



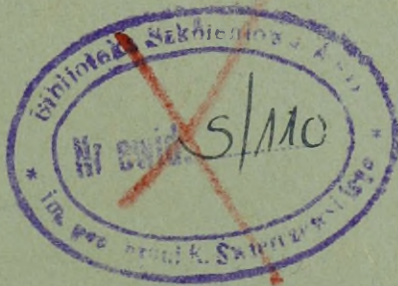
**AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO**  
im. gen. broni K. Świerczewskiego

WYDZIAŁ nr 3  
KATEDRA nr 33

ppłk Józef SŁAWIŃSKI

**Temat: ZASTOSOWANIE FOTOGRAFII KOLOROWEJ  
I PODCZERWONEJ W LOTNICZYM ROZPOZNANIU  
FOTOGRAFICZNYM**

(Skrypt)



4284

1961



**AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO**  
im. gen. broni K. Swierczewskiego

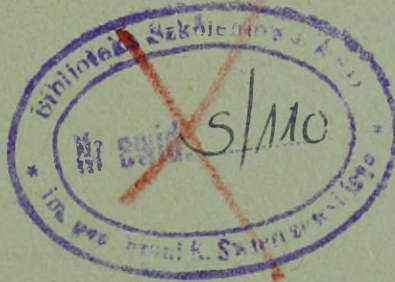
---

WYDZIAŁ nr 3  
KATEDRA nr 33

ppłk Józef SŁAWIŃSKI

**Temat: ZASTOSOWANIE FOTOGRAFII KOLOROWEJ  
I PODCZERWONEJ W LOTNICZYM ROZPOZNANIU  
FOTOGRAFICZNYM**

(Skrypt)



4284

---

1 9 6 1

AKADEMIA SZTABU GENEALNEGO  
Im. gen. broni K. SWIERCZEWSKIEGO

WYDZIAŁ Nr 3

KATEDRA Nr 33

"ZATWIERDZAM"  
SZEF KATEDRY Nr 33

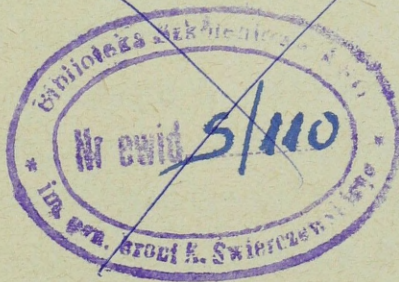
ppłk dypl. Roman GWORAK

35

ppłk Józef SZAWIŃSKI

Zastosowanie fotografii kolorowej i podczerwonej  
w lotniczym rozpoznaniu fotograficznym.

/Skrypt /



REMBEŃTÓW

WRZEŚNIEN

1961 ROK

## W S T 3 P

Współczesne działania wojenne, w których przewiduje się szerokie użycie broni masowego rażenia, zmuszają do poszukiwania coraz to nowych sposobów i środków rozpoznania zapewniających jak najkorzystniejsze jej użycie na polu walki. Zastosowanie broni masowego rażenia i nowoczesnego sprzętu bojowego powoduje to, że współczesne działania bojowe będą cechowały się dużą dynamiką i szybkimi zmianami sytuacji na polu walki i nie tylko na polu walki. Tak szybko zmieniająca się sytuacja na polu walki wymagać będzie od rozpoznania wojskowego dostarczenia dowództwu w jak najkrótszym czasie odpowiednich danych o uplu.

Jednym ze sposobów prowadzenia rozpoznania jest lotnicze rozpoznanie fotograficzne, które wchodzi w skład lotniczego rozpoznania.

Lotnicze rozpoznanie fotograficzne w odróżnieniu od innych sposobów rozpoznania jest w stanie w stosunkowo krótkim czasie dostarczyć dowództwu dokumentalnych, szczególnieśwycych i wiarygodnych danych o sytuacji bojowej i ważniejszych obiektach upla.

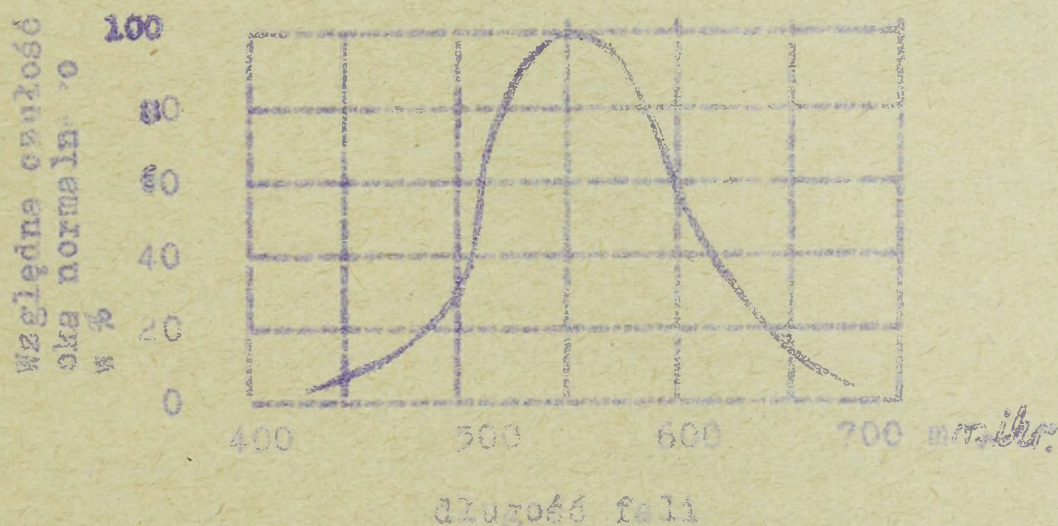
Wyraźny postęp w rozwoju fotografii wojskowej przypada na okres powojenny, ponieważ w tym to okresie skonstruowano nowoczesne lotnicze aparaty fotograficzne o dużej zdolności rozdzielczej obiektów, wyprodukowano lotnicze błony fotograficzne o dużej czułości i dużej zdolności rozdzielczej oraz wyprodukowano lotnicze błony barwna wielowarstwowe i błony podczerwone uczulone na promienie podczerwone o odpowiedniej długości fal. Rozwój tego sposobu rozpoznania jest uzależniony w głównej mierze od rozwoju i postępu technicznego przemysłu optycznego i chemicznego, które zaopatrują jednostki rozpoznawcze w nowoczesny lotniczy sprzęt fotograficzny i wysokiej jakości materiały światłoczułe. Na szczególną uwagę zasługuje lotnicza fotografia barwna i podczerwona, które ułatwiają odczytywanie obiektów zamaskowanych sztucznym maskowaniem i maskowaniem specjalnym.

## FOTOGRAFIA KOLOROWA

### 1. Ogólne wiadomości o promieniach świetlnych i barwie.

Dla zrozumienia zasady, na której oparte jest fotografowanie w kolorach naturalnych, należy wpiern zapoznać się z podstawowymi pojęciami wyjaśniającymi zjawiska światła i barwy. Światło jest tą częścią energii promieniowania wydzielanej przez wiele ciał, które w wyniku działania na siatkówkę oka ludzkiego wywołuje wrażenie jasności. Światło, tak samo jak inne rodzaje energii promieniowania /fale radiowe, promienie rentgenowskie, promienie słoneczne/, przenosi się jako fale elektromagnetyczne rozchodzące się w próżni z prędkością 300000 km/sek. Każdą energią promieniowania charakteryzują jakościowo długości fal elektromagnetycznych lub ich odpowiednie częstotliwości. Zakres długości fal świetlnej energii promieniowania jest niewielki w stosunku do ogólnego zakresu długości fal wszystkich rodzajów energii promieniowania. Ale nawet i ten mały wycinek fal świetlnych nie jest jednolity. Ponieważ rozpada się na wszystkie barwy widma słonecznego. Przy pomocy pryzmatu szklanego lub siatki dyfrakcyjnej można rozdzielić białe światło słoneczne na wiązki barwnych promieni. Wiązki tych promieni wahają się w granicach długości fal od 380 m do 760 m - i obejmują purpurę, barwę pomarańczową, żółtą, zieloną, niebieską i fioletową wraz z ich odcieniami i przejściami z jednej barwy w drugą. Najdłuższe fale odpowiadają barwie purpurowej, najkrótsze barwie fioletowej. Widmo słoneczne składa się w przeważającej mierze z barwy niebieskiej, zielonej i czerwonej. Inne barwy zajmują w nim mniej miejsca. Dlatego ogólnie można powiedzieć, że widzialne światło słoneczne składa się z trzech zasadniczych barw: niebieskiej, czerwonej i zielonej.

Wszystkie inne barwy bądź są odcieniami tych trzech bądź składają się z nich. Należy zwrócić uwagę na to, że oko ludzkie ma małą czułość na promienie o długości fali poniżej 400 milimikr. i powyżej 700 milimikr., a w związku z tym przy jednej i tej samej mocy energii promieniowania oko ma niejednakową względną czułość na różne barwy. Właściwość tę obrazuje krzywa wykresu na rysunku 1. Jak widać największa czułość oka przypada na barwę żółtozieloną. Promień światła "białego" rozczepiony przy pomocy pryzmata na składowe promienie barwne można otrzymać ponownie, jeżeli na drodze - powstałej na rozczepieniu - wiązki promieni barwnych umieści się dwuwypukłą soczewkę skupiającą. Na jej osi światło powstaje drogą promieniowania cieplnego, w wyniku przemiany w energię promieniowania części energii cieplnej ogrzanego ciała.



