	1
8	5	2	0	8	5	8	2	3	4	5	770,9
9	5	2	310,9	6	3	9	2	2	3	4	7
381,0	4	1	8	5	1	384,0	1	1	2	3	5
1	4	0	7	4	776,8	1	1	1	1	1	3
2	3	0	6	3	6	2	0	0	0	0	1
3	3	232,9	6	2	4	3	0	0	307,9	384,9	769,9
4	2	8	5	1	2	4	153,9	230,9	8	8	7
5	2	8	4	0	0	5	9	8	8	7	5
6	1	7	3	387,9	775,8	6	9	8	7	6	3
7	1	7	2	7	5	7	8	7	6	5	1
8	1	6	1	6	3	8	8	6	5	4	768,8
9	0	5	0	5	1	9	7	6	4	3	6

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				
	20	30	40	50	100		20	30	40	50	100
385,0	153,7	230,5	307,3	384,2	768,4	388,0	152,4	228,6	304,8	381,0	762,0
1	6	4	2	1	2	1	3	5	7	380,9	761,8
2	6	4	2	0	767,9	2	3	5	6	8	6
3	5	3	1	383,9	7	3	3	4	5	7	4
4	5	2	0	8	5	4	2	3	4	6	2
5	5	2	306,9	6	3	5	2	3	4	5	0
6	4	1	8	5	1	6	2	2	3	4	760,8
7	4	1	7	4	766,9	7	1	1	2	3	6
8	3	0	6	3	7	8	1	1	1	1	3
9	3	229,9	6	2	4	9	0	0	0	0	1
386,0	2	9	5	1	2	389,0	0	0	303,9	379,9	759,9
1	2	8	4	0	0	1	151,9	227,9	9	8	7
2	2	7	3	382,9	765,8	2	9	8	8	7	5
3	1	7	2	8	6	3	9	8	7	6	3
4	1	6	1	7	4	4	8	7	6	5	1
5	0	5	1	6	2	5	8	6	5	4	758,8
6	0	5	0	5	0	6	7	6	4	3	6
7	0	4	305,9	4	764,8	7	7	5	4	2	4
8	152,9	3	8	3	6	8	7	5	3	1	2
9	9	3	7	1	3	9	6	4	2	0	0
387,0	8	2	6	0	1	390,0	6	3	1	378,9	757,8
1	8	2	5	381,9	763,9	1	5	3	0	8	6
2	7	1	5	8	7	2	5	2	302,9	7	4
3	7	0	4	7	5	3	4	1	9	6	2
4	6	0	3	6	3	4	4	1	8	5	0
5	6	228,9	2	5	1	5	4	0	7	4	756,8
6	5	8	1	4	762,9	6	3	0	6	3	6
7	5	8	0	3	7	7	3	226,9	5	2	4
8	5	7	304,9	2	5	8	2	8	4	1	2
9	4	6	9	1	2	9	2	8	4	0	0

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				
	20	30	40	50	100		20	30	40	50	100
391,0	151,2	226,7	302,3	377,9	755,8	394,0	149,9	224,9	299,8	374,8	749,6
1	1	7	2	8	6	1	9	8	8	7	4
2	1	6	1	7	4	2	9	8	7	6	2
3	0	5	0	6	2	3	8	7	6	5	0
4	0	5	0	5	754,9	4	8	6	5	4	748,8
5	0	4	301,9	4	7	5	7	6	4	3	6
6	150,9	3	8	3	5	6	7	5	3	2	4
7	9	3	7	2	3	7	7	5	3	1	2
8	8	2	6	1	1	8	6	4	2	0	0
9	8	2	5	0	753,9	9	6	3	1	373,9	747,8
392,0	8	1	5	376,9	7	395,0	5	3	0	7	5
1	7	0	4	8	5	1	5	2	298,9	6	3
2	7	0	3	7	3	2	5	1	9	5	1
3	6	225,9	2	6	1	3	4	1	8	4	746,9
4	6	9	1	5	752,9	4	4	0	7	3	7
5	6	8	1	4	7	5	3	0	6	2	5
6	5	7	0	3	5	6	3	223,9	5	1	3
7	5	7	300,9	2	3	7	3	8	5	0	1
8	4	6	8	1	1	8	2	8	4	372,9	745,9
9	4	5	7	0	751,9	9	2	7	3	8	7
393,0	3	5	6	375,9	7	396,0	1	7	2	7	5
1	3	4	6	8	5	1	1	6	1	6	3
2	3	4	5	7	3	2	1	6	1	5	1
3	2	3	4	6	1	3	0	5	0	4	744,9
4	2	2	3	5	750,9	4	0	4	297,9	3	7
5	1	2	2	4	7	5	148,9	4	8	2	5
6	1	1	2	3	5	6	9	3	7	1	3
7	1	1	1	2	3	7	9	3	7	0	1
8	0	0	0	1	1	8	8	2	6	371,9	743,9
9	0	224,9	229,9	374,9	749,9	9	8	1	5	8	7

