BIBLJOTEKA SŁUŻBY GEOGRAFICZNEJ

TOM 7

FOTOGRAMETRJA
ZASTOSOWANA DO POTRZEB OBRONY KRAJU

LIPKO

NAKŁADEM SEKCJI GEOGRAFICZNEJ TOWARZYSTWA WIEDZY WOJSKOWEJ

ADAM LIPKO
MAJOR KORPUSU GEOGRAFÓW

FOTOGRAMETRJA
ZASTOSOWANA DO POTRZEB OBRONY KRAJU

DRUK I KLISZE WOJSKOWEGO INSTYTUTU GEOGRAFICZNEGO
WARSZAWA
1932

Praca niniejsza obejmuje podstawowe wiadomości z zakresu fotogrametrji, a szczególnie uwzględnia zdjęcia lotnicze i wykorzystywanie ich do potrzeb obrony kraju.

Celem jej jest zapełnienie chociażby w pewnej mierze luki, jaka daje się odczuwać w polskiej literaturze fachowej z zakresu fotogrametrji. Pragnąłem mej pracy nadać formę podręcznika, któryby mógł być pomocny przy wykładach fotogrametrji w szkołach wojskowych i cywilnych, na kursach przeszkolenia oficerów, oraz dla indywidualnej pracy każdego, pragnącego pogłębić swą wiedzę w tej nowej dziedzinie miernictwa, tak bardzo związanej z obecną techniką wojenną.

Składam tu podziękowanie Kierownikowi Samodzielnego Referatu Fotogrametrycznego Wojskowego Instytutu Geograficznego, Panu Majorowi Tadeuszowi Herfurtowi, za poparcie moich poczynań, przejrzenie całej pracy i fachowe wskazówki, Panu Porucznikowi Korpusu Geografów Witoldowi Żarskiemu za wybitną pomoc przy opracowaniu i redakcji książki, oraz P. T. Dowódcom pułków lotniczych za uprzejmie dostarczone zdjęcia lotnicze.

AUTOR.

WSTĘP.

Myśl zastąpienia pomiarów terenu pomiarami jego obrazu, zapoczątkowana na wiele lat przed wynalezieniem fotografji, znalazła praktyczne zastosowanie z chwilą zbudowania pierwszej kamery fotograficznej i rozwijała się stopniowo w miarę coraz większych zdobyczy na polu miernictwa i fototechniki. Pierwsze uciążliwe próby fotogrametrji powietrznej, czynione zapomocą zdjęć wykonanych aparatem fotograficznym, umocowanym do latawca lub gołębia pocztowego i działającym przy pomocy przyrządu zegarowego, albo zdjęć z balonów, któremi wtedy nie można było kierować, ustąpiły miejsca systematycznej pracy, opartej na ścisłych podstawach naukowych, gdy udało się wreszcie opanować przestworza przez zbudowanie i udoskonalenie samolotu (ryc. 1, 2 i 3).

Równolegle z olbrzymim postępem lotnictwa rozwija się szybko fotogrametrja powietrzna, znajdując coraz szersze zastosowanie przy wywiadzie lotniczym do celów wojskowych i gospodarczych oraz do celów ściśle pomiarowych (triangulacja, topografja, kartografja, kataster i plany techniczne).

W okresie wojny światowej naczelne dowództwa wojsk walczących przekonały się o wartości fotografji lotniczej i fotogrametrji powietrznej, stanowiącej niezbędny i jeden z najpoważniejszych czynników zarówno obrony jak i natarcia, a niezastąpionej przy wywiadzie pozycyj i ruchów nieprzyjacielskich i przeciwdziałaniu powietrznemu wywiadowi przeciwnika (maskowanie). Skutkiem doświadczenia, zdobytego podczas wojny światowej, zainteresowanie fotogrametrją wzrosło tak, że w niektórych państwach, np. w Niemczech i Szwajcarji, utworzyły się

specjalne towarzystwa naukowo-przemysłowe, rok rocznie wydające miljonowe sumy na prace i doświadczenia w tej dziedzinie, na ulepszanie istniejących sposobów i przyrządów, oraz wynalezienie i budowę nowych.

Dzięki wysiłkom tych towarzystw fotogrametrja wysuwa się obecnie na czołowe miejsce wśród innych nauk i metod mierniczych. Wszystkie państwa świata cywilizowanego prześcigają się w ulepszaniu i stosowaniu sposobów pomiaru fotogrametrycznego, oceniając należycie jego znaczenie i wartość.

Chwila obecna przypomina żywo niedawną przeszłość, kiedy mapa stawała się koniecznym czynnikiem w prowadzeniu wojny. Dziś uzupełnieniem mapy niezbędnem i niezastąpionem jest fotografja lotnicza. Mapa, nawet najświeższa, przedstawia szczegóły terenu w sposób schematyczny, najzupełniej wystarczający do prowadzenia większości działań strategicznych i taktycznych, lecz stanowczo niewystarczający, gdy zachodzi potrzeba wejrzenia w najdrobniejsze szczegóły, które ze względu na swój indywidualny i często przejściowy charakter nie mogą być oznaczone na mapie, na fotografji zaś ukazują się w postaci naturalnej i mogą być odczytane.

Dokładne wykorzystanie mapy wymaga nietylko umiejętności czytania napisów, lecz przedewszystkiem jej umówionych znaków topograficznych (konwencjonalnych). Fotografja napisów nie posiada, a zamiast znajomości znaków wymaga umiejętności odczytywania na niej obrazów przedmiotów.

Odczytywanie zdjęć robionych z ziemi nie nastręcza szczególnych trudności, lecz odczytywanie zdjęć lotniczych wymaga wprawy; wykorzystywanie zaś jednych i drugich wymaga pewnej umiejętności, niezbyt trudnej do opanowania. Obie te cechy, wprawę i umiejętność, muszą posiadać wszyscy oficerowie wykorzystujący zdjęcia lotnicze, a przedewszystkiem oficerowie sztabów i oddziałów broni, nie mówiąc już o oficerach lotnictwa i oficerach służby geograficznej, jako specjalistach w tej dziedzinie.

Skutkiem rozwoju fotogrametrji w wojskach innych państw wyłania się i u nas konieczność zainteresowania i zaznajomienia szerszych kół wojskowych oraz organizacyj przysposobienia wojskowego z praktycznem zastosowaniem sposobów fotogrametrycznych, jako nowym czynnikiem obrony kraju. Względy te skłoniły Sekcję Geograficzną Towarzystwa Wiedzy Wojskowej do wydania pierwszego w języku polskim podręcznika fotogrametrji praktycznej dla użytku wszystkich rodzajów broni oraz jako pomoc szkolną dla wojskowych zakładów naukowych, kursów dla rezerwistów i młodzieży przysposobienia wojskowego. Aby nie obciążać czytelnika dużą ilością formuł i rozważań teoretycznych, umieszczono w niniejszej pracy tylko najniezbędniejsze i najprostsze wiadomości teoretyczne z zakresu fotogrametrji, kładąc główny nacisk na praktyczną stronę odczytywania i wykorzystywania zdjęć lotniczych dla celów obrony kraju i prac pomiarowych.

WYKAZ ZNAKÓW.

F — ogniskowa aparatu fotograficznego.
K — klisza (płyta fotograficzna) lub jej płaszczyzna.
T — płaszczyzna terenu.
O — objektyw (przedmiotnik) i płaszczyzna objektywu, środek rzutów.
G — punkt główny obrazu.
G' — rzut punktu głównego na płaszczyznę terenu.
N — punkt nadirowy.
N' — rzut punktu nadirowego na płaszczyznę terenu.
V — punkt wiernokątny (fokalny).
V' — rzut punktu wiernokątnego na płaszczyznę terenu.
P_N P_N — normalna pionowa oś obrazu.
H_N H_N — normalna pozioma oś obrazu.
P_R P_R — rzeczywista pionowa oś obrazu, linja największego nachylenia.
H_R H_R — rzeczywista pozioma oś obrazu, linja nachylenia zerowego.
OG' — oś optyczna objektywu.
W — wysokość lotu.
w — wysokość względna fotografowanego punktu.
m — odległość punktu obrazu od punktu nadirowego (głównego).
n — odległość nadirowa.
δx — poprawka błędu deniwelacji.
p — podziałka zdjęcia pionowego.
ps — średnia podziałka zdjęcia nachylonego.
P — podziałka mapy.
L — rzeczywista długość rzutu odcinka na płaszczyznę odniesienia, (długość odcinka zmierzonego na mapie).
l — długość odcinka na zdjęciu.
C — rzeczywista długość cienia.
c — długość cienia na zdjęciu.
α (alfa) — kąt nachylenia.
β (beta) — kąt skręcenia.
ν (ni) — kąt nadirowy.
φ (fi) — kąt nachylenia promieni słonecznych do płaszczyzny terenu.
A — lewe stanowisko, terrofotogrametryczne.
B — prawe stanowisko, terrofotogrametryczne.
b — długość bazy (podstawy) przy zdjęciach stereoskopowych i stereoterrofotogram.
a — linjowa paralaksa stereoskopowa (pozioma).
π (pi) — kąt paralaksy.
γ (gamma) — kąt zwrócenia zdjęcia terrofotogram.
μ (mi) — kąt odchylenia od poziomu osi optycznej zdjęcia terrofotogram.
ω (omega) — kąt odchylenia od pionu głównej pionowej osi obrazu zdjęcia terrofotogrametrycznego.
f — ogniskowa przetwornika.
S — źródło światła.
Kd — kondensator.
E — ekran (płaszczyzna ekranu).
St — stolik.
a — odległość środka objektywu od kliszy.
b — odległość środka objektywu od ekranu.
$\varkappa$ (kappa) — kąt nachylenia płaszczyzny kliszy w przetworniku.
o (omikron) — kąt nachylenia płaszczyzny objektywu w przetworniku.
ε (epsilon) — kąt nachylenia płaszczyzny ekranu w przetworniku.