Rys. 1. Zależność czułości normalnego oka ludzkiego od długości fali promieni światła.

Tablica 1.

Charakterystyka poszczególnych zakresów spektralnych światła

Barwa	Długość fali /w milimikr./	Barwa	Długość fali /w milimikr./
Ciemno fioletowa	380-450	żółta	565-580
Niebieska	450-485	pomarańczowa	580-600
Niebiesko-zielona	485-495	czarna	600-640
Zielona	495-565	czarno-czarna	640-760

Na przykład kawałek żelaza ogrzany do określonej temperatury świeci czerwono, a dalsze ogrzewanie powoduje świecenie o barwie pomarańczowej, następnie - żółtej i w końcu otrzymuje się świecenie światłem białym.

Jakość energii promieniowania słońca wynika z wysokiej temperatury jego masy.

Należy jednak odróżniać barwy powstające przez rozczepienie promieni słonecznych w pryzmacie od barw jakie przedstawiają farby na palecie malarza. Farby są ciałami chemicznymi, które można mieszać na paletcie i nakładać na biały papier lub płótno, a barwy utworzone przez widmo słoneczne są "bezcieleśne", powstają przez rozłożenie: białego światła słonecznego i z chwilą, gdy barwne promienie przestają padać na papier, przybiera on z powrotem swoją pierwotną barwę.

Światło słoneczne, w zasadzie nie jest białe, można tylko powiedzieć, że oko ludzkie odnosi wrażenie, dopóki stosunek promieni widma jest stały. Przy najmniejszym zakłóceniu pozycji tych promieni znika biały kolor i oko widzi światło barwne.

Przedmioty, które nas otaczają nie mają właściwie żadnej barwy, gdyż barwa ich zależy od padającego na nie światła. Na przykład, kartka zielonego papieru widziana w świetle lampy czerwonej jest czarna. Barwy widziane w życiu codziennym są mieszaniną czystych barw tęczyowych znajdujących się w rozmaitych stosunkach ilościowych. Jeżeli więc kartę białego papieru wzniosł i oświetlił mieszaniną barwy niebieskiej i czerwonej, kartka ta przybierze barwę purpurową, a jeżeli oświetlił ją mieszaniną barwy zielonej i czerwonej, będzie miała barwę żółtą.

Fotografowane przedmioty mają zawsze jakąś ściśle określoną barwę, która może ulegać zmianom w zależności od koloru padającego na nie światła, ale w normalnym białym świetle słonecznym będą miały swoją własną stałą barwę.

W przyrodzie barwa ciał wynika z tego, że mogą one w różnym stopniu pochłaniać, względnie odbijać składowe promienie światła białego o różnych długościach fali.

Ponieważ światło słoneczne składa się z trzech sąsiednich barw, w związku z tym, gdy promień tego światła padnie na

jakieś przedmiot, to część jego zostanie pochłonięta, a część odbita. Odbiór ta część promienia słonecznego, która została odbita od danego przedmiotu, decyduje o jego kolorze.

Na przykład czerwony kwiat ~~z pochłonięciem~~ pochłania barwy niebieską i zieloną, odbija zaś czerwoną i stąd powstaje jego "własny" kolor. Jeżeli na ten sam kwiat padnie promień światła nie zawierający barwy czerwonej, nie może ona być odbita i przedmiot przybierze inny kolor. Jeżeli dany przedmiot odbija wszystkie barwy zasadnicze promieniowania słonecznego w sposób równomierny i jeżeli promieniowanie to posiada normalny skład - /to jest właściwą proporcję wszystkich barw/ to przedmiot będzie biały. Jeżeli przedmiot pochłania wszystkie barwy zasadnicze promieniowania słonecznego - będzie czarny, jeżeli natomiast pochłania je częściowo w sposób równomierny i jeżeli promieniowanie to posiada normalny skład /to jest właściwą proporcję wszystkich barw/, to przedmiot będzie biały. Jeżeli przedmiot pochłania wszystkie barwy zasadnicze promieniowania słonecznego - będzie czarny, jeżeli pochłania je częściowo, ale w różnym stopniu - będzie szary, natomiast jeżeli pochłania tylko część barw - będzie barwny, zależnie od tego jakie promienie i w jakim stopniu pochłania.

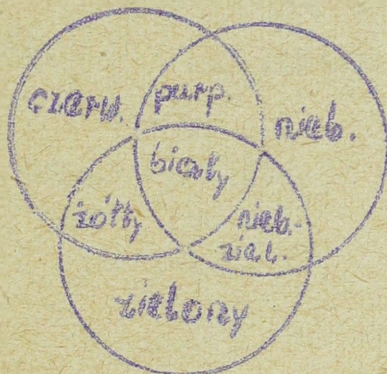
Jeżeli przedmiot jest przezroczysty, to o jego barwie decyduje część światła, która przez niego przechodzi. W obu przypadkach zostaną pochłonięte te same promienie.

Mieszając ze sobą trzy barwy zasadnicze otrzymuje się inne, na przykład zieloną z niebieską daje kolor niebiesko-zielony, niebieską z czerwoną daje purpurę i tak dalej. Przez stosowanie rozmaitych proporcji w mieszaniu otrzymuje się barwy złożone ze wszystkich odcieleniach.

Nawet czarna barwa może być uzyskana z tych trzech zasadniczych barw zmieszanych w odpowiedniej proporcji. W praktyce nie jest to tak proste, bo nie ma barw zupełnie "czystych", a w związku z tym ich mieszanie daje zawsze odcielenie, na przykład zamiast czarnej otrzymuje się z reguły barwę ciemno szarą, bo trzy barwy zasadnicze nie były czyste lub nie udało się ich wymieszać w odpowiednim stosunku.

Mieszanie barw może być wykonane metodą odejmowania /subtraktywną/ oraz metodą dodawania /addytywną/.

Według metody addytywnej dodaje się do siebie poszczególne barwy, na przykład w ten sposób, że na biały ekran rzucą się za pomocą szutników zaopatrzonych w barwne filtry poszczególne kolory, które nakładając się jeden na drugi dają razem barwy naturalne /rys.2/.



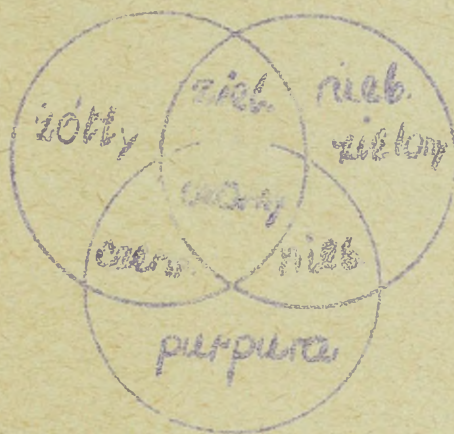
Rys.2. Metoda addytywna mieszania barw.

Jeżeli na przykład przez trzy szutniki rzucić na ekran kręgi zabarwione na kolor czerwony, zielony i niebieski, to łącznie dadzą one barwę białą, a tam gdzie nakrywają się tylko częściowo, utworzą wszelkie inne barwy.

W przyrodzie kolory powstają przez odejmowanie barw, co nazywa się procesem subtraktywnym. Przedmioty barwne pochłaniają część widma słonecznego, odbijając resztę i ta odbita część decyduje o tym, jaką otrzyma barwę dany przedmiot.

Na przykład, jeżeli na kawałku papieru nanalewać purpurowe kółko, to nie świadczy o tym, że dodano do białego papieru purpurowej barwy, bo trudno mówić o dodaniu tam, gdzie biały papier został zabarwiony. W tym miejscu odjęto coś z niego wszystkie barwy widma prócz barwy purpurowej. Jeżeli na to purpurowe kółko nałożyć drugie żółte i trzecie niebiesko-białe, a używa się farb przezroczystych tak, że ich efekty mogą się sumować, uzyska się razem barwę czarną, bo stopniowo zabrano papierowi wszystkie jego barwy składające się razem na barwę białą /rys.3/.

W fotografii kolorowej metoda addytywna wypierana jest przez metodę subtraktywną, która zapewnia znacznie lepsze oddanie barw. Zasadniczą ujemną cechą tej metody jest to, że nie można otrzymać barwnych pozytywów na papierze wskutek dużej straty światła. Dlatego też w wojskowej fotografii barwnej tej metody nie stosuje się.



Rys. 3. Metoda subtraktywna mieszania barw.