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				
	20	30	40	50	100		20	30	40	50	100
397,0	148,7	223,1	297,4	371,7	743,5	400,0	147,5	221,3	295,1	368,9	737,8
1	7	0	4	6	3	1	5	3	0	8	6
2	7	0	3	5	1	2	5	2	294,9	7	4
3	6	222,9	2	4	742,9	3	4	1	8	6	2
4	6	8	1	4	8	4	4	1	8	5	0
5	5	8	0	3	6	5	4	0	7	4	736,8
6	5	7	0	2	4	6	3	0	6	3	6
7	5	7	296,9	1	2	7	3	220,9	5	2	4
8	4	6	8	0	0	8	3	8	5	1	2
9	4	5	7	370,9	741,8	9	2	8	4	0	0
398,0	3	5	6	8	6	401,0	2	7	3	367,9	735,8
1	3	4	6	7	4	1	1	7	2	8	6
2	3	4	5	6	2	2	1	6	2	7	4
3	2	3	4	5	0	3	1	6	1	6	2
4	2	2	3	4	740,8	4	0	5	0	5	0
5	2	2	3	4	7	5	0	4	293,9	4	734,8
6	1	1	2	3	5	6	146,9	4	8	3	6
7	1	1	1	2	3	7	9	3	8	2	4
8	0	0	0	1	0	8	9	3	7	1	2
9	0	0	295,9	0	739,8	9	8	2	6	0	1
399,0	147,9	221,9	9	369,9	7	402,0	8	2	5	366,9	733,9
1	9	8	8	8	5	1	8	1	5	8	7
2	8	8	7	7	3	2	7	1	4	7	6
3	8	7	6	6	1	3	7	0	3	6	3
4	8	7	5	5	738,9	4	6	219,9	2	5	1
5	7	6	5	4	7	5	6	9	2	4	732,9
6	7	5	4	3	5	6	6	8	1	3	7
7	7	5	3	2	3	7	5	8	0	2	5
8	6	4	2	1	1	8	5	7	292,9	1	3
9	6	4	2	0	737,9	9	4	6	8	0	1

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				
	20	30	40	50	100		20	30	40	50	100
403,0	146,4	219,6	292,8	366,0	732,0	406,0	145,3	217,9	290,5	363,3	726,2
1	4	5	7	365,9	731,8	1	2	8	4	2	1
2	3	5	6	8	6	2	2	8	4	1	0
3	3	4	5	7	4	3	2	7	3	0	725,9
4	3	4	5	6	2	4	1	7	2	362,9	6
5	2	3	4	5	0	5	1	6	1	8	4
6	2	2	3	4	730,8	6	0	5	0	7	2
7	1	2	2	3	6	7	0	5	0	6	0
8	1	1	2	2	4	8	0	4	289,9	5	724,8
9	1	1	1	1	2	9	144,9	4	8	4	6
404,0	0	0	0	0	0	407,0	9	3	8	3	4
1	0	0	291,9	364,9	729,8	1	9	3	7	2	2
2	0	218,9	9	9	7	2	8	2	6	1	0
3	145,9	8	8	8	5	3	8	2	5	0	723,9
4	9	8	7	7	3	4	8	1	5	361,9	7
5	8	7	6	6	1	5	7	0	4	8	5
6	8	7	6	6	728,9	6	7	0	3	7	3
7	8	6	5	5	7	7	6	216,9	2	6	1
8	7	6	4	4	5	8	6	9	2	5	722,9
9	7	5	3	3	3	9	6	8	1	4	7
405,0	7	4	3	2	1	408,0	5	8	0	4	5
1	6	4	2	1	0	1	5	7	288,9	3	4
2	6	3	1	0	727,8	2	5	7	9	2	2
3	5	3	0	363,9	6	3	4	6	8	1	1
4	5	2	0	8	4	4	4	5	7	0	721,9
5	5	2	290,9	7	2	5	4	5	7	360,9	7
6	4	1	8	6	0	6	3	4	6	8	5
7	4	1	7	5	726,8	7	3	4	5	7	3
8	4	0	7	4	6	8	2	3	4	6	1
9	3	217,9	6	4	4	9	2	3	4	5	720,9