CZĘŚĆ I.

WIADOMOŚCI OGÓLNE

Rozdział 1.

Istota, cele i znaczenie fotogrametrji oraz jej rozwój historyczny.

Fotogrametrja, czyli pomiar na podstawie obrazów fotograficznych jest jedną z nauk mierniczych, obejmującą dokładne, oparte na ściśle matematycznych podstawach, metody przekształcania rzutu środkowego (centralnej projekcji) jakiegoś objektu lub odcinka terenu na rzut prostokątny (ortogonalny), przyjęty dla wykonywania map i planów topograficznych. Posługując się zatem metodami fotogrametrji, można odtworzyć położenie przedmiotów w terenie na podstawienie obrazu fotograficznego o znanej podziałce, czyli otrzymać jego rzut na dowolną płaszczyznę, oraz spółrzędne przestrzenne wszystkich punktów widocznych na zdjęciu.

Najbliższym celem fotogrametrji jest współdziałanie z istniejącemi staremi metodami pomiarowemi, idące w kierunku powiększenia wydajności i dokładności pracy, oraz obniżenia jej kosztów. Jednak niezwykle szybki rozwój fotogrametrji pozwala stwierdzić z całą stanowczością, że ostatecznym jej celem jest zastąpienie stosowanych obecnie przestarzałych, często bardzo uciążliwych i powolnych sposobów prowadzenia pomiarów, sposobami nowemi, których szybkość i dokładność odpowiada całkowicie wymaganiom obecnej chwili.

Już dotychczasowe doświadczenie, zdobyte podczas wojny światowej i po wojnie, wykazało jak ogromne zastosowanie i znaczenie ma fotogrametrja nietylko w dziedzinie obrony kraju i miernictwa wojskowego, ale również w miernictwie cywilnem oraz przy różnych pracach technicznych i gospodarczych.

Są wypadki, w których jedynie fotogrametrja może być stosowana, naprzykład: zdjęcia lub wywiad terenów niedostępnych (zajętych przez nieprzyjaciela, bagien lub gór trudnych do przejścia), sporządzanie planów miast o olbrzymim ruchu ulicznym, określanie granic zalewu rzek podczas powodzi lub w okresie topnienia śniegów i t. p.

Obecny rozwój fotogrametrji jest owocem pracy całego szeregu wybitnych uczonych różnych narodowości. Jako pierwszego należy tu wymienić Francuza *Lambert'a*, który w r. 1777 w dziele swem pod tytułem „O wolnej perspektywie" dał geometryczne podstawy obecnej fotogrametrji, pomimo że fotografja wtedy nie była jeszcze znana. Następnym był również Francuz *Beautemps-Beaupré*, który w latach 1791-93 zaczął praktycznie stosować zasady *Lambert'a*, posługując się szkicami perspektywicznemi.

W r. 1831 *Gay-Lussac i Arago* zwracają uwagę rządu francuskiego, przy okazji swego sprawozdania z badań nad wynalazkiem fotografji, dokonanym wtedy przez Daguerre'a, na możliwość wykorzystania jej do celów mierniczych.

Założycielem praktycznej fotogrametrji był płk. wojsk francuskich *Aimé Laussedat*, który w latach 1851-59 po raz pierwszy sporządził plany małych odcinków terenu ze zdjęć fotograficznych. W r. 1860 fotograf *Nadar* wykonał zespół zdjęć fotograficznych Paryża z wysokości 200 m.

Następnie *inż. Porro i Meydenbauer* posunęli naprzód rozwój instrumentów fotogrametrycznych, a geodeci *Koppe i Jordan* pogłębili tę wiedzę teoretycznie przez zbadanie granic dokładności pomiarów fotogrametrycznych; prace ich zostały uzupełnione i pogłębione przez *R. Sturma i Gwidona Haucka*, którzy w fotogrametrji zastosowali rozwiniętą już podówczas geometrję rzutową (wykreślną).

W początkach obecnego stulecia największe zasługi dla rozwoju fotogrametrji położyli: inż. angielski *Fourcade* w r. 1900 i prof. dr. *Pulfrich* w roku 1903, zapoczątkowaniem stereofotogrametrji oraz kpt. *Orel*, który w roku 1909 w Wiedniu pierwszy zastosował mechaniczne wykorzystywanie obrazów na autografie swojego pomysłu.

Olbrzymi postęp lotnictwa pociągnął za sobą rozwój fotogrametrji powietrznej, której dotrzymuje kroku fotogrametrja ziemna i autogrametrja, wzbogacana prawie corocznie przez nowe pomysły konstrukcyjne i przyrządy, tworzone przez cały szereg wybitnych wynalazców i konstruktorów oraz firm geodezyjnych jak: *Hugershoff-Heyde* w Dreźnie, *Wild* w Szwajcarji, *Gasser* w Berlinie, *Zeiss* w Jenie, *Santoni* we Florencji i *Nistri* w Rzymie, oraz *Roussilhe i Poivilliers* we Francji i *Barr i Stroud* w Anglji. W Polsce pierwsze kroki na tem polu uczyniła firma *Kolberg i S-ka w Warszawie*, budując dwa typy kamer lotniczych własnej konstrukcji.

Problem zastosowania fotogrametrji do triangulacji, a szczególnie do triangulacji powietrznej, stanowiący główny cel trudów całego szeregu uczonych i instytucyj naukowych, został w ostatnich czasach pomyślnie rozwiązany dzięki genialnym, choć prostym, pomysłom całego szeregu uczonych, na czele których należy wymienić nazwiska: Finsterwaldera, Bojkowa, Hugershoffa i Grubera. Budowa ostatnich przyrządów, jak również prace wykonane niemi w tej dziedzinie, wykazują niezbicie, że metoda ta wyszła już ze stadjum doświadczeń i wchodzi całkowicie na na drogę realnej pracy.

Rozdział 2.

Podział fotogrametrji, oraz zastosowanie jej w miernictwie.

Według metod i rodzaju wykonywanych prac, fotogrametrja dzieli się na: powietrzną (aerofotogrametrję), naziemną (terrofotogrametrję) i samoczynną (autogrametrję).

Aerofotogrametrja ma za zadanie wykonywanie wszelkich zdjęć lotniczych z samolotu, sterowca lub balonu na uwięzi, tak dla celów kartograficznych, jak i taktycznych lub gospodarczych i wykorzystywanie ich przez przetwarzanie (prostowanie), doprowadzanie do żądanej podziałki oraz zestawianie tak zwanych fotoszkiców i fotoplanów. Prace aerofoto stosuje się w terenach równinnych dla stworzenia podstaw do pomiarów szczegółowych, przy sporządzaniu zdjęć topograficznych, lub przy poprawianiu (reambulacji) istniejących już przestarzałych map wojskowych, szczególnie w terenach trudnych do przejścia, oraz w terenach górzystych przy zastosowaniu metod autogrametrycznych (ryc. 4).

Podczas wojny zdjęcia aerofotogrametryczne mają bardzo szerokie zastosowawanie przy wywiadzie pozycji i ruchów nieprzyjaciela, oraz jego rezerw i urządzeń pozafrontowych, jak tabory, lotniska, składy amunicji, linje kolejowe, urządzenia stacyjne, ilość czynnego taboru kolejowego i t. p. Wyłącznie na ich podstawie prowadzona jest dokładna ewidencja robót ziemnych, zarówno nieprzyjacielskich, jak i własnych oraz perjodyczna kontrola maskowania własnych pozycyj i demaskowanie nieprzyjacielskich. Zdjęcia lotnicze zdradzają przygotowania nieprzyjaciela do odwrotu, polegające na budowie dróg odwrotowych i niszczeniu własnych urządzeń (magazyny, dworce, mosty).