## 2. Metoda odejmowania barw /subtraktywna/.

Sposób ten polega na odejmowaniu od światła białego jednej lub więcej barw podstawowych. Przykładem subtraktywnego sposobu tworzenia barw może być kolejne przechodzenie światła przez tzw. subtraktywne filtry barwne /żółty, purpurowy i niebiesko-zielony/, o różnej gęstości. Jeżeli źródłem światła białego jest np. biała powierzchnia, to przez naniesienie na nią barwników warstwami o różnej gęstości /tzn. przez zmianę gęstości optycznych barwników szkodowych/, można utworzyć dowolną barwę. W danym przypadku każde warstwa barwnika staje się filtrem barwnym, przy czym przez filtry to światło przechodzi dwa razy /przy padaniu i po odbiciu się od białej powierzchni/.

Wyobraźmy sobie trzy szybki szklane zabarwione na kolory: niebiesko-zielony, purpurowy i żółty. Niebieski kolor dodany do zielonego tworzy razem kolor niebiesko-zielony, niebieski w połączeniu z czerwonym daje kolor purpurowy, a kolor czerwony dodany do zielonego daje kolor żółty.

Każdy z tych trzech kolorów /niebiesko-zielony, purpurowy i żółty/ pochłania jeden z kolorów sąsiadujących przepuszczając dwa inne, np. kolor niebiesko-zielony, pochłania kolor czerwony, przepuszczając kolor zielony i niebieski.

Ponieważ kolory, czerwony, zielony i niebieski w połączeniu dają kolor biały, w związku z tym można powiedzieć, że niebiesko-zielony kolor jest to kolor biały pozbawiony czerwonego, purpura jest to kolor biały, z którego usunięto zielony, wreszcie kolor żółty jest to kolor biały pozbawiony niebieskiego.

Kolorem uzupełniającym kolor czerwony jest zabarwienie niebiesko-zielone, które z białego światła pochłania jego składnik czerwony, dla koloru zielonego uzupełniającym zabarwieniem jest purpura, która z białego światła pochłania jego składnik i wreszcie dla koloru niebieskiego uzupełniającym zabarwieniem jest kolor żółty, który z białego światła absorbuje jego składnik niebieski.

Jeżeli położyć na siebie trzy szybki t.j. filtry zabarwione na kolory uzupełniające, pochłoną one białe światło w zupełności, bo razem właśnie dają zabarwienie białe i szybki stają się zupełnie nieprzezroczyste.

Otóż jeżeli chcemy otrzymać kolor zielony, należy wycofać filtr purpurowy. Wtedy przez dwie pozostałe szybki ukaże się kolor zielony, bowiem szybka niebiesko-zielonego koloru przepuszcza zabarwienie niebieskie i zielone, szybka żółta przepuszcza kolor czerwony i zielony /niebieski pochłania/, a ponieważ kolor czerwony został już pochłonięty przez szybkę o kolorze niebiesko-zielonym, pozostaje więc tylko zabarwienie zielone.

Jeżeli usunąć szybka niebiesko-zielonego koloru, ukaże się zabarwienie czerwone, gdyż tak szybka purpurowa jak i żółta zabarwienie to przepuszcza. Wreszcie jeżeli wycofać szybka żółtą otrzymuje się kolor niebieski przepuszczony przez szybki o kolorze niebiesko-zielonym i purpurowym. Jeżeli wycofać szybki zabarwione na kolor niebiesko-zielony i purpurowy otrzymuje się mieszaninę promieni czerwonych i zielonych, które dając razem kolor żółty przechodzący przez ostatnią szybka, to jest żółtą.

Przez zakładanie szybek o rozmaitym natężeniu poszczególnych kolorów można otrzymać barwy mieszane.

Zasada procesu subtraktywnego jest skomplikowana i w związku z tym w teoretycznym wyjaśnieniu trudna do zrozumienia.

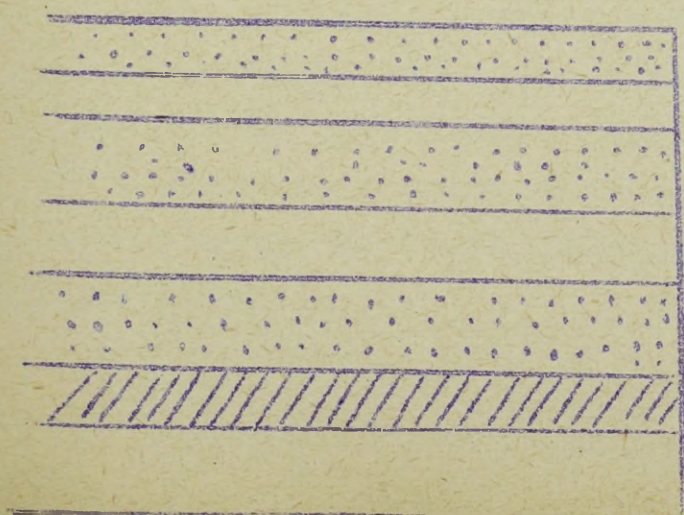
Najłatwiej jest demonstrować ją za pomocą barwnych filtrów przez które przechodzi białe światło.

Obecnie w fotografii kolorowej używany jest przeważnie proces subtryktywny na materiałach wielowarstwowych.

Proces ten jest na ogół łatwiejszy od innych, ale mimo to wymaga wielu zabiegów i umiejętności, pomimo że barwny obraz wykonuje się za pomocą jednego zdjęcia.

Nowe procesy produkcyjne błon barwnych /kolorowych/ oparte są na tej zasadzie, że na filmie celuloidowym są trzy emulsje czułe kolejno na barwy czerwoną, zieloną i niebieską, licząc od strony celuloidu. Po jednoczesnym naświetleniu tych trzech warstw nadaje się im barwy: niebiesko-zieloną, purpurową i żółtą. Uzyskane w ten sposób przezroczne będąc miały kolory naturalne.

We wszystkich tych procesach trzy wymienione warstwy są tak cienkie, że razem wzięte nie są grubsze od przeciętnej emulsji filmu białoczarneho. Układ warstw jest następujący: dolna warstwa, najbliższa celuloidu, jest czuła na barwę czerwoną i w praktyce jest czuła również na błękit, środkowa jest czuła na niebieski i zielony, a warstwa wierzchnia jest rodzajem ślepej emulsji, czułej tylko na kolor niebieski. Pomiedzy warstwą środkową a wierzchnią znajduje się cienka warstewka żelatyny zabarwionej na żółto. Między warstwą czułą na czerwień a celuloidem jest warstwa czarno zabarwionej żelatyny, działająca jako warstwa przeciwodblaskowa. /rys.4/.



- warstwa czuła na kolor niebieski
- żółty filtr
- warstwa czuła na kolor niebieski i zielony
- żelatyna bezbarwna
- warstwa czuła na kolor czerwony
- czarna warstwa przeciwodblaskowa
- podłoże celuloidowe

Rys.4. Przekrój filmu barwnego.

Jeżeli taki film naświetlić w normalny sposób zwracając go emulsją w kierunku obiektywu, górna warstwa zareaguje na kolor niebieski, środkowa - na kolor zielony /ponieważ leżący między nimi żółty filtr żelatynowy pochłonie pozostały kolor niebieski/, a dolna warstwa ma barwę czarną /nie posiada ona czułości na zieleń/.

Obecna produkcja filmów barwnych używanych w lotniczym rozpoznaniu fotograficznym polega na tym, że substancje powodujące powstanie kolorów dodawane są nie do poszczególnych wywoływaczy, lecz do poszczególnych warstw emulsji.

W ten sposób za pomocą jednego wywoływacza otrzymuje się odrazu wszystkie kolory.

Uzyskanie obrazu barwnego tą metodą jest stosunkowo proste. Polega ono przede wszystkim na uzyskaniu zwykłych negatywów srebrnych we wszystkich trzech warstwach, po czym następuje ponowne naświetlenie filmu, aby umożliwić redukcję reszty emulsji srebrnej za pomocą wywoływacza.

Po tej czynności wkłada się film do specjalnego wywoływacza, który działa jednocześnie na wszystkie trzy warstwy w ten sposób, że przy współdziałaniu substancji tworzącej barwy w każdej z nich redukuje pozostałą naświetloną emulsję srebrną, tworząc jednocześnie w każdej warstwie obraz we właściwym kolorze. Film w tym stadium procesu jest nieprzezroczysty, zupełnie czarny, bo składa się on z pierwotnego obrazu pozytywnego powstałego przy powtórnym naświetleniu i wywołaniu oraz obrazu utworzonego przez barwy powstałe w każdej warstwie w połączeniu z obrazem pozytywnym.

Następnie film taki wybiela się w kąpieli z żelaziojanku i bromku potasowego, po czym wkłada się do kąpieli z trójsiarczku sodowego, która usuwa całkowicie "zielone" srebro pozostawiając tylko obrazy barwne.

Po wypłukaniu i wysuszeniu jest już gotowy obraz w kolorach naturalnych. Na takiej samej lub podobnej zasadzie są oparte inne filmy.