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				
	20	30	40	50	100		20	30	40	50	100
409,0	144,2	216,2	288,3	360,4	720,7	412,0	143,1	214,6	286,1	357,6	715,2
1	1	2	2	3	5	1	0	5	0	5	1
2	1	1	1	2	3	2	0	5	285,9	4	714,9
3	1	1	1	1	1	3	0	4	9	4	7
4	0	0	0	0	719,9	4	142,9	4	8	3	5
5	0	215,9	287,9	359,9	8	5	9	3	7	2	3
6	143,9	9	8	8	6	6	9	3	7	1	1
7	9	8	8	7	4	7	8	2	6	0	0
8	9	8	7	6	2	8	8	1	5	356,9	713,8
9	8	7	6	5	0	9	7	1	4	8	6
410,0	8	7	6	4	718,9	413,0	7	0	4	8	5
1	8	6	5	3	7	1	7	0	3	7	3
2	7	6	4	2	5	2	6	213,9	2	6	1
3	7	5	3	1	3	3	6	9	2	5	712,9
4	7	4	3	1	2	4	6	8	1	4	7
5	6	4	2	0	0	5	5	8	0	3	6
6	6	3	1	358,9	717,8	6	5	7	0	2	4
7	5	3	0	8	6	7	5	7	284,9	1	2
8	5	2	0	7	5	8	4	6	8	0	0
9	5	2	286,9	6	3	9	4	6	7	0	711,9
411,0	4	1	8	5	1	414,0	4	5	7	355,9	7
1	4	1	8	4	716,9	1	3	5	6	8	5
2	4	0	7	3	7	2	3	4	5	7	3
3	3	214,9	6	2	5	3	3	3	5	6	1
4	3	9	5	1	3	4	2	3	4	5	0
5	3	8	5	0	1	5	2	2	3	4	710,8
6	2	8	4	357.9	715.9	6	1	2	2	3	6
7	2	7	3	8	7	7	1	1	2	2	4
8	1	7	2	7	5	8	1	1	1	1	2
9	1	6	2	7	4	9	0	0	0	0	0

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				
	20	30	40	50	100		20	30	40	50	100
415,0	142,0	213,0	283,9	354,9	709,9	418,0	140,9	211,4	281,9	352,4	704,7
1	0	212,9	9	8	7	1	9	4	8	3	5
2	141,9	9	8	7	6	2	9	3	7	2	3
3	9	8	8	7	4	3	8	3	7	1	1
4	9	8	7	6	2	4	8	2	6	0	703,9
5	8	7	6	5	0	5	8	2	5	0	8
6	8	7	5	4	708,9	6	7	1	5	351,9	7
7	8	6	5	3	7	7	7	1	4	8	5
8	7	6	4	3	5	8	7	0	3	7	3
9	7	5	3	2	3	9	6	210,9	3	6	1
416,0	7	4	3	1	1	419,0	6	9	2	5	702,9
1	6	4	2	0	0	1	6	8	1	4	7
2	6	3	1	353,9	707,9	2	5	8	0	3	5
3	6	3	1	9	7	3	5	7	0	2	3
4	5	2	0	8	5	4	5	7	280,9	1	2
5	5	2	282,9	7	3	5	4	6	8	0	0
6	4	1	8	6	1	6	4	6	8	0	701,9
7	4	1	8	5	706,9	7	4	5	7	350,9	6
8	4	0	7	4	7	8	3	5	6	8	5
9	3	0	6	3	6	9	3	4	6	7	3
417,0	3	211,9	6	3	4	420,0	3	4	5	6	2
1	3	9	5	2	2	1	2	3	4	5	0
2	2	8	4	1	0	2	2	3	3	4	700,8
3	2	8	4	0	705,9	3	2	2	3	3	7
4	2	7	3	352,9	7	4	1	2	2	2	5
5	1	7	2	8	5	5	1	1	1	2	3
6	1	6	1	7	3	6	1	1	1	1	1
7	1	6	1	7	2	7	0	0	0	0	0
8	0	5	0	6	1	8	0	0	279,9	349,9	699,8
9	0	5	281,9	5	704,9	9	139,9	209,9	9	8	6