Szczególne usługi oddają zdjęcia lotnicze w wojnie pozycyjnej przy badaniu przez dowódcę oddziału, bezpośrednio przed natarciem odcinka, przedpola i przeciwległych okopów nieprzyjaciela, oraz przy badaniu przydatności terenu do ataku gazowego przez studjum jego ukształtowania, wilgotności i pokrycia roślinnego. Formacje inżynieryjne korzystają z fotoplanów celem zaprojektowania prac fortyfikacyjnych, zakrojonych na wielką skalę, uzyskując z nich najświeższe i dokładne dane o pokryciu, hydrografji i strukturze terenu.

Zdjęcia aerofotogram. pomagają artylerji przy wyszukiwaniu celów, przygotowaniu ognia, sprawdzaniu jego skuteczności, prowadzeniu ewidencji objektów zniszczonych przez własny ogień.

Niemniej obszerne zastosowanie ma aerofotogrametrja w miernictwie technicznem i gospodarczem: przy zdjęciach katastralnych, sporządzaniu projektów meljoracyjnych lub urządzeń wzorowych gospodarstw rolnych i leśnych, przy wykonywaniu planów dużych miast dla celów turystycznych oraz projektów ich rozbudowy, regulacji rzek, projektowaniu linij kolejowych, połączeń wodnych (kanałów) i t. p.

Gdy chodzi o bardzo szybkie i dokładne przeprowadzenie pewnych pomiarów i obliczeń, np. w celu określenia granic zalewu rzeki podczas powodzi, ustalenia szkód wyrządzonych przez pożar lasów, lub szkodniki (ćma, mniszka i t. p.), określenie drzewostanu i taksację wielkich obszarów leśnych, przeprowadzanie kontroli prawidłowości wyrębów i t. p. — fotogrametrja powietrzna niema sobie równej metody i jest nie do zastąpienia.

Praktycznie stosuje się aerofotogrametrję do wszystkich wyżej omówionych celów i prac pomiarowych od kilkunastu lat

na terenie wszystkich państw europejskich jak również i w Polsce. Poczynając od roku 1923 wykonano u nas cały szereg prac, z których ważniejsze są: olbrzymi fotoplan granicy wschodniej, obejmujący obszar 3000 km^2 w podziałce 1 : 10 000, fotoplany znacznych obszarów kraju, wykonane dla celów specjalnych oraz fotoplany szeregu miast dla celów rozbudowy i regulacji.

Terrofotogrametrja podaje sposoby wykorzystywania zdjęć odpowiednich terenów, robionych z ziemi ze ściśle określonych stanowisk oraz umożliwia sporządzanie z tych zdjęć dokładnej mapy topograficznej (ryc. 5).

Pierwotnie stosowana *terrofotogrametrja stolikowa* polegała na zwykłem mierzeniu obrazu zapomocą metod graficznych. Uzyskane tym sposobem punkty wysokościowe i sytuacyjne, naniesione na stolik mierniczy umożliwiały sporządzenie mapy topograficznej. Metoda ta okazała się w praktyce zbyt uciążliwa i powolna.

Miejsce terrofotogrametrji stolikowej zajęła w pierwszych latach bieżącego stulecia *stereoterrofotogrametrja* (przestrzenne mierzenie obrazów), polegająca na jednoczesnem wykorzystywaniu odpowiednio wykonanych dwóch zdjęć (klisz lub przeźroczy) terrofoto jednego i tego samego odcinka terenu na specjalnych przyrządach optycznych, przy których użyciu obraz terenu występuje plastycznie i można określić spółrzędne przestrzenne każdego punktu widocznego na tym obrazie.

Terrofotogrametrji używa się przy sporządzaniu map w terenach górzystych, trudno dostępnych i otwartych (np. Tatry).

W toku są pomyślne próby zastosowania sposobów terrofotogrametrycznych przy pomiarach katastralnych w terenach górskich, przy zdjęciach wybrzeży morskich, balistyce (do określania toru pocisku), w architekturze przy projektowaniu gmachów i t. p.

Podczas wojny terrofotogrametrja ma duże zastosowanie w razie działań wojennych w terenach wysokogórskich; zastępuje ona wtedy częściowo aerofotogrametrję, umożliwiając dokonywanie bardzo ścisłych pomiarów widocznych pozycyj nieprzyjacielskich, sporządzanie koniecznych panoram dla artylerji z podaniem spółrzędnych celów, wykrycie i dokładne określanie stanowisk czynnych bateryj nieprzyjacielskich i t. p.

Autogrametrja, której początek datuje się dopiero od r. 1909, jest jak gdyby koroną poprzednich dwóch działów fotogrametrji i wysuwa je na czoło istniejących metod pomiarowych, dając możność bezpośrednio ze stereoskopowych zdjęć terro- lub aerofotogrametrycznych automatycznego wyrysowania planów warstwicowych i sytuacyjnych sfotografowanych terenów (ryc. 6a, 6b i 7).

Służące do tego celu przyrządy różnych typów, zwane autografami, są jeszcze drogie i skomplikowane, pomimo to autogrametrja w ciągu kilkunastu lat swego istnienia osiągnęła wspaniałe rezultaty i jest stosowana powszechnie przy opracowywaniu terenów wysokogórskich.

W Polsce sporządza się metodą autogrametryczną plan warstwicowy części Tatr i Beskidów.

Do najnowszych dążeń autogrametrji należy zaliczyć usiłowania wykonywania własnemi metodami *triangulacji* niższego rzędu. Rozpoczęte próby zagęszczania triangulacji IV rzędu, na podstawie zdjęć lotniczych przy użyciu przyrządów autogrametrycznych, dały dopiero niedawno wyniki dodatnie. Jednak już teraz można twierdzić, że przyszłość fotogrametrji leży w dalszym rozwoju metod autogrametrycznych.

Rozdział 3.

Ogólne pojęcie o rzucie środkowym.

Zdjęcia stolikowe (topograficzne) wykonywane są na podstawie rzutu prostokątnego, natomiast zdjęcia fotogrametryczne— przez zastosowanie rzutu środkowego i przekształcenie go następnie na rzut prostokątny. Istotę tych rzutów najlepiej przedstawiają poniższe przykłady i rysunki.

Rzut prostokątny (ortogonalny) punktów A, B, C i D, znajdujących się w przestrzeni, na płaszczyznę N otrzymamy wtedy, gdy z każdego punktu zostanie opuszczona prostopadła na płaszczyznę N; ślady przebicia płaszczyzny przez te proste: A', B', C', D' są rzutami punktów A, B, C, D na płaszczyznę rzutów N. Proste AA', BB', CC' i DD' nazywają się *promieniami rzutującemi*, są one do siebie równoległe i prostopadłe do *płaszczyzny rzutów* N (ryc. 8).

Wzajemny stosunek odległości pomiędzy rzutami punktów na płaszczyznę N nie zmieni się, gdy płaszczyzna ta będzie się oddalała lub zbliżała do punktów A, B, C, D, pozostając jednak zawsze równoległą do swego pierwotnego położenia $(Pł.N_1 \parallel Pł.N)$.

Płaszczyznę rzutów prostokątnych nazywa sią także *płaszczyzną odniesienia.*

Rzut środkowy punktów A, B, C i D na płaszczyznę N otrzymamy wtedy, gdy obierzemy w przestrzeni dowolny punkt O i poprowadzimy z niego promienie przez punkty A, B, C, D aż do przebicia z płaszczyzną N; ślady przebicia A'', B'', C'', D'' będą rzutami środkowemi tych punktów na płaszczyznę N (ryc. 9).

Rzuty środkowe punktów A, B, C, D mają na płaszczyźnie N położenie zasadniczo różne od rzutów prostokątnych tych punktów. W razie zmiany położenia płaszczyzny N w przestrzeni, przy zachowaniu warunku równoległości jej do pierwotnego położenia $(Pł.N_1 \parallel Pł.N)$, zmieni się także położenie na niej rzutów punktów. Proste AA'', BB'', CC'' i DD'' są promieniami rzutującemi; wszystkie one mają jeden punkt wspólny O i przecinają płaszczyznę rzutów N pod różnemi kątami.

Fotografja. Na płaszczyźnie T, którą nazywamy płaszczyzną przedmiotu, znajduje się czworokąt $ABCD$. Czworokąt ten rzutujemy na płaszczyznę rzutów K, stosując rzut środkowy (ryc. 10).

Wybieramy jako *środek rzutów* dowolny punkt O i łączymy go z punktami A, B, C *i* D. Punkty przebicia tych promieni z

płaszczyzną K oznaczamy a, b, c, d i łączymy je ze sobą. Czworokąt $abcd$ jest rzutem czworokąta $ABCD$ na płaszczyznę rzutów K.