Barwy otrzymywane metodą subtraktywną

Barwy składowe filtrów barwnych				Barwy otrzymane
niebiesko-ziel.	purpurowa			niebieska
niebiesko-ziel.	-	żółta		zielona
	purpurowa	żółta		czarna
niebiesko-ziel.	purpurowa	żółta		szara
niebiesko-ziel.	purpurowa	słabo-żółta		niebieska mało nasycona
niebiesko-ziel.	purpurowa słaba	żółta		ziel. mało nasyc.
niebiesko-ziel. słaba	purpurowa	żółta		czern. " "
nieb.-ziel. słaba	purpurowa słaba	żółta		żółto-brunatna
nieb.-ziel. słaba	purpurowa	słabo-żółta		ciemno-czerwona
niebiesko-ziel.	purpurowo-słaba	słabo-żółta		ciemno-nieb. ziel.
niebiesko-ziel.	purpurowo-słaba	-		nieb. mało nasyc.
nieb. ziel. słaba	-	słabo-żółta		ziel. mało nasyc.
-	purpurowa słaba	słabo-żółta		czern. "
nieb. ziel. słaba	purpurowa słaba	słabo-żółta		szara. "

3. Barwa pozytywy na papierze.

Ze względu na jasność obrazów uzyskiwanych metodą subtraktywną możliwe jest zastosowanie jej do obrazów pozytywnych co nie było możliwe przy metodzie addytywnej, przy której traci się dwie trzecie jasności barw widmo.

Stosowane obecnie w fotografii barwnej błony /filmy/ dają negatyw w kolorach dopełniających, t.j. purpurowym, niebiesko-zielonym i zielonym. Z takiego barwnego negatywu uzyskuje się obraz /zdjęcie/ w barwach naturalnych wykonany na podłożu papierowym.

Technika obróbki tego rodzaju filmów polega na tym, że za pomocą operacji chemicznej uzyskuje się negatyw, w którym nie tylko ciemne miejsca są jasne i na odwrót, ale negatyw<sup>nie</sup> kolorze, to znaczy taki, w którym barwy są oddane za pomocą barw dopełniających. Zdjęcia na takich filmach są trójbarwne: czerwone, zielone i niebieskie z wszelkimi pośrednimi tonami, gdzie barwy

zasadnicze nakładają się na siebie. Barwy te są odwrócone. Kolor czerwony występuje na negatywie w miejscach, w których w naturze był kolor zielono-niebieski, kolor zielony występuje purpura i kolor niebieski występuje zamiast żółtego. Taki negatyw w barwach dopełniających i odwróconej skali jasności może być bez ograniczeń kopiowany i powiększany na papierze posiadającym te same warstwy barwne w barwach dopełniających do barw negatywu. Każda z warstw czułych na poszczególne kolory zawiera odpowiednią ilość bromku srebra, która po naświetleniu zamienia się w metaliczne srebro usuwane w czasie obróbki laboratoryjnej. W emulsji filmu i papierze pozostają tylko substancje barwne, tworzące obraz.

Jeżeli chodzi o jakość barw tych filmów, a szczególnie zdjęć, to są one jaskrawe i nie zawsze oddają wiernie barwy natury, a raczej rzadko oddają je wiernie. Czasem zespół tych barw jest przyjmowany dla oka mimo ich nienaturalności, zwykle jednak razi jaskrawością. Na ogół barwy czerwone, brązowe i ich odcienie wychodzą na zdjęciu lepiej, natomiast błękit wychodzi znacznie gorzej.

Na uwagę zasługuje fakt, że z negatywów barwnych można powiększać i wykonywać zdjęcia na zwykłym papierze bromowym uzyskując dobre obrazy szarno-białe o lepszym odcieniu i tonacji natury, niż obrazy wykonane z negatywów szarno-białych.

Barwne papiery fotograficzne nie różnią się zasadniczo składem emulsji od filmów barwnych, ponieważ mają one również trzy emulsje barwne i warstwę filtrującą. Wykonywanie zdjęć odbywa się tak samo jak na papierach bromowych szarno-białych, z tym tylko, że konieczne jest stosowanie barwnych filtrów dla odpowiedniego korygowania barw przy powiększeniu i kopiowaniu.

Stosowanie filtrów jest dość skomplikowane, bo potrzebny komplet obejmuje 33 filtry rozmaitych barw i rozmaitych gęstości, a należyte operowanie nimi decyduje o wierności barw pozytywu.

Używanie filtrów o kolorze identycznym lub zbliżonym do przeważającej barwy obrazu tłumaczy się tym, że w emulsji następuje działanie światła w barwach dopełniających. Wywoływanie odbitek /zdjęć/ obejmuje cztery stadia: barwne wywoływanie, płukanie, jednoczesne odbielanie i utrwalenie oraz końcowe płukanie.

#### 4. Zastosowanie fotografii kolorowej w lotniczym rozpoznaniu fotograficznym.

Jednym z nowych sposobów fotografowania lotniczego jest fotografia kolorowa. Znaczenie fotografii kolorowej dla celów rozpoznawczych polega na tym, że na obecnym stopniu rozwoju techniki wojennej bardzo wysoki poziom osiągnęły wszystkie sposoby sztucznego maskowania, a szczególnie maskowanie przez badanie obiektów kolorów zgodnych z tłem otaczającego terenu. Dotychczas przy rozpoznaniu /studium/ dobrze zamaskowanych obiektów wojskowych stosowało się stereoskopowe badanie zdjęć lotniczych przy pomocy specjalnych przyrządów. Sposób ten jest w dalszym ciągu aktualny i będzie stosowany jeszcze przez dłuższy czas.

Jednak należy podkreślić, że w związku z wprowadzeniem i dalszym doskonaleniem fotografii barwnej do lotniczego rozpoznania, możliwości wykrywania obiektów wojskowych znacznie się zwiększyły. Na barwnym zdjęciu poszczególne obiekty rozróżnia się po ich różnorodnych kolorach, dzięki czemu łatwiej jest uchwycić kontury obiektów i tym samym łatwiej je odczytać. Na barwnym zdjęciu nawet jednokolorowe obiekty różnią się między sobą, co ma bardzo duże znaczenie przy wykrywaniu sztucznego maskowania obiektów, a szczególnie maskowania kolorowego. To, że fotografia barwna nie oddaje wiernie barw naturalnych nie ma większego znaczenia dla fotografii lotniczej, ważne jest natomiast uzyskanie na zdjęciu określonych kontrastowych barw, których otrzymanie umożliwi odróżnienie maskowania sztucznego od naturalnego. Tak więc, możemy powiedzieć, że znaczenie fotografii barwnej w lotniczym rozpoznaniu

fotograficznym polega nie na fotografii barwniej oddającej wyraźnie barwy naturalne, lecz na fotografii z uwidocznieniem widm barw.

Skład lotniczej fotografii barwniej w dużej mierze zależy od następujących czynników:

1. Właściwości krajobrazu.
2. Wpływ warunków atmosferycznych /ilość i rodzaj chmur, przezroczystość atmosfery itp./.
3. Światło-technicznej charakterystyki lotniczych aparatów fotograficznych.
4. Czasu naświetlenia.
5. Warunków fotografowania.

#### 1/ Właściwości krajobrazu.

Zdolność poszczególnych obiektów krajobrazu do odbijania promieni widzialnych związana jest z ich jasnością. Natomiast jasność oraz barwa obiektów zależą od ich oświetlenia i zdolności odbijania barw widmowych, czyli zdolności do przepuszczenia, pochłonięcia i odbijania określonej części padającego na nie strumienia energii promieniowania. Odbijanie barw widmowych krajobrazu /obiektów/ w dużej mierze jest zależne od składu spektralnego źródła światła padającego na dany obiekt.

Poniższa tabela ilustruje zawartość światła niebieskiego, zielonego i czerwonego zwykłych źródeł światła /światła dziennego/.

Światło	Niebieskie %	Zielone %	Czerwone %
Dzienne z białych obłoków	33,3	33,3	33,3
Niebieskiego nieba	39,1	33,7	27,2
Słoneczne	29,8	32,5	37,7

Ścisłość odbijania obiektu energii promieniowania, w danym przypadku mamy na myśli promieniowanie widzialne, określa się współczynnikiem jasności  $\tau$ . Współczynnik jasności obiektu jest to stosunek jasności powierzchni odbijającej światło do jasności matowej /doskonale białej/ czyli takiej, która w całości odbija wszystkie padającą na nią promienie świetlne i we wszystkich kierunkach na jednakową jasność.

Współczynnik ten określa się za pomocą wzoru  $\tau = \frac{B}{B_0}$

Gdzie:  $B$  - jasność powierzchni fotografowanego obiektu

$B_0$  - jasność powierzchni matowej /doskonale białej/.

Jednakowy współczynnik jasności dla różnych długości fal mają tylko obiekty kontrolne /białe, czarne, szare/, a dla obiektów o różnym zabarwieniu trzeba wyznaczyć widmowe współczynniki jasności  $\tau_{\lambda}$ .

Obiekty krajobrazu możemy podzielić na trzy zasadnicze grupy:

1. Obiekty naturalne, charakteryzujące się zmianą współczynnika jasności w paśmie widma 400-800 milimikronów /najbardziej charakterystyczne są: woda, węgiel kamienny, piaskowice, drogi asfaltowe/.
2. Drogi o zabarwieniu żółto-czerwonym /gleby, piaski, gliny i tereny porośnięte roślinnością, w okresie jesiennym/.
3. Obiekty o zabarwieniu zielonym /roślinność/ charakteryzują się różnymi zmianami współczynnika jasności w różnych pasmach widma.