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				
	20	30	40	50	100		20	30	40	50	100
421,0	139,9	209,9	279,8	349,7	699,5	424,0	138,9	208,3	277,8	347,2	694,5
1	9	8	7	6	3	1	9	3	7	1	3
2	8	8	7	5	1	2	8	2	6	0	2
3	8	7	6	4	698,9	3	8	2	6	0	0
4	8	7	5	4	8	4	8	1	5	346,9	693,8
5	7	6	5	3	7	5	7	1	4	8	7
6	7	6	4	2	5	6	7	0	4	7	5
7	7	5	3	1	3	7	7	0	3	6	3
8	6	4	3	0	1	8	6	207,9	2	6	1
9	6	4	2	0	0	9	6	9	2	5	0
422,0	6	3	1	348,9	697,8	425,0	6	8	1	4	692,8
1	5	3	1	8	7	1	5	8	0	3	7
2	5	2	0	7	5	2	5	7	0	2	5
3	5	2	378,9	6	3	3	5	7	276,9	1	3
4	4	1	9	5	1	4	4	6	8	1	2
5	4	1	8	5	0	5	4	6	8	0	0
6	4	0	7	4	696,8	6	4	5	7	345,9	691,8
7	3	0	7	3	6	7	3	5	6	8	7
8	3	208,9	6	2	5	8	3	4	6	7	5
9	3	9	5	1	3	9	3	4	5	7	3
423,0	2	8	5	0	1	426,0	2	3	4	6	1
1	2	8	4	347,9	0	1	2	3	4	5	690,9
2	2	7	3	9	695,9	2	2	2	3	4	8
3	1	7	2	8	7	3	1	2	2	3	7
4	1	6	2	7	5	4	1	1	2	3	5
5	1	6	1	6	3	5	1	1	1	2	3
6	0	5	0	5	1	6	0	0	1	1	1
7	0	5	0	4	0	7	0	0	0	0	0
8	0	4	277,9	4	694,8	8	0	206,9	275,9	0	689,8
9	138,9	4	8	3	7	9	137,9	9	9	344,9	7

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				
	20	30	40	50	100		20	30	40	50	100
427,0	137,9	206,8	275,8	344,8	689,5	430,0	136,9	205,4	273,8	342,3	684,7
1	9	8	7	7	3	1	9	3	8	2	5
2	8	7	7	6	2	2	9	3	7	1	3
3	8	7	6	5	0	3	8	2	6	0	1
4	8	6	5	4	688,8	4	8	2	6	0	0
5	7	6	5	4	7	5	8	1	5	341,9	683,8
6	7	5	4	3	5	6	7	1	5	8	7
7	7	5	3	2	4	7	7	0	4	7	5
8	6	4	3	1	2	8	7	0	3	6	4
9	6	4	2	0	1	9	6	204,9	3	5	2
428,0	6	4	1	343,9	687,9	431,0	6	9	2	5	0
1	5	3	1	8	7	1	6	8	1	4	682,8
2	5	3	0	8	6	2	5	8	1	3	7
3	5	2	274,9	7	4	3	5	7	0	2	6
4	4	2	9	6	3	4	5	7	272,9	2	5
5	4	1	8	5	1	5	4	7	9	1	3
6	4	1	7	4	686,9	6	4	6	8	0	1
7	3	0	7	3	8	7	4	6	7	340,9	681,9
8	3	0	6	2	6	8	3	5	7	8	7
9	3	205,9	5	2	5	9	3	5	6	8	6
429,0	2	9	5	1	3	432,0	3	4	6	7	5
1	2	8	4	0	1	1	2	4	5	6	3
2	2	8	4	342,9	685,9	2	2	3	4	5	1
3	1	7	3	9	8	3	2	3	4	4	680,9
4	1	7	2	8	7	4	2	2	3	3	8
5	1	6	2	7	5	5	1	2	2	3	6
6	0	6	1	6	3	6	1	1	2	2	5
7	0	5	0	5	1	7	1	1	1	1	4
8	0	5	0	4	0	8	0	0	0	0	2
9	136,9	4	273,9	4	684,8	9	0	0	0	0	0