Promień wychodzący ze środka rzutów O i prostopadły do płaszczyzny rzutów K przebija ją w punkcie G, płaszczyznę zaś T w punkcie G'.

Jeżeli promień OG' przedłużymy poza środek rzutów O, odłożymy na nim odległość $OG_1 = OG$ oraz przez punkt G_1 poprowadzimy płaszczyznę K_1 równoległą do K, to przedłużając następnie wszystkie promienie poza środek rzutów O otrzymamy na płaszczyźnie K_1 rzut czworokąta $ABCD$ równoznaczny z rzutem $abcd$, lecz w odwróconym układzie $a_1 b_1 c_1 d_1$.

Rzut przedmiotu na płaszczyznę K_1 odpowiada *negatywowi* (kliszy) zdjęcia fotograficznego, zaś rzut na płaszczyznę K — *pozytywowi* (odbitce z kliszy).

Promień OG prostopadły do płaszczyzny K nazywamy głównym promieniem rzutującym.

Wszystkie elementy rzutu środkowego, omówione wyżej, mają swe odpowiedniki w fotogrametrji:

w geometrji rzutowej:	*w fotogrametrji:*
Płaszczyzna przedmiotu T.	Płaszczyzna terenu T.
Płaszczyzna rzutów K_1.	Płaszczyzna kliszy K.
Środek rzutów O.	Objektyw aparatu fotograficznego O.
Główny promień rzutujący OG'.	Oś optyczna objektywu OG'.
Odległość płaszczyzny rzutów od środka rzutów $OG_1 = OG$.	Ogniskowa objektywu F.

(O przekształcaniu rzutu środkowego na rzut prostokątny jest mowa w rozdziałach 22 i 23).

CZĘŚĆ II.

AEROFOTOGRAMETRJA.

Rozdział 4.

Wykonywanie zdjęć lotniczych. Zadanie i sprzęt.

Zdjęcia lotnicze do celów taktycznych i pomiarowych wykonywane są przez specjalnie wyszkolonych lotników obserwatorów, należących do pułków lotniczych, instytucyj mierniczych rządowych lub prywatnych.

Instytucje te mają przeznaczone do tego celu płatowce, kamery lotnicze, ciemnie i magazyny zaopatrzone w potrzebny sprzęt i zapas chemikalij do wywoływania klisz i sporządzania odbitek.

Podczas działań wojennych *ciemnie* polowe mogą być urządzone w specjalnych przyczepkach samochodowych lub wagonach kolejowych (ryc. 11).

Zależnie od swego przeznaczenia zdjęcia lotnicze mogą być wykonywane:

1) *pojedyńczo*, jeżeli chodzi o oddzielne objekty lub małe odcinki terenu,

2) *szeregowo*, gdy zdejmowany teren przedstawia wąski i długi pas (tor kolejowy, rzeka, pozycja piechoty, granica państwa),

3) *zespołami*, przy zdjęciach większych obszarów (ryc. 12).

W drugim i trzecim wypadku musi być zachowane na brzegach zdjęć odpowiednie *krycie*, to znaczy, że pasy zdjętego terenu muszą powtarzać się na sąsiednich kliszach.

Na zdjęciach do stereoskopowego wykorzystania krycie wynosi od 50% do 70%, do zestawiania fotoplanów od 20% do 30%, do poprawiania map — do 10%.

Pokrycie terenu zdjęciami tak dokładne, jak przedstawia je ryc. 12 jest trudne i wykonać je może jedynie bardzo doświadczony i wprawny obserwator. Nie wyklucza to jednak możliwości powstania luk, gdyż dokonywanie zdjęć na oko musi zawsze spowodować znaczne odchylenia (ryc. 13). Dlatego jako pomoc i wskazówkę dla obserwatora stosuje się przyrząd, skonstruowany przez prof. Hugershoffa w Dreźnie i nazwany przezeń *„Quo vadis"* (ryc. 14).

Przyrząd ten, wskazujący lotnikowi i notujący drogę przebywaną przez samolot, wykreśla automatycznie na mapie w podziałce 1:200 000 oś lotu (t. zw. linję nalatywania) i szkic dokładnego pokrycia zdjęciami obszaru, który fotografujemy. Używając tego przyrządu, obserwator ma pewność, że nie ominął ani skrawka terenu i nie zużył więcej klisz niż potrzeba, jak również może odnotować położenie każdego zdjęcia na mapie, jeżeli dokonywuje je pojedyńczo.

Instytucja lub oddział, dający zamówienie na wykonanie zdjęć lotniczych, musi przedewszystkiem określić na załączonej mapie (1:100 000) teren, który ma być zdjęty oraz podać w jakiej podziałce mają być wykonane zdjęcia, jakiego formatu pożądane są klisze lub filmy i w razie możności wyboru, wskazać rodzaj kamery lotniczej. Następnie powinien podać wielkość krycia i rodzaj zdjęć (pionowe lub nachylone), wreszcie określić termin lub pilność wykonania zdjęć.

Większe instytucje pomiarowe zwykle dają własne kamery dla wykonania potrzebnych im zdjęć.

Po wykonaniu zdjęć, wywołaniu klisz i sporządzeniu odbitek stykowych, obserwator jest obowiązany granice każdego zdjęcia nanieść odpowiednio na mapę oraz oznaczyć odbitki i klisze numerami kolejnemi z podaniem na odbitkach przedmiotu zdjęcia, elementów orjentacji zdjęcia i daty wykonania danego lotu. W takim stanie odbitki, klisze i mapę po ukończeniu zadania odsyła się do zainteresowanego oddziału lub instytucji w celu ich wykorzystania.

Fotograficzne kamery lotnicze, służące tak do celów pomiarowych, jak i wywiadowczych, są to aparaty precezyjnie i mocno budowane przeważnie z metalu (aluminjum), zaopatrzone w jasne, wiernokątne objektywy (nie zniekształcające obrazu) i bardzo szybkie migawki. Schemat kamery lotniczej przedstawia ryc. 15.

Najwięcej używane *formaty* zdjęć lotniczych są: 13 × 18, 18 × 24, 15 × 15 i 18 × 18. *Ogniskowa F* kamer pomiarowych wynosi 18 — 26 cm, kamer wywiadowczych 30 — 120 cm. Jasność objektywu, tak zwana *siła światła*, bywa zwykle 1:4,5 lub 1:6,3, a niekiedy nawet 1:3,5 i 1:2,7; jest to stosunek średnicy otworu skutecznego objektywu do długości ogniskowej: siła światła $= \frac{\text{otwór skuteczny}}{\text{ogniskowa}}$ (ryc. 16, 17 i 18).

Ponieważ zdjęcia lotnicze wykonywa się prawie wyłącznie z dużych wysokości, odległość objektywu od kliszy jest stała i równa się *F*, to znaczy, że kamera jest nastawiona na ∞ (nieskończoność). W celu otrzymania jasnego negatywu i wyrazistości szczegółów, każda kamera jest zaopatrzona w *żółty filtr*, zatrzymujący zbyt silnie działające na kliszę promienie niebieskie i fioletowe, których procentowa ilość w stosunku do innych promieni wzrasta w miarę oddalenia aparatu od powierzchni ziemi.

Najszybsze z migawek, używanych przy kamerach lotniczych, są *migawki szczelinowe*, umieszczane między objektywem a kliszą w postaci rolety ze szczeliną; czas zdjęcia przy migawce szczelinowej, której szczelina i szybkość reguluje się zależnie od warunków oświetlenia, może być ograniczony do 0,001 sekundy. W najnowszych kamerach precyzyjnych (pomiarowych) stosuje się przeważnie zwykłe *migawki centralne* (wycinkowe), umieszczane w objektywie między soczewkami. Migawki te, pomimo mniejszej szybkości (1/300 sek.), nie powodują zniekształceń obrazu, powstających skutkiem szybkiego lotu, co zdarza się przy użyciu migawek szczelinowych z powodu kolejnego naświetlania kliszy (np. koło może wyjść na zdjęciu trochę rozciągnięte — jako elipsa). Ostatnio zostały wprowadzone *migawki żaluzjowe* (skrzelicowe) naświetlające równomiernie całą kliszę (ryc. 19).

Nowoczesna kamera lotnicza ma w tylnej swej części *ramkę* metalową, lub płytę szklaną, do której przyciśnięta klisza lub film, znajduje się w chwili zdjęcia w położeniu prostopadłem do głównej osi optycznej objektywu i jak najdokładniej w odległości *F* od niego. Na ramce lub szklanej płycie są umieszczone 4 lub 5 znaków odbijających się na kliszy i służących do określenia jej punktu głównego oraz ewentualnego wpasowania pary klisz w imadła przyrządów optycznych, służących do wykorzystywania zdjęć.