Wartość współczynników jasności niektórych typowych obiektów.

Nazwa obiektu	Współcz. jasnr.	Nazwa obiektu	Współcz. jasnr.
	2		4
śnieg złotały	1,00	gleba czarna, sucha	0,03
las liściasty, latem	0,03	gleba czarna, mokra	0,02
las liściasty, jesienią	0,15	piasek biały, mokry	0,20
łąka zielona	0,06	piasek żółty, mokry	0,15

1	2	3	4
łaka zielona skoszona	0,06	Wapniak	0,40
łaka żółta wypalona przez słońce	0,14	szosa sucha	0,32
zasiew zielony	0,05	szosa <del>Wapniak</del> mokra	0,11
rąpsko	0,10	droga gruntowa piaszczysta, sucha	0,20
słona	0,15	droga grunt. gliniasta	0,21
gleba piaszczysta, sucha	0,13	droga gruntowa na czarnosiemię	0,08
gleba piaszczysta, mokra	0,06	dach czerwony	0,13
gleba gliniasta, sucha	0,15	dach drewniany. gontowy	0,15

Srednie wartosci niektórych obiektów zielonych dla różnych prom wiarna.

Obiekty	Współczynnik jasności			
	450 milimikr.	550 milimikr.	650 milimikr.	850 milimikr.
świerk	0,030	0,107	0,066	0,413
brzoza	0,065	0,176	0,141	0,542
osika	0,046	0,124	0,072	0,589
łaka mokra	0,047	0,225	0,150	0,951

Z powyższych tabel widać, że współczynniki jasności tych samych obiektów zależą od warunków atmosferycznych /rodzaju i ilości chmur, spektralnego składu światła, przezroczystości atmosfery/, porę roku i doby. W danym sagednieniu interesuje nas przede wszystkim światła dzienne, ponieważ na obecnym etapie rozwoju techniki barwnej fotografii lotniczej nie wykonuje się zdjęć przy świetle sztucznym, jak to ma miejsce w fotografii malobrazkowej, czy przy zastosowaniu nocnej fotografii czarno-białej przy pomocy bomb błyskowych /FOCAB/ lub silnych błysków elektrycznych wyzyskanych przez źródła światła zainstalowane na samolocie.

Jeżeli chodzi o światło dzienne, to można powiedzieć, że na większą stałość wykazuje światło słoneczne, to znaczy, że najlepiej jest wykonywać fotografowanie przy bezpośrednim oświetleniu słonecznym, jeśli właśnie się pod uwagę stan słońca tj. wysokość słońca nad horyzontem, bowiem powszechnie jest wiadome, że światło słoneczne jest tym bardziej żółte i czerwone, im jest ono niżej nad horyzontem. Ogólnie możemy powiedzieć, że światło dzienne z białych chmur jest mniej stałe niż światło słoneczne, ponieważ stan zachmurzenia może szybko się zmieniać oraz sam wygląd i rozwój chmur jest różny i ciągle zmieniający, co wydatnie wpływa na rozkład spektralny światła i na natężenie oświetlenia krajobrazu /obiektów/. Do dobrych warunków fotografowania lotniczego z zastosowaniem błon barwnych należy również zaliczyć światło dzienne rozproszone przez chmury średnie warstwowe /As/ lub pierzaste-warstwowe /Cs/. Ten rodzaj chmur, a raczej taki typ zachmurzenia wolno zmienia się i tym samym stwarza dogodne warunki dla lotniczej fotografii barwnej takiej jak, stałe natężenie oświetlenia i jednaki skład spektralny światła.

## 2/ Mgławka przestrzenna.

Ponieważ już częściowo omówiliśmy wpływ czynników atmosferycznych na natężenie oświetlenia i rozkład spektralny światła, omówimy teraz z kolei wpływ mgławki przestrzennej na fotografię barwną.

Pod pojęciem "mgławka przestrzenna" należy rozumieć jasność warstwy atmosfery pochodzącej od światła rozproszonego. Pod względem charakterystyki fizycznej rozróżniamy dwa rodzaje mgławki przestrzennej. Pierwszy rodzaj charakteryzuje się selektywnym rozproszeniem światła słonecznego w molekułach gazu i innych cząsteczkach o wymiarach mniejszych od długości fali świetlnej.

Ten rodzaj mgiełki ma zabarwienie błękitne. Drugi rodzaj charakteryzuje się bardziej monotonna zmianą jaskrawości w widmie i ma kolor szary.

Warstwa atmosfery rozpościerająca się między powierzchnią ziemi, a lotniczym aparatem fotograficznym wywiera ujemny wpływ na jaskrawość fotografowanych obiektów. Warstwa ta wraz ze znajdującymi się w niej domieszkami zatrzymuje częściowo światło odbite od obiektów i rozprasza go we wszystkich kierunkach tworząc mgiełkę przestrzenną, której jaskrawość sumuje się z jaskrawością fotografowanych obiektów. Mgiełka przestrzenna jest czynnikiem poważnie utrudniającym fotografowanie lotnicze, a przede wszystkim obniżającym kontrastowość negatywów lotniczych.

Usuwanie szkodliwego wpływu mgiełki przestrzennej jest trudne, ponieważ z zasady fotografowanie lotnicze na błonie barwnej wykonuje się bez użycia filtrów świetlnych.

Przy fotografowaniu z małej wysokości rzędu 500-1500 m zniekształcenia powstałe w obrazie barwnym pod wpływem mgiełki przestrzennej możemy usunąć przez odpowiedni dobór filtrów korekcyjnych podczas kopiowania. Wraz ze wzrostem wysokości fotografowania tj. ze wzrostem grubości warstwy atmosfery rozpraszającej się między obiektem fotografowania a błoną barwną, zwiększa się ujemny wpływ mgiełki przestrzennej.

### 3/Swiatłotechniczna charakterystyka lotniczych aparatów fotograficznych.

Ogólnie "siła światła"- jasność obiektywu określa się stosunkiem średnicy otworu rzeczywistego obiektu do jego ogniskowej  $\frac{d}{f}$

Gdzie:  $d$ - średnica rzeczywistego otworu obiektywu /mm/

$f$ - ogniskowa lotniczego aparatu fotograficznego /mm/

Aby nie było nieporozumienia należy zaznaczyć, że powyższe określenie siły światła, jasności obiektywu nie jest ścisłe, ponieważ jasność obiektywu jest wprost proporcjonalna do powierzchni otworu rzeczywistego i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu ogniskowej, a otwór skuteczny jest kołem, którego powierzchnia jest proporcjonalna do kwadratu średnicy  $d^2$ . Dlatego też jasność obiektywu jest proporcjonalna do wielkości  $\frac{d}{f}$  / lub  $F^2$ , tj. do kwadratu otworu względnego.

W rzeczywistości na efektywną siłę światła obiektywu wpływają straty powstałe na skutek odbicia i pochłonięcia światła w systemie obiektywu /ilość soczewek, ich grubość, jakość obróbki, ilość wolnych przestrzeni soczewek/. Prócz tego wpływ szeregu innych czynników. Straty światła w LAF wyraża się jako ogólny współczynnik wydajności świetlnej aparatu  $K_s$ .

Poniższa tabela ilustruje straty światła powstałe z powodu odbicia /rozproszenia/.

Typ obiektu	Ognisko- wa w mm	Ćwiórz względ- ny	Ilość po- wierzchni wolnych	Ogólna grubość szkła w mm	Straty światła w % dla pro- mieni p dłu- gości fali = 346 milimikr.
"Industar-2"	135	1:4,5	6	11,2	30,6
"Industar-4"	210	1:4,5	6	25,5	28,6
"Tessar"	250	1:4	8	60,2	34,2
"Russer 19"	100	1:6,3	8	-	33

Na spadek jaszkowości obrazu optycznego ma także wpływ rozkład światła w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu.

Oświetlenie spada od środków do brzegów obiektywu proporcjonalnie do cosinusa kąta nachylenia promienia w czwartej potęgze.

$$E_w = E_0 \cdot \cos^4 w$$

gdzie:  $w$  - kąt pomiędzy osią i promieniem przechodzącym przez punkt leżący w pewnej odległości od środka zdjęcia.

$E_0$  - oświetlenie w środku zdjęcia.

$E_w$  - oświetlenie promienia padającego pod kątem  $w$  w stosunku do osi optycznej.

Taki spadek oświetlenia na brzegach płaszczyzny ogniskowej aparatu wpływa niekorzystnie na negatyw barwy, gdyż wywołuje naruszenie równowagi barw. Sfotografowany obiekt posiada wówczas różne barwy w środku i na brzegach zdjęcia. Wpływ

utrata i rozproszenia światła jest bardziej dostrzegalną na negatywach barwnych niż czarno-białych. Na czarno-białych negatywach rozproszenie światła w obiektywie powoduje obniżenie kontrastu obrazu, w barwnym zaś zmniejsza się nasycenie barw, co z kolei zmniejsza wyrazistość obrazu. Współczesne lotnicze aparaty fotograficzne celem zmniejszenia straty światła przez rozproszenie posiadają optykę rozjaśniającą /błękitną/.