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				
	20	30	40	50	100		20	30	40	50	100
433,0	136,0	203,9	271,9	339,9	679,8	436,0	135,0	202,5	270,0	337,6	675,1
1	135,9	9	9	8	6	1	0	5	0	5	0
2	9	8	8	7	5	2	134,9	4	269,9	4	674,9
3	9	8	7	6	3	3	9	4	8	3	7
4	8	7	7	6	2	4	9	3	8	2	5
5	8	7	6	5	0	5	9	3	7	1	3
6	8	7	5	4	678,8	6	8	2	6	0	2
7	7	6	5	3	7	7	8	2	6	336,9	1
8	7	6	4	2	6	8	8	2	5	8	673,9
9	7	5	3	2	4	9	7	1	5	8	7
434,0	6	5	3	1	3	437,0	7	1	4	7	5
1	6	4	2	0	1	1	7	0	3	6	4
2	6	4	2	338,9	677,9	2	6	0	3	5	3
3	5	3	1	8	8	3	6	201,9	2	5	1
4	5	3	0	8	6	4	6	9	2	4	672,9
5	5	2	0	7	5	5	5	8	1	3	8
6	4	2	270,9	6	3	6	5	8	0	2	6
7	4	1	8	5	2	7	5	7	0	2	5
8	4	1	8	5	0	8	5	7	268,9	1	3
9	4	0	7	4	676,9	9	4	6	9	0	1
435,0	3	0	7	4	7	438,0	4	6	8	0	0
1	3	202,9	6	3	5	1	4	5	7	335,9	671,9
2	3	9	5	2	4	2	3	5	7	8	7
3	2	8	5	1	3	3	3	5	6	8	5
4	2	8	4	1	1	4	3	4	5	7	4
5	2	8	3	0	675,9	5	3	4	5	6	2
6	1	7	3	337,9	8	6	2	3	4	5	0
7	1	7	2	9	7	7	2	3	4	5	670,9
8	1	6	2	8	5	8	2	2	3	4	7
9	0	6	1	7	3	9	1	2	2	3	6

Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:					Wysokość H w mm	Szybkość w m/sek. przy rozstawieniu przerywaczy:				
	20	30	40	50	100		20	30	40	50	100
439,0	134,1	201,1	268,2	335,3	670,5	442,0	133,2	199,8	266,4	332,9	
1	1	1	1	2	3	1			3		
2	0	0	1	1	1	2			2		
3	0	0	0	0	0	3			2		
4	0	0	267,9	0	669,9	4			1		
5	133,9	200,9	9	334,9	7	5			1		
6	9	9	8	8	5	6			0		
7	9	8	8	7	4	7			265,9		
8	9	8	7	6	2	8			9		
9	8	7	6	6	1	9			8		
440,0	8	7	6	5	668,9	443,0	132,9	199,3	8	332,2	
1	8	6	5	4	8	1			7		
2	8	6	4	3	6	2			6		
3	7	5	4	3	5	3			6		
4	7	5	3	2	3	4			5		
5	7	4	3	1	1	5			5		
6	6	4	2	0	0	6			4		
7	6	4	1	0	667,8	7			3		
8	6	3	1	333,9	6	8			3		
9	5	3	0	8	5	9			2		
441,0	5	2	0	8		444,0	132,6	198,9	2	331,5	
1	5	2	266,9	7		1			1		
2	5	1	8	6		2			0		
3	4	1	8	6		3			0		
4	4	0	7	5		4			264,9		
5	4	0	7	4		5			9		

TABLICA 2b.