Niektóre kamery mają na ramce specjalne urządzenia w postaci poziomnicy lub wahadełka, które odbijają na kliszy kąt nachylenia i skręcenia z dokładnością do 1°, oraz numerator odbijający na kliszy kolejny numer zdjęcia. Znaki te nazywamy wskaźnikami orjentacyjnemi zdjęcia (ryc. 20).

Kamerami lżejszemi do zdjęć pojedyńczych i nachylonych może się lotnik posługiwać z wolnej ręki, dokonywując zdjęć z burty samolotu. Aparatów większych lub do zdjęć szeregowych używa się umocowanych do płatowca na specjalnem *podwieszeniu*, zmontowanem na dnie płatowca, w którem jest otwór na objektyw i celownik (ryc. 21).

Zadaniem podwieszenia jest umocowanie kamery w płatowcu, zneutralizowanie przygodnych pochyleń samolotu oraz amortyzowanie wstrząsów, spowodowanych pracą silnika. Dla osiągnięcia powyższego, stosowane są łożyska kardanowe i podkłady z wojłoku, gumy lub piłek tennisowych.

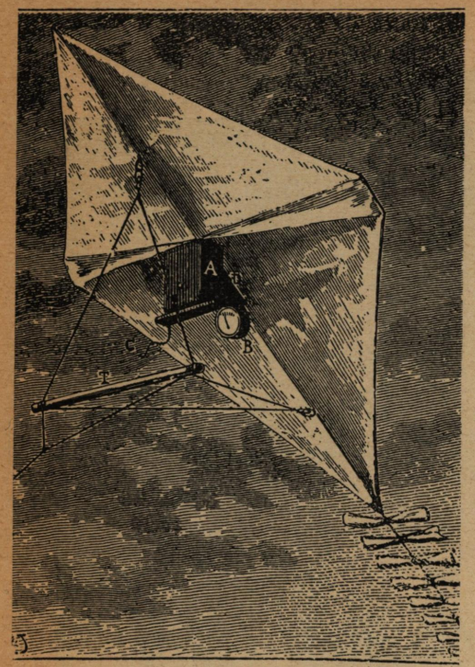
Do fotografowania większych obszarów używa się taśm filmowych (błon) i naświetla się je podobnie jak zdjęcia kinematograficzne, przyczem może być zastosowane urządzenie do automatycznego naświetlania, którego częstość jest uzależniona od szybkości samolotu i wysokości, z której dokonywa się zdjęcia. Zdjęć na błonach może lotnik wykonać kilkaset w ciągu jednego lotu w przeciwieństwie do zdjęć na kliszach, których ilość jest bardziej ograniczona, ze względu na objętość materjału. Szeregi zdjęć w ten sposób wykonanych mogą mieć znaczne zniekształcenia, skutkiem wiraży samolotu, na co należy zwrócić uwagę przy wykorzystywaniu.

Tabela porównawcza wydajności pracy lotniczemi kamerami filmowemi o różnych formatach w ciągu 1 godziny pracy.

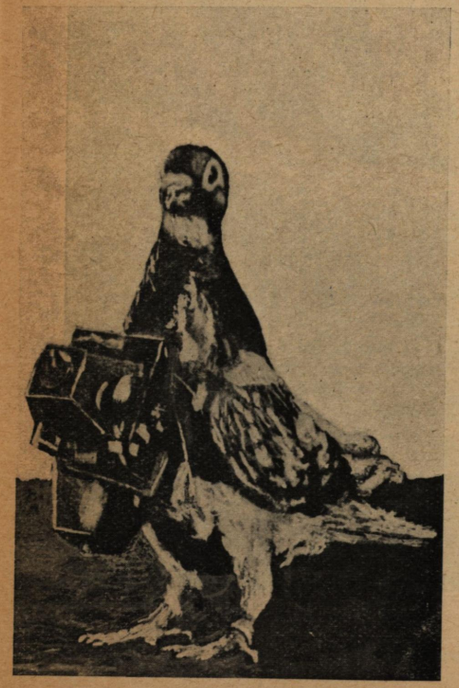
Wymiar filmu	*F* cm.	*W* mtr.	*p*	*v* km/godz.	*t''*	krycie	Ilość zdjęć na godzinę	Pokrycie terenu w w ciągu 1 godziny w km.².
18 × 24	26	2600	1 : 10 000	150	33,6	20 %	107	315
18 × 18	21	2100			33,6		107	210
13 × 18	18	1800			24,0		150	210
15 × 15	18	1800			28,8		125	180
9 × 12	15	1500			16,8		214	134

UWAGA: *v* oznacza szybkość lotu w km/godz.; *t''* oznacza odstęp czasu w sek. pomiędzy kolejnemi naświetlaniami.

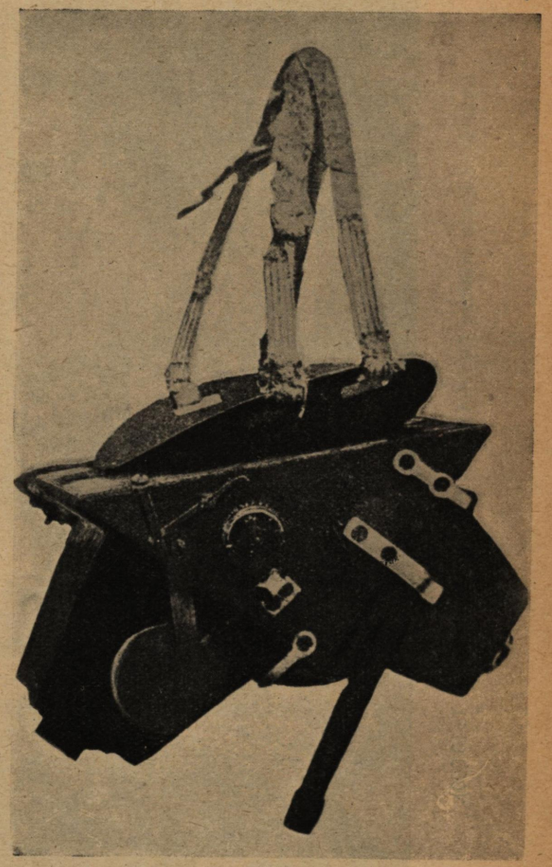
Zdjęcia wywiadowcze i mniejszych obszarów do celów pomiarowych wykonywa się ze zwykłego samolotu wojskowego dwumiejscowego, którego obsługę stanowią pilot i obserwator fotograf. Dla zdjęć większych obszarów (np. przy meljoracji Polesia) używa się samolotów pasażerskich, w których prócz pilota i obserwatora mieści się jeszcze jeden lub dwóch pomocników.



Ryc. 1. Aparat fotograficzny przymocowany do latawca.

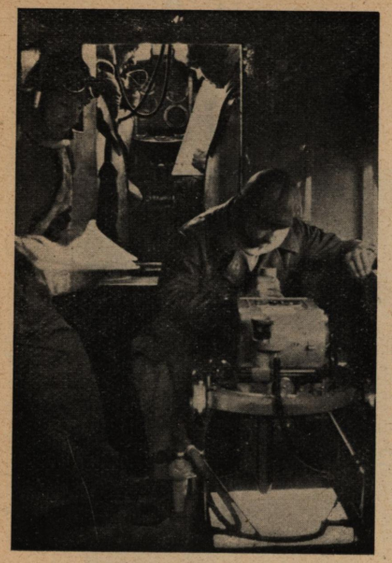


Ryc. 2. Gołąb pocztowy z aparatem fotograficznym.

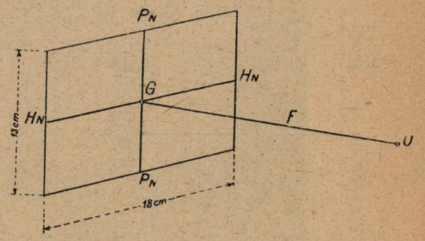


Ryc. 3. Aparat gołębi systemu Neibronnera (3/4 w. nat.).

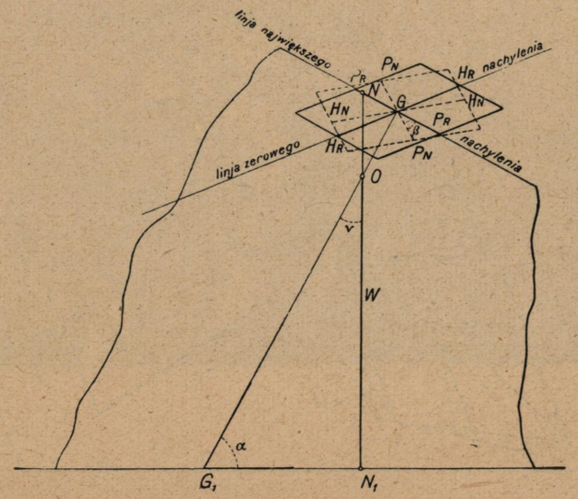
Ryc. 4. Zdjęcie lotnicze (aerofotogrametryczne) w podziałce 1 : 10 000).