#### 4/ Czas naświetlenia.

Czas naświetlenia /ekspozycja/ materiału światłoczułego jest jednym z głównych elementów obliczeń eksponometrycznych lotniczej fotografii barwniej. Wielkość ekspozycji E określa się za pomocą wzoru:

$$E = \frac{40 \cdot F^2 \cdot kf}{Sd \cdot Ka \cdot Es}$$

gdzie:  $F = \frac{f}{d}$  - stosunek ogniskowej obiektywu do jego rzeczywistego otworu, czyli jest to odwrotna wielkość otworu względnego obiektywu;

$Ka$  - współczynnik wydajności świetlnej LAF;

$Sd$  - światłoczułość używanej błony barwniej w jedn. GOST;

$kf$  - krotność filtra świetlnego /jeżeli jest używany/

$Es$  - sumaryczne natężenie oświetlenia /w luksach/ krajobrazu /obiekty fotografowanie/ bezpośrednim i rozproszonym światłem słonecznym.

$r$  - średni współczynnik jasności obiektu.

Wielkość  $F$  bierzemy z danych taktyczno-technicznych danego typu LAF, a minimalną wielkość światłoczułości błony lotniczej z opisu zawartego na opakowaniu danej błony. Współczynnik  $Ka$  dla lotniczych obiektów fotograficznych z powłoką przeciwbłaskową /optykę rozjaśniającą/ wynosi 0,6-0,7.

Jak widać z powyższego wzoru, czas naświetlenia /ekspozycja/ określa ją następujące podstawowe czynniki.

1. Sumaryczne natężenie oświetlenia fotografowanych obiektów. Zależy ono od szerokości geograficznej miejsca fotografowania, pory dnia i roku oraz warunków atmosferycznych. Sumaryczne natężenie oświetlenia powstaje pod wpływem bezpośredniego i rozproszonego promieniowania słonecznego.

Bezpośrednie oświetlenie zależy od wysokości słońca nad horyzontem, a oświetlenie światłem rozproszonym zależy jeszcze od stanu zachmurzenia.

Przy wysokości słońca nad horyzontem =  $0^{\circ}$  oświetlenie światłem rozproszonym = 100%.

Przy wysokości słońca nad horyzontem =  $10^{\circ}$  oświetlenie światłem rozproszonym = 50%.

Przy wysokości słońca nad horyzontem =  $20^{\circ}$  oświetlenie światłem rozproszonym = 30%.

Przy wysokości słońca nad horyzontem =  $30^{\circ}$  oświetlenie światłem rozproszonym = 20%.

Różne rodzaje chmur wpływają różnie na sumaryczne oświetlenie terenu tj. zwiększają lub zmniejszają /patrz tabela 1/.

2. Zdolność odbijania krajobrazu, która charakteryzuje się współczynnikiem jaszkrawości  $r$ . Współczynnik jaszkrawości zmienia się głównie w zależności od zabarwienia obiektów, kąta padania promieni słonecznych, a w pewnej mierze także od powierzchni fotografowanego obiektu i jego wilgotności.

3. Światłotekniczna charakterystyka LAF, która określa współczynnik  $K_a$ .

4. Właściwości fotograficzne lotniczej błony fotograficznej.

Podany wyżej sposób obliczania czasu naświetlenia jest na ogół nie-tygodny i niepotliwy, dlatego też w praktyce posługujemy się ekzpozometrem lotniczym, przy pomocy którego możemy określić czas naświetlenia /ekspozycja/.

Należy zaznaczyć, że powyższy wzór nie uwzględnia prędkości lotu samolotu i wysokości fotografowania, a ściślej mówiąc skali zdjęcia.

Czyli nie odpowiada warunkom stawianym fotografią lotniczej. W danym wypadku, gdy LAF wykonuje zdjęcia będąc w ruchu, należy stosować taki sam wzór na obliczenie ekspozycji, jak przy fotografiach czarno-białej.

$$E_{\max} = \frac{Sz}{W \cdot 100}$$

gdzie:  $E_{\max}$  - maksymalny dopuszczalny czas naświetlenia w ułamkach sekundy;

$Sz$  - liniowa skala zdjęcia w metrach

$W$  - prędkość podłoża samolotu w okresie fotografowania w metrach na sekundę;

100 - stały współczynnik liczbowy.

Blony barwne w odróżnieniu od błon czarno-białych wymagają bardziej dokładnych wyliczeń eksponometrycznych, ze względu na słabszą światłoczułość.

Tabela nr 1

Sumaryczne natężenie oświetlenia krajobrazu  
/w tys.luks/ w okresie letnim.

Rodzaj chmur	Oznaczenie między narod.	Wys. podst. chmur w km	Warunki obserwacji	Wysokość słońca nad horyzontem w stopniach katowych						
				5	15	25	35	45	50	55
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
rozchmurzenie	-	-	Bezpośrednie oświetlenie słoneczne	4	15	31	43	67	76	85
			Cień .....	3	6	8	10	13	14	15
złobliwostwo	Cc	ponyżej 6	Bezpośrednie oświetlenie słoneczne ...	4	16	32	51	69	79	88
			Cień .....	3	12	21	32	42	48	53
			Zachmurzenie całkowite ...	4	16	30	44	57	67	66

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
sta i warst. derzaste	C1, Cs	powy- żej 6	Bezpośrednie oświetlenie słoneczne...	4	15	32	49	68	77	86
			Cień.....	3	11	24	30	41	45	51
			Zachmurzenie całkowite...	2	13	26	41	69	57	62
e kłębiasta	A0	2-6	Bezpośr. oświetl. sło- neczne.....	4	16	33	52	74	84	94
			Cień.....	3	7	10	14	20	22	24
			Zachmurzenie całkowite...	4	10	20	27	32	34	35
ione	st	do 2	Zachmurzenie całkowite	2	4	8	11	14	15	16
ste/e bu- plonowe j/	Cu		Bezpośrednie oświetl. słońca.	4	16	34	52	70	81	90
			Cień.....	3	7	11	14	17	19	20

### 5/ Warunki fotografowania

Aby uzyskać jakościowo dobry negatyw barwny należy używać LAF, których migawka posiada minimalne różnice między nominalnym i faktycznym czasem naświetlenia, a obiektyw zabezpiecza równomierny rozkład oświetlenia w płaszczyźnie ogniskowej.

Ze względu na niezbyt wysoką czułość światłą barwny błony lotniczej, otwór względny obiektywu nie powinien być mniejszy niż 1:4,5.

Przy fotografowaniu w skali od 1:1000 do 1:5000 zadawiający obraz można otrzymać przy pomocy obiektywu o ogniskowej  $f = 300$  mm. W celu uniknięcia zmiany składu spektralnego oświetlenia należy lotnicze fotografowanie barwnie wykonywać przy wysokości słońca nad horyzontem powyżej  $20^\circ$  tj. wtedy, gdy skład widmowy światła słonecznego zaczyna być w przybliżeniu stały.

Fotografowanie lotnicze na trójwarstwowej błonie barwnej do wysokości 1500 m wykonuje się bez filtrów świetlnych. Przy większej wysokości, w celu uniknięcia wpływu mgiełki przestrzennej można stosować jasnożółty filtr świetlny. Przy określaniu czasu naświetlenia dla fotografowania na błonie barwnej należy pamiętać o tym, że tak samo jak w fotografii czarno-białej, lepiej jest negatyw prześwietlić niż niedoświetlić.

### Ogólne uwagi o barwnej fotografii.

Filmy kolorowe praktycznie nie posiadają ziarna, gdyż obraz w nich jest utworzony nie z cząsteczek metalicznego srebra, lecz z barwników, które w ogóle nie mają ziarna. W przeważającej mierze fotografia w barwach naturalnych wykazuje nadmiar błękitnego koloru. Tłumaczy się to tym, że podczas gdy nasze oko jest najwrażliwsze na kolor żółty, błękit działa najsilniej na każdą emulsję fotograficzną.

Promienie niebieskie jako najkrótsze promienie widzialne najsilniej ulegają rozproszeniu przy zetknięciu się z matową powierzchnią emulsji. Na promienie które wysyła słońce nasze oko reaguje różnie, zależnie od właściwości fizjologicznych narządu wzroku. Najśilniejsze wrażenie wywierają promienie żółte, a w przeciwieństwie do nich cienie są zabarwione na niebiesko.

W miejscu gdzie pada cień, nie ma bezpośredniego działania promieni słonecznych, ale jest działanie promieni rozproszonych padających z różnych stron.

Promienie te są zabarwione na niebiesko i nadejdą odpowiedni odcień danemu miejscu.

Jeżeli niebo nie jest zachmurzone, to tam gdzie w naturze występują cienie, zdjęcie będzie miało w tych miejscach niebieskawy odcień. Jeżeli natomiast na niebie występują chmury, czyli innymi słowami, jest duże lub całkowite zachmurzenie, znika błękitny odcień zdjęć, występujący poważnie w białych miejscach obrazu. W związku z tym w szczególności trudnych warunkach używa się przy fotografowaniu specjalnych filtrów.