Szybkość w m/sek.	Poprawka szybkości w m/sek. w zależności od kąta strzelania														
	1^0	$1^0{}_{30}$	2^0	$2^0{}_{30}$	3^0	$3^0{}_{30}$	4^0	$4^0{}_{30}$	5^0	$5^0{}_{30}$	6^0	$6^0{}_{30}$	7^0	$7^0{}_{30}$	8^0
100	0,02	0,04	0,06	0,10	0,14	0,19	0,25	0,31	0,38	0,46	0,55	0,65	0,75	0,86	0,98
150	0,02	0,05	0,09	0,14	0,21	0,28	0,37	0,47	0,57	0,69	0,83	0,97	1,13	1,30	1,47
200	0,03	0,07	0,12	0,19	0,28	0,38	0,49	0,62	0,76	0,92	1,10	1,30	1,50	1,73	1,96
250	0,04	0,09	0,15	0,23	0,35	0,47	0,71	0,78	0,96	1,16	1,38	1,62	1,88	2,16	2,45
300	0,05	0,11	0,18	0,28	0,41	0,56	0,74	0,93	1,15	1,39	1,66	1,94	2,25	2,59	2,95
350	0,06	0,12	0,21	0,33	0,48	0,66	0,86	1,09	1,34	1,62	1,93	2,27	2,63	3,02	3,44
400	0,06	0,14	0,24	0,38	0,55	0,75	0,98	1,24	1,53	1,85	2,21	2,59	3,00	3,45	3,93
450	0,07	0,16	0,27	0,43	0,62	0,85	1,10	1,40	1,72	2,08	2,48	2,92	3,38	3,88	4,42
500	0,08	0,18	0,30	0,48	0,69	0,94	1,23	1,55	1,91	2,31	2,76	3,24	3,75	4,32	4,91
550	0,09	0,19	0,33	0,52	0,76	1,03	1,35	1,71	2,10	2,54	3,04	3,56	4,13	4,75	5,40
600	0,10	0,21	0,36	0,57	0,83	1,13	1,47	1,86	2,29	2,77	3,31	3,89	4,50	5,18	5,89
650	0,10	0,23	0,39	0,62	0,90	1,22	1,59	2,02	2,48	3,00	3,59	4,21	4,88	5,60	6,38
700	0,11	0,25	0,42	0,67	0,97	1,32	1,72	2,17	2,67	3,23	3,86	4,54	5,25	6,04	6,87
750	0,12	0,26	0,45	0,71	1,04	1,41	1,84	2,33	2,87	3,47	4,14	4,86	5,63	6,47	7,36
800	0,13	0,28	0,48	0,76	1,10	1,50	1,96	2,48	3,06	3,70	4,42	5,18	6,00	6,90	7,86
850	0,14	0,30	0,51	0,80	1,18	1,58	2,08	2,62	3,26	3,92	4,70	5,50	6,38	7,34	8,36
900	0,14	0,30	0,54	0,84	1,24	1,68	2,20	2,78	3,44	4,15	4,93	5,82	6,76	7,76	8,84
950	0,14	0,32	0,56	0,90	1,30	1,76	2,32	2,92	3,62	4,38	5,24	6,14	7,12	8,18	9,34
1000	0,16	0,34	0,60	0,95	1,38	1,86	2,44	3,09	3,83	4,61	5,51	6,46	7,51	8,62	9,83
1050	0,17	0,36	0,63	1,00	1,45	1,95	2,56	3,24	4,00	4,85	5,80	6,80	7,88	9,05	10,31
1100	0,17	0,37	0,65	1,04	1,51	2,05	2,67	3,38	4,20	5,07	6,05	7,10	8,25	9,48	10,82
1150	0,18	0,39	0,68	1,08	1,59	2,16	2,81	3,55	4,40	5,31	6,35	7,44	8,64	9,92	11,31
1200	0,19	0,41	0,72	1,13	1,66	2,24	2,91	3,69	4,58	5,52	6,61	7,75	9,00	10,34	11,80

TABLICA 2c.

Szybkość v w m/sek.	Funkcja pierwotna Siaccieg'o D(v)	Szybkość v w m/sek.	Funkcja pierwotna Siaccieg'o D(v)
190	7,684	220	6,460
191	640	221	423
192	596	222	386
193	552	223	349
194	508	224	313
195	465	225	277
196	422	226	241
197	379	227	205
198	336	228	170
199	294	229	135
200	7,252	230	6,100
201	210	231	065
202	168	232	031
203	126	233	5,997
204	084	234	963
205	043	235	930
206	002	236	896
207	6,962	237	863
208	922	238	830
209	882	239	797
210	6,842	240	5,765
211	803	241	733
212	764	242	701
213	725	243	669
214	686	244	637
215	648	245	606
216	610	246	575
217	572	247	544
218	534	248	513
219	497	249	482

v w m/sek.	D(v)	v w m/sek.	D(v)
250	5,452	280	4,664
251	422	281	641
252	393	282	619
253	363	283	596
254	334	284	574
255	305	285	553
256	277	286	531
257	248	287	510
258	221	288	489
259	193	289	486
260	5,165	290	4,447
261	138	291	427
262	111	292	407
263	084	293	387
264	058	294	367
265	031	295	348
266	005	296	329
267	4,979	297	310
268	953	298	291
269	928	299	273
270	4,902	300	4,255
271	877	301	237
272	852	302	219
273	828	303	202
274	804	304	185
275	780	305	168
276	756	306	151
277	733	307	135
278	709	308	118
279	686	309	102