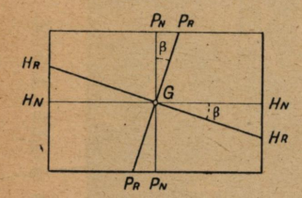
Ryc. 23. Praca obserwatora i pomocnika w samolocie pasażerskim przy kamerze automatycznej.



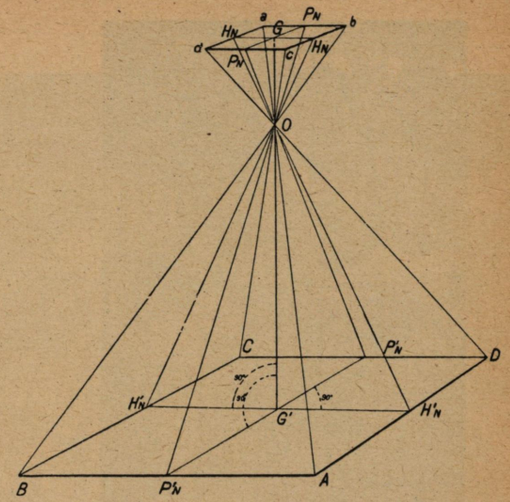
Ryc. 24. Elementy orjentacji zewnętrznej zdjęcia lotniczego.



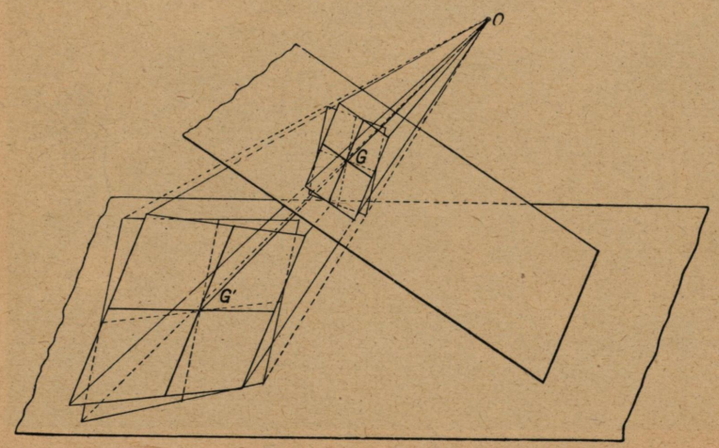
Ryc. 25. Elementy orjentacji zewnętrznej zdjęcia lotniczego.



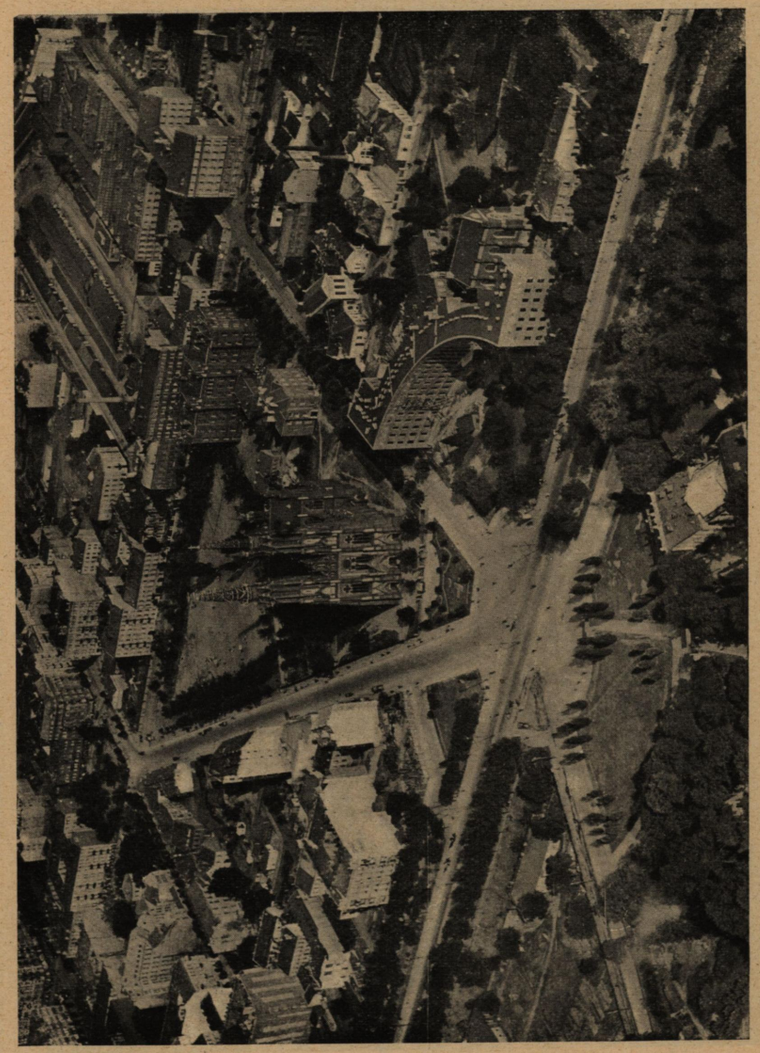
Ryc. 26. Rzeczywisty krzyż osiowy obrazu i kąt skręcenia β.



Ryc. 27. Zdjęcie pionowe i rzut jego na teren.

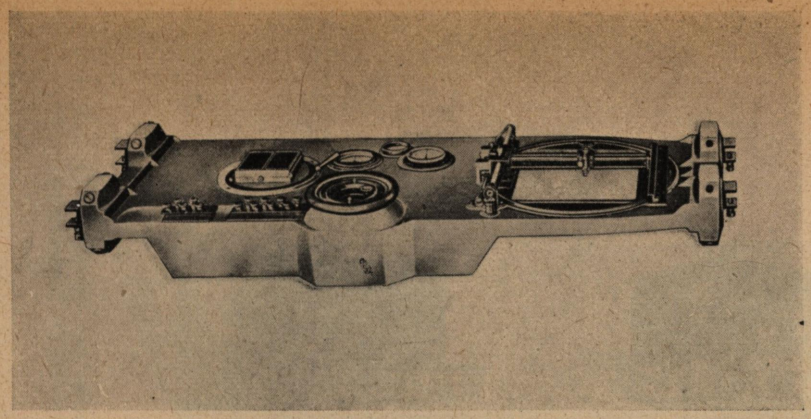


Ryc. 28. Zdjęcie nachylone i skręcone oraz rzuty ich na teren.

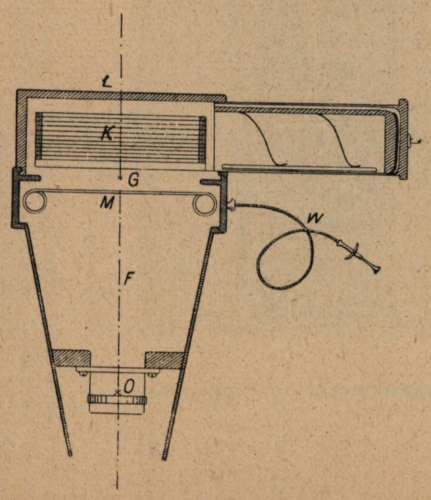


Ryc. 29. Zdjęcie perspektywiczne miasta.

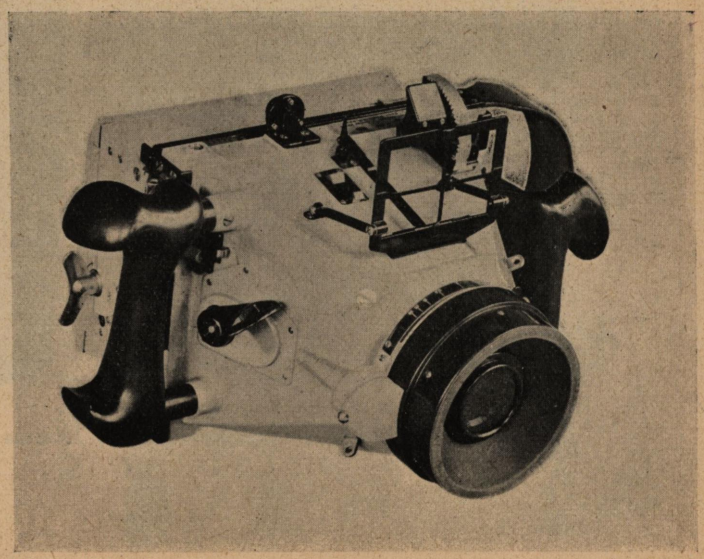
Ryc. 30. Zdjęcie perspektywiczne miasta.