Ogólnie można powiedzieć, że zastosowanie fotografii barwnej w lotniczym rozpoznaniu fotograficznym nie zawsze daje rezultaty, szczególnie wtedy gdy fotografowanie odbywa się w niesprzyjających warunkach dla fotografii barwnej. Do niesprzyjających warunków dla fotografii barwnej należy zaliczyć:

- 1/ okres dnia, w którym słońce znajduje się nad horyzontem pod kątem mniejszym niż  $10^{\circ}$ ;
- 2/ mgła, zamglenie lub silne zapylenie powietrza /zadymienie/
- 3/ zachmurzenie przez chmury kłębiaste o pokryciu nieba w granicach od 6/10 do 9/10 /nierównomierny rozkład spektralny światła, szczególnie w tych rejonach, gdzie występują cienie od chmur/;
- 4/ fotografowanie z wysokości powyżej 5000 m;
- 5/ zanieczyszczenia i zadymki w okresie zimowym.

Do sprzyjających warunków stosowania fotografii barwnej w lotniczym rozpoznaniu możemy zaliczyć następujące warunki:

- 1/ pogoda bezchmurna;
- 2/ zachmurzenie całkowite przez chmury średnie warstwowe lub wysokie pierzaste;
- 3/ dobre wyposażenie fotolaboratoriów do obróbki barwnych błon i zdjęć;
- 4/ możliwość fotografowania tego samego obszaru /rejonu/ innymi sposobami /fotografia czarno-biała, pośczerwona/.

Na drodze szerokiego zastosowania barwnej fotografii w lotniczym rozpoznaniu fotograficznym stoją jeszcze dość poważne trudności. Polegają one na tym, że istniejące barwne błony lotnicze mają stosunkowo niską czułość w porównaniu z dotychczas używanymi błonami czarno-białymi.

Wpływ znajdujacej się w powietrzu mgiełki atmosferycznej w znacznym stopniu obniża jasność fotografii barwnej, szczególnie przy fotografowaniu z większych wysokości. Technologiczny proces laboratoryjny opracowania barwnych błon i kopiowania z nich barwnych odbitek jest dość długi i skomplikowany. Zadania postępu technicznego w tej dziedzinie polegają na uzyskaniu wysokoskrajnych błon barwnych wielowarstwowych umożliwiającym wykonywanie zdjęć w warunkach stałego oświetlenia, dając przez to możliwość barwnego fotografowania z większych wysokości z jednoczesnym obniżeniem szkodliwego wpływu mgiełki atmosferycznej. Jedną z poważniejszych zadań w fotografii barwnej, to automatyzacja laboratoryjnej obróbki barwnych błon i zdjęć. Zasadniczą zaletą lotniczej fotografii barwnej jest to, że zdjęcia barwne ułatwiają odczytywanie obiektów wojskowych, ale należy też pamiętać o tym, że obiekty o małych wymiarach /punktowe/ wychodzą znacznie gorzej niż na zdjęciach czarno-białych. W związku z tym należy podkreślić, że nie zawsze lotnicza fotografia barwna daje pożądane wyniki, a więc użycie jej zależy od konkretnych warunków bojowych i atmosferycznych. Do jednej z zasadniczych cech wjsmych lotniczej fotografii barwnej należy zaliczyć to, że proces laboratoryjnej obróbki materiałów negatywowych i pozytywowych trwa znacznie dłużej niż w fotografii czarno-białej, co z kolei wpływa ujemnie na szybkie dostarczenie danych z rozpoznania.

## FOTOGRAFIA PODCZERWONA

Podczerwień jest coraz częściej stosowana w różnych gałęziach nauki i techniki, a szczególnie w technice wojskowej.

W ostatnim okresie pojawiło się wiele nowych urządzeń z dziedziny techniki wytwarzania i rejestrowania promieni podczerwonych.

Wykorzystanie promieni podczerwonych w technice wojskowej ma duże perspektywy rozwoju. Promienie podczerwone są stosowane do różnych celów wojskowych na przykład: do samonaprowadzania pocisków rakietowych, w fotografii lotniczej i naziemnej, do prowadzenia obserwacji w ciemności i t.p. Jedną z ważnych zagadnień w dziedzinie lotniczego rozpoznania jest fotografowanie w promieniach podczerwonych.

Aby zrozumieć zasady fotografowania w promieniach podczerwonych trzeba wpięrcw zapoznać się z najważniejszymi zadanymi czynnikami, które wywierają istotny wpływ na fotografowanie.

### 1. Ogólna charakterystyka właściwości fizycznych promieni podczerwonych wykorzystywanych w lotniczym fotografowaniu podczerwonym oraz niektórych urządzeń stosowanych w fotografii podczerwonej.

a/Rozprzestrzenianie się promieni podczerwonych w atmosferze. Zasadniczymi czynnikami wywierającymi wpływ na widzialność w promieniach podczerwonych dowolnych przedmiotów/obiektów/naziemnych przy różnych warunkach obserwacji są optyczne właściwości dolnych warstw atmosfery, a szczególnie ich zdolność pochłaniania i rozpraszania promieni idących od obiektu do obserwatora.

Atmosfera jest powłoką gazową ziemi składającą się z powietrza, wody w różnych stanach oraz zawieszonych cząsteczek pochodzenia organicznego i nieorganicznego. Suche powietrze atmosferyczne składa się z mieszaniny azotu/78,08 %/, tlenu /20,95 %/ argonu/0,93 %/ i niedużej ilości innych gazów/0,04%/. Zawartość w atmosferze mieszaniny pary wodnej, dwutlenku węgla, dymu, pyłu i bakterii-zależy się w zależności od otaczających warunków.

W dolnych warstwach atmosfery rozmiar zawieszonych cząsteczek waha się w szerokich granicach od  $5 \cdot 10^{-6}$  do  $5 \cdot 10^{-3}$  cm.

b/ POCHŁANIANIE PROMIENI PODCZERWONYCH.

Promienie podczerwone przechodzące przez najmniejszy warstwa atmosfery są pochłaniane i rozpraszane przez osąteczki gazów atmosfery, jak również przez osąteczki stałe - krople wody /mgłę/.

Pochłanianiem nazywamy proces przechodzenia energii promieniowania w energię ciepłą. Pochłanianie promieniowania jest związane z nagrzewaniem materii/substancji/.

Pochłanianiu energii promieniowania nieustannie towarzyszy nagrzewanie materii. W powietrzu przezroczystym straty spowodowane przez pochłanianie, praktycznie są bardzo małe.

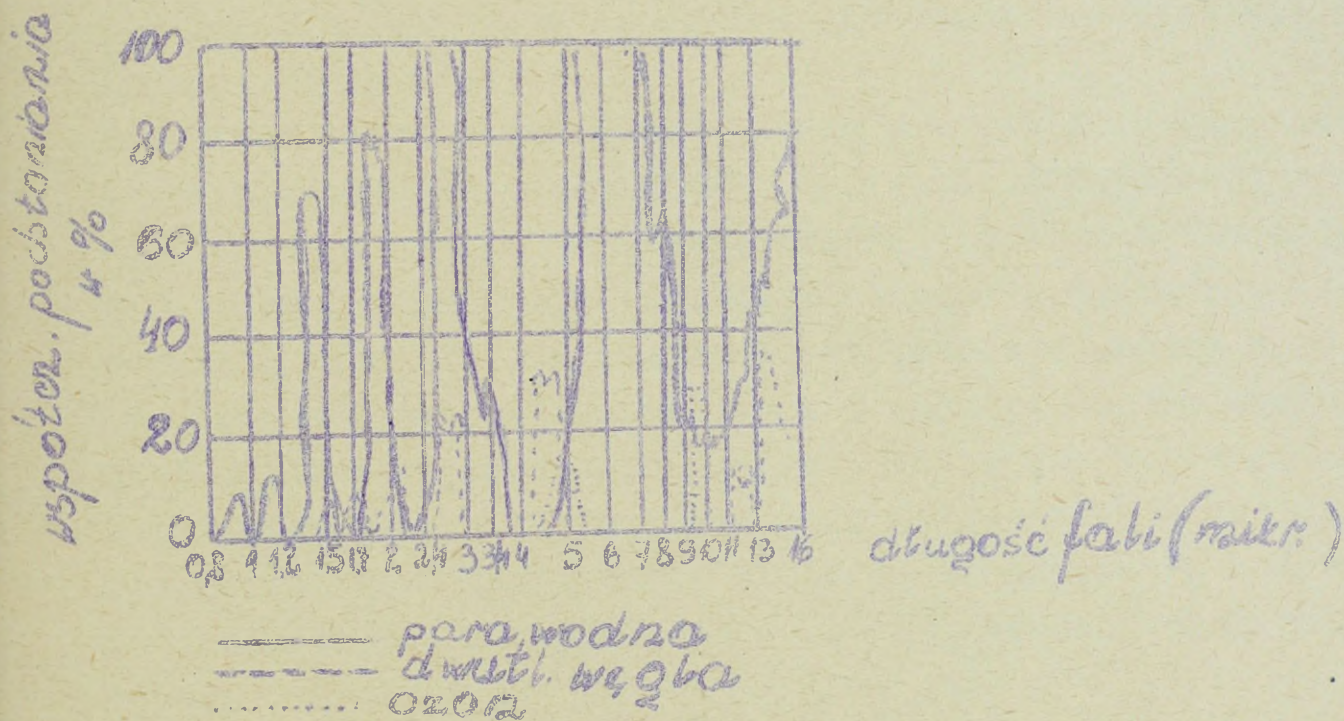
Promienie podczerwone i widzialne są pochłaniane przez atmosferę w różnym stopniu. Niektóre środowiska może być przezroczyste dla promieni podczerwonych i zupełnie nie przezroczyste dla widzialnych. Energię promieni podczerwonych w głównej mierze pochłaniają para wodna oraz dwutlenek węgla i ozon. Z tego wynika, że przezroczystość atmosfery dla promieni podczerwonych w znacznym stopniu zależy od oddziaływania pary wodnej znajdującej się w atmosferze.