v w m/sek.	D(v)	v w m/sek.	D(v)
310	4,086	340	3,699
311	070	341	689
312	055	342	678
313	040	343	668
314	024	344	658
315	009	345	648
316	3,995	346	638
317	980	347	628
318	966	348	619
319	953	349	609
320	3,939	350	3,600
321	926	351	590
322	912	352	581
323	899	353	572
324	886	354	563
325	873	355	554
326	861	356	545
327	848	357	536
328	836	358	527
329	823	359	518
330	3,811	360	3,510
331	799	361	501
332	788	362	492
333	776	363	484
334	765	364	476
335	753	365	467
336	742	366	459
337	731	367	451
338	720	368	443
339	710	369	435

v w m/sek.	D(v)	v w m/sek.	D(v)
370	3,427	400	3,208
371	419	401	201
372	411	402	194
373	403	403	187
374	395	404	181
375	388	405	174
376	380	406	168
377	372	407	161
378	365	408	154
379	357	409	148
380	3,350	410	3,141
381	342	411	135
382	335	412	128
383	327	413	122
384	320	414	116
385	313	415	109
386	306	416	103
387	298	417	096
388	291	418	090
389	284	419	084
390	3,277	420	3,078
391	270	421	071
392	263	422	065
393	256	423	059
394	249	424	053
395	242	425	046
396	235	426	040
397	228	427	034
398	221	428	028
399	214	429	022

v w m/sek.	D(v)	v w m/sek.	D(v)
430	3,016	460	2,842
431	010	461	836
432	004	462	831
433	2,998	463	825
434	992	464	820
435	986	465	814
436	980	466	809
437	974	467	803
438	968	468	798
439	962	469	792
440	2,956	470	2,787
441	950	471	781
442	944	472	776
443	939	473	770
444	933	474	765
445	927	475	760
446	921	476	754
447	915	477	749
448	910	478	743
449	904	479	738
450	2,898	480	2,733
451	892	481	727
452	887	482	722
453	881	483	717
454	875	484	711
455	870	485	706
456	864	486	701
457	859	487	696
458	853	488	690
459	847	489	685

v w m/sek.	D(v)	v w m/sek.	D(v)
490	2,680	520	2,527
491	675	521	522
492	669	522	517
493	664	523	512
494	659	524	507
495	654	525	503
496	649	526	497
497	643	527	593
498	638	528	488
499	633	529	483
500	2,628	530	2,478
501	623	531	473
502	618	532	468
503	613	533	463
504	608	534	458
505	603	535	453
506	597	536	448
507	592	537	444
508	587	538	439
509	582	539	434
510	2,577	540	2,429
511	572	541	424
512	567	542	419
513	562	543	415
514	557	544	410
515	552	545	405
516	547	546	400
517	542	547	395
518	537	548	391
519	532	549	386

v w m/sek.	D (v)	v w m/sek.	D (v)
550	2,381	580	2,241
551	376	581	236
552	371	582	231
553	367	583	227
554	362	584	222
555	357	585	218
556	352	586	213
557	348	587	208
558	343	588	204
559	338	589	199
560	2,334	590	2,195
561	329	591	190
562	324	592	186
563	320	593	181
564	315	594	177
565	310	595	172
566	305	596	168
567	301	597	163
568	296	598	159
569	291	599	154
570	2,287	600	2,150
571	282	601	145
572	277	602	141
573	273	603	136
574	268	604	132
575	264	605	127
576	259	606	123
577	254	607	118
578	250	608	114
579	245	609	109

v w m/sek.	D(v)	v w m/sek.	D(v) w m/sek.
610	2,105	620	2,060
611	100	621	056
612	096	622	052
613	091	623	047
614	087	624	043
615	082	625	038
616	078	626	034
617	074	627	030
618	069	628	025
619	065	629	021
		630	016

Biblioteka Naukowa PAN w Krakowie
27561
BIBLIOTEKA OFICERSKA
2 PUŁKU STRZELCÓW PODHALAŃSKICH
BIBL. WOJSKOWA

BIBLIOTEKA
ASG
NAUKOWA
47674 1