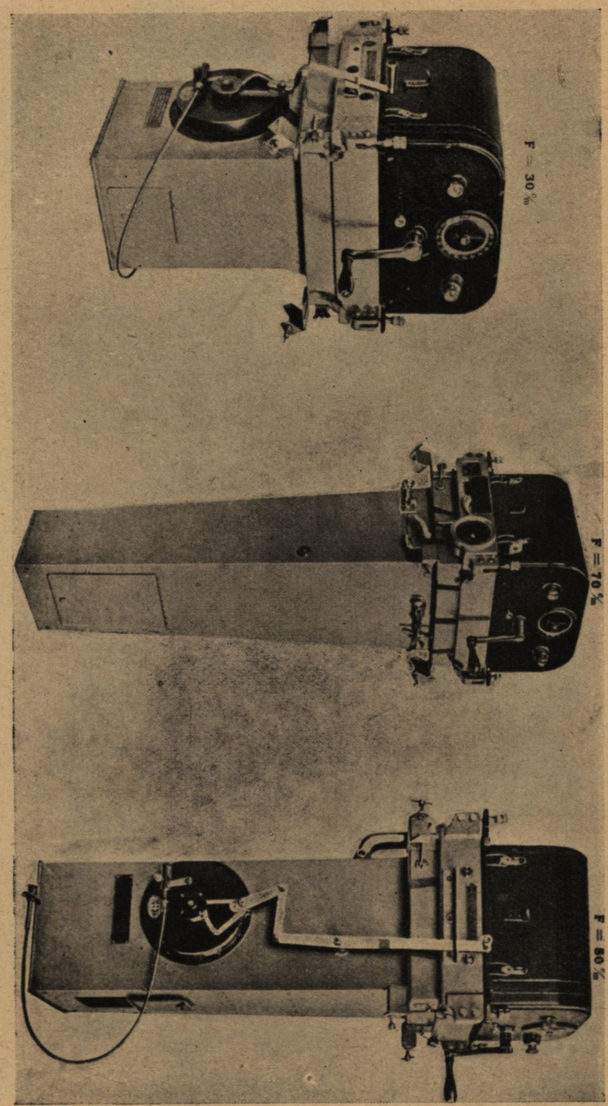
Ryc. 14. „Quo-vadis", przyrząd umożliwiający dokładne krycie zdjęć i wskazujący drogę, przebytą przez lotnika. (Hugershoff-Heyde w Dreźnie).



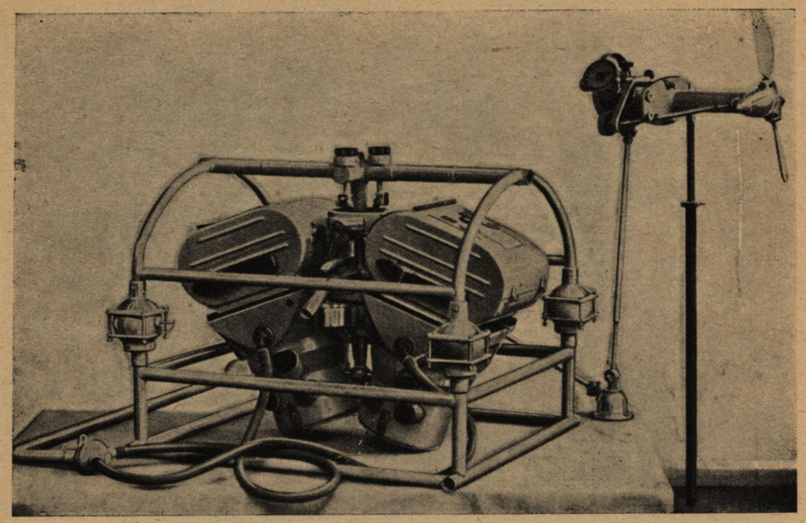
Ryc. 15. Schemat kamery lotniczej: *O* — objektyw, *M*—migawka szczelinowa, *GO*=*F*—ogniskowa, *Ł* — ładownik, *K* — klisze, *W* — wężyk migawki.



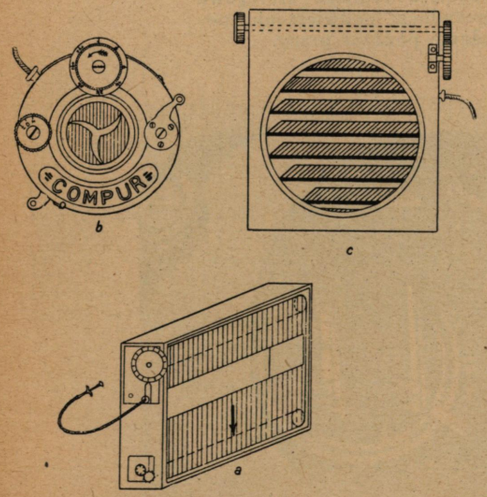
Ryc. 16. Miernicza kamera lotnicza Hugershoff'a (format 13 × 18).



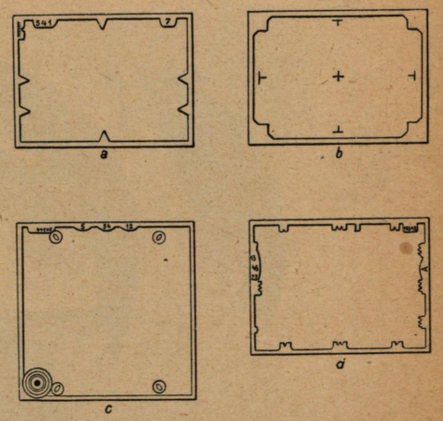
Ryc. 18 Francuskie kamery lotnicze wywiadowcze o różnych ogniskowych.



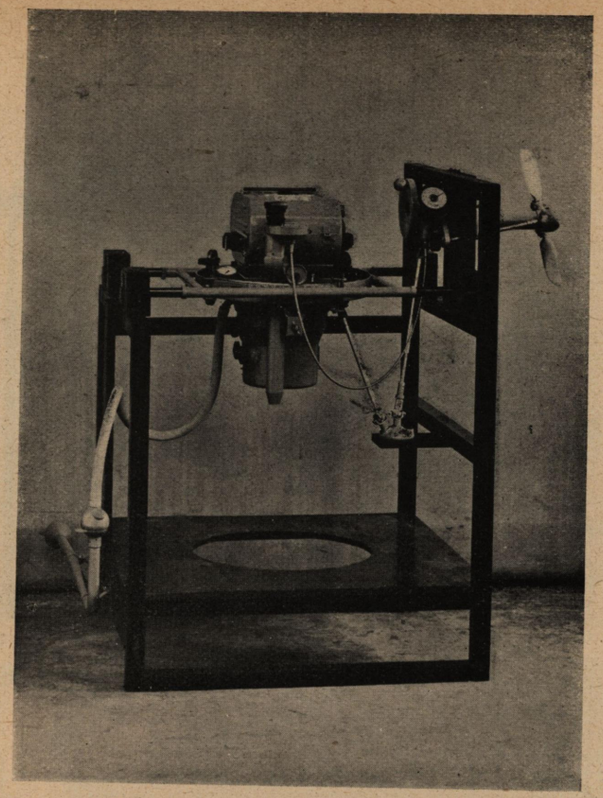
Ryc. 17. Automatyczna stereoskopowa kamera lotnicza Zeiss'a.



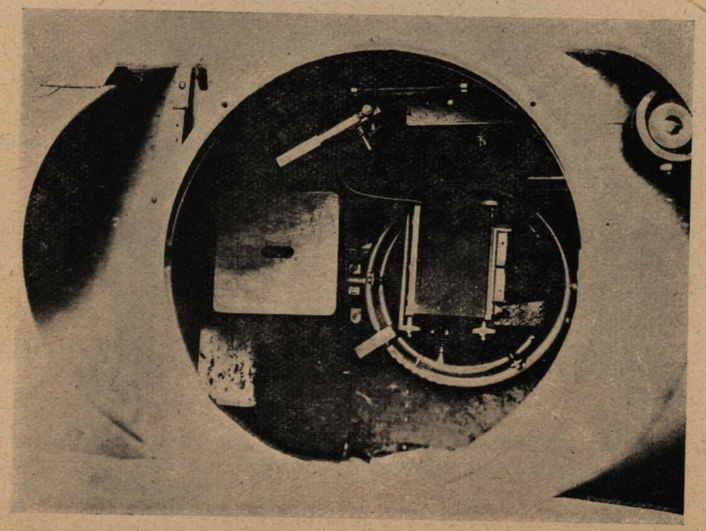
Ryc. 19. Migawki: a) szczelinowa, b) centralna (wycinkowa) i c) żaluzjowa (skrzelicowa).



Ryc. 20. Ramki zdjęć lotniczych: a) w kamerze mierniczej Goldmana, b) w kamerze lotniczej Hugershoff'a, c) w najnowszej kamerze mierniczej Zeiss'a i d) w fototeodolicie Zeiss'a.



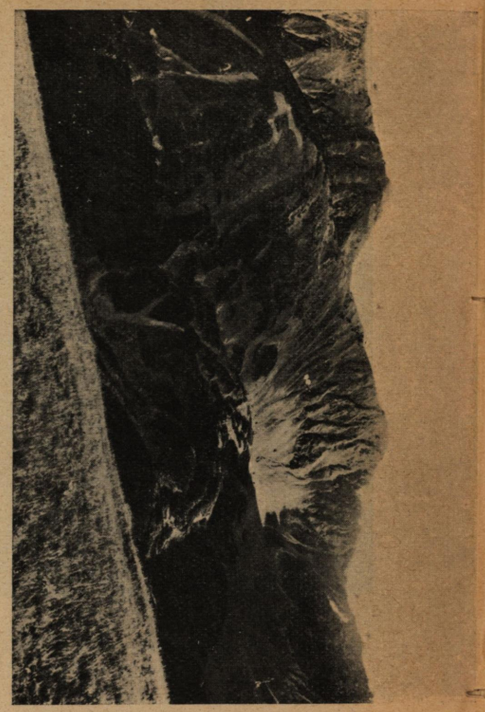
Ryc. 21. Automatyczna kamera lotnicza szeregowa Zeiss'a, zmontowana na specjalnem podwieszeniu, podobnie jak w samolocie podczas pracy.



Ryc. 22. Kamera lotnicza wmontowana w samolocie wojskowym. Widok zgóry, fotel obserw. zastąpiono stołeczkiem z braku miejsca.

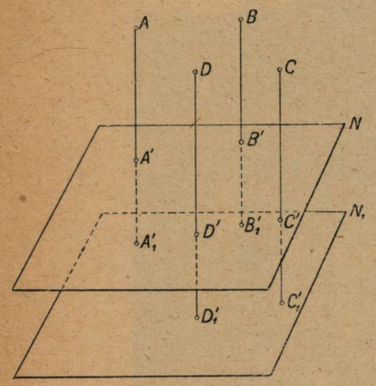
Ryc. 5. Zdjęcie naziemne (terrofotogrametryczne) wykonane fototeodolitem Zeissa, wymiar 13 × 18 (2/3 wielkości naturalnej).

Ryc. 7. Odcinek terenu, opracowany na aerokartografie Hugershoff'a ze zdjęć terrofotogrametrycznych (ryc. 6a i 6 b).

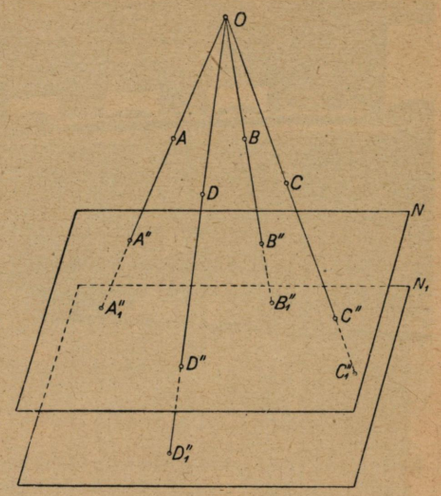


Ryc. 6a. Para zdjęć terrofotogrametrycznych (Tatry).

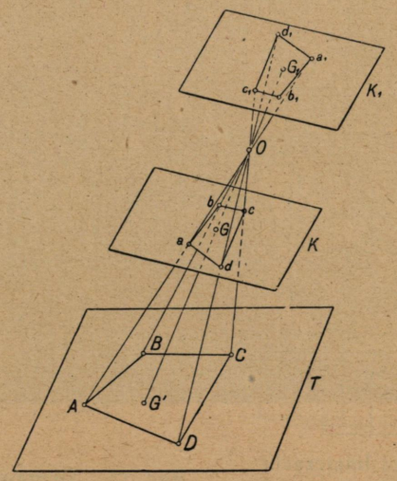
Ryc. 6b. Druga para zdjęć terrofotogrametrycznych z poprzedniego terenu (ryc. 6a).



Ryc. 8. Rzut prostokątny punktów na płaszczyzny równoległe.

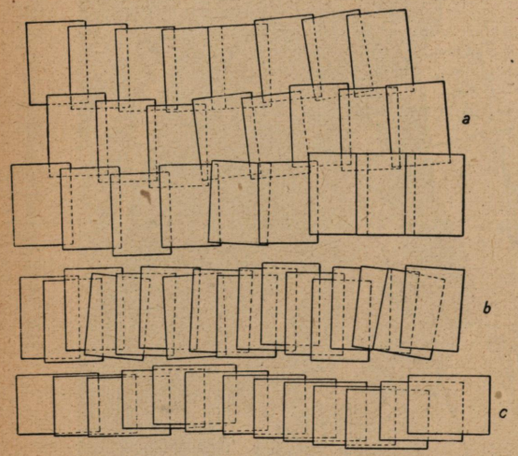


Ryc. 9. Rzut środkowy punktów na płaszczyzny równoległe.

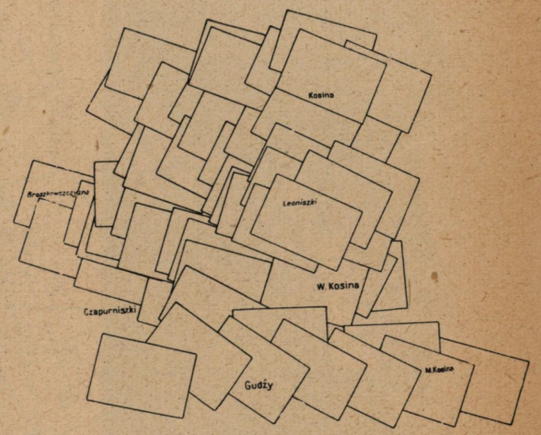


Ryc. 10. Rzuty środkowe figury geometrycznej na płaszczyzny równoległe: pozytywny i negatywny.

Ryc. 11. Przyczepka samochodowa zawierająca polową ciemnię fotograficzną z samochodem gąsienicowym.

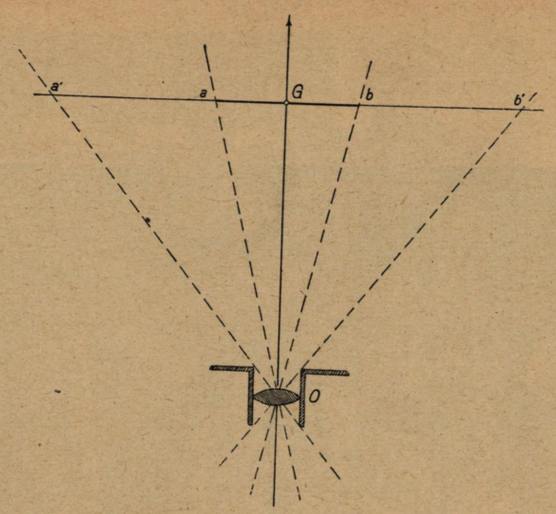


Ryc. 12. Prawidłowe krycie zdjęć lotniczych:
a) dla szeregów i zespołów do fotomapy,
b) dla wykorzystania stereoskopowego i
c) dla wykorzystania na aerokartografie Hugershoff'a (format 13 × 18).

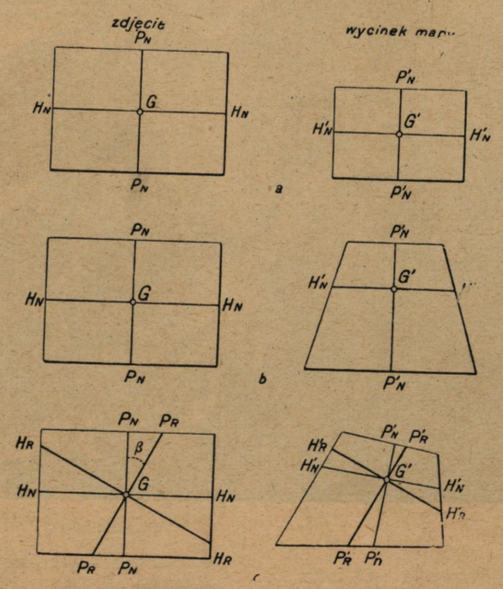


Ryc. 13 Nieprawidłowe krycie zdjęć lotniczych.

Ryc. 31. Zdjęcie perspektywiczne miasta.



Ryc. 32. Wykorzystana część pola widzenia objektywu kamery.



Ryc. 33. Zdjęcia i rzuty ich na płaszczyznę terenu i mapy: a) pionowe, b) nachylone i e) skręcone.

UNIWERSYTET im. A. MICKIEWICZA
Wydział Nauk
Geograficznych i Geologicznych
BIBLIOTEKA
ul. Fredry 10 – Telefon 593-27
61-701 Poznań