Pochłanianie promieni podczerwonych przez parę wodną, dwutlenek węgla i ozon posiada ogólny charakter tj. promienie różnych długości fal są pochłaniane w różnym stopniu. Para wodna posiada pasma pochłaniania w następujących maksymach długości fal : 0,94; 1,13; 1,47; 1,89 m i zakres fal od 4,8 do 7,7 mk. Od 3,2 do 4,8 mk występuje pasmo przezroczystości, a od 4,8 do 7,7 mk silne pochłanianie, poczem znówu występuje pasmo przezroczystości do 11 mk. Poczynając od długości fal 17 mk. pochłanianie pary wodnej znówu wzrasta, a dla długofalowych promieni podczerwonych para praktycznie jest nieprzezroczysta. Dwutlenek węgla dość silnie pochłania promienie podczerwone w pasmie dla długości fal 2,7; 4,27 i 12-16 mk. W pasmie bliskiej podczerwieni dwutlenek węgla jest stosunkowo przezroczysty. Jeżeli weźmiemy pod uwagę to, że zawartość dwutlenku węgla w powietrzu w porównaniu z zawartością pary wodnej jest

nieduża i to, że para wodna silniej pochłania promienie podczerwone, to w pobliżu bliskiej podczerwieni widmo możemy nie brać pod uwagę pochłaniania przez dwutlenek węgla.

Ozon posiada szczególnie znaczne obszary pochłaniania przy długościach fal 4,7 i 9,6 mikr. Jednak pochłanianie przez ozon możemy nie brać pod uwagę, ponieważ w dolnych warstwach atmosfery procentowa zawartość ozonu jest bardzo minimalna / z wyjątkiem okresu pory burzowego /.

Z rys. 3 na którym pokazane są pasma pochłaniania pary wodnej dwutlenku węgla i ozonu widać, że ze wzrostem długości fal promieni podczerwonych te pasma rozszerzają się /rys. nr. 3/.



Rys. 3 Pasma pochłaniania przez parę wodną dwutlenek węgla i ozon.

c/ ROZPRASZANIE PROMIENI PODCZERWONYCH.

Promienie podczerwone, przechodzące przez atmosferę, napoty-  
kają na swojej drodze różne drobne cząsteczki, od których  
zakładają się i odbijają i tym samym rozpraszają się tj.  
zmieniają swój pierwotny prostoliniowy kierunek.  
Odbicie i zakłamanie promieni podczerwonych tłumaczy się tym,  
że w skutek działania energii promieniowania zaczynają  
wibrować wstętrzne elektrony atomów i molekuł danego ośrodka,

które stają się miniaturowymi źródłami fal elektromagnetycznych. Fale promieniowane/wysyłane/ przez wzbudzone elektrony nazywamy wtórnymi falami elektromagnetycznymi.

Fale te posiadają tą samą częstotliwość jak i fala pierwotna. Jeżeli optyczna niejednorodność środowiska/ze względu na skład lub gęstość/będzie duża, to prawie cała energia promieniowania będzie zużywana/zatracana/na wzbudzenie zewnętrznych elektronów atomów i molekuł środowiska.

W związku z tym rozpraszanie może być tak silne, że dla pewnej części przechodzących przez atmosferę promieni zabraknie energii. Takie środowisko jest nieprzezroczyste dla przechodzących promieni. Dlatego też środowiska z wyraźnie występującymi niejednorodnościami optycznymi nazywamy środowiskami nieprzezroczystymi. Do środowisk nieprzezroczystychaliczamy: dym, pył, mgły i t.p.

Powietrze które w życiu codziennym przywykliśmy nazywać czystym, rozprasza energię promieniowania. Rozpraszającymi elementami w nim są molekuly. Wskutek ciepłego ruchu molekuł w powietrzu tworzą się odcinki z chwilowym zmniejszeniem lub wzrostem gęstości. Zmiana gęstości powoduje zmianę współczynnika załamania, dlatego nawet w czystym suchym powietrzu jest możliwe rozproszenie promieni podczerwonych. Rozproszenie w powietrzu energii promieniowania nazywamy molekularnym rozproszeniem. W tym wypadku wielkość rozproszenia zależy od długości fali. Ta zależność może być wyrażana przy pomocy wzoru:

$$\sigma = \frac{K}{\lambda^4}$$

gdzie :  $\sigma$  - współczynnik rozpraszania;

$K$  - współczynnik proporcjonalności;

$\lambda$  - długość fali /fala dźwięku/

Z wzoru widać, że im krótsza jest fala dźwięku, tym więcej ta energia rozprasza się. Na przykład czerwone i podczerwone promienie posiadające większą długość fali w porównaniu z niebieskimi i fioletowymi promieniami są w mniejszym stopniu rozpraszane. Słońce przy wschodzie i zachodzie, a także poprzez dym i pył wydaje się ciemno-czerwonym, a czerwone światła semaforów we mgle są widoczne lepiej niż niebieskie.

Tak więc stopień rozproszenia energii promieniowania w głównej mierze zależy od długości fal elektromagnetycznych. Jednak należy zaznaczyć, że ta reguła jest niarodajna tylko dla powietrza czystego, gdy średnica cząsteczek rozpraszających jest znacznie mniejsza od długości fali. Natomiast, gdy rozmiary cząsteczek są współmierne z długością fali, to określenie charakteru rozproszenia w/g widma staje się bardziej skomplikowane, a zakresy promieni podczerwonych w porównaniu z promieniami o mniejszej długości fali słabszą się.

Szczególnie silnie zmienia swój charakter rozproszenie w mgłach.

Promienie kropeł mgły wahają się w bardzo szerokich granicach od 0,5 do 50  $\mu\text{m}$ . Najczęściej spotykane krople mgły posiadają średnicę 2  $\mu\text{m}$ . Krople mgły w promieniu większym od 50  $\mu\text{m}$  przechodzą w krople deszczu.

Zmiany przezroczystości naturalnych mgł na podstawie badań wykazały, że w pasmie widma od 0,3 do 3  $\mu\text{m}$  przezroczystość mgły bardzo powoli wzrasta ze zwiększeniem długości fali padających promieni. Dane doświadczalne wskazują, że charakter i intensywność rozproszenia zależy nie od bezwzględnych wielkości promienia cząsteczki i długości fali padających promieni, a od ich stosunku. Maksymalne rozproszenie występuje wtedy, gdy długość fali jest równa promieniowi cząsteczki rozpraszającej. A więc możemy powiedzieć, że mgła pogarsza przezroczystość dla promieni podczerwonych bliższego zakresu ponieważ cząsteczki mgły mają średnicę 6-10  $\mu\text{m}$ .

Podczas deszczu, gdy minimalny promień kropeł/cząsteczek wynosi w przybliżeniu 60  $\mu\text{m}$ , promienie podczerwone przechodzą przez taką część atmosfery również źle jak i widzialne, ponieważ przy takich rozmiarach cząsteczek rozproszenie nie zależy od długości fali. Eksperymentalne dane wskazują, że sengklenie osłabia promienie podczerwone nieznacznie.

Na przykład, na odległość 10 km. promienie podczerwone o długości fali 3 mk osłabiają się nie więcej jak 0,013 %.

Przy namgleniu, gdy promień cząsteczek rozpraszających jest mniejszy od 1 mk, zastosowanie przyrządów pracujących na zasadzie wykorzystania promieni podczerwonych o długości fali 2-3 mk. polepsza odległość obserwacji w przybliżeniu 2-4 razy w porównaniu z przyrządami obserwacji w promieniach widzialnych.

W ten sposób, badania rozprzestrzeniania się promieni o różnych długościach fali wykazały, że w pobliżu powierzchni ziemi warunki dla rozprzestrzeniania się promieni podczerwonych są bardziej sprzyjające, niż dla widzialnych. Dlatego aparatura obserwacyjna z zastosowaniem promieni podczerwonych częściej może zabezpieczyć duże odległości obserwacji, niż z zastosowaniem promieni widzialnych.

### 3/ ZRÓDŁA PROMIENI PODCZERWONICH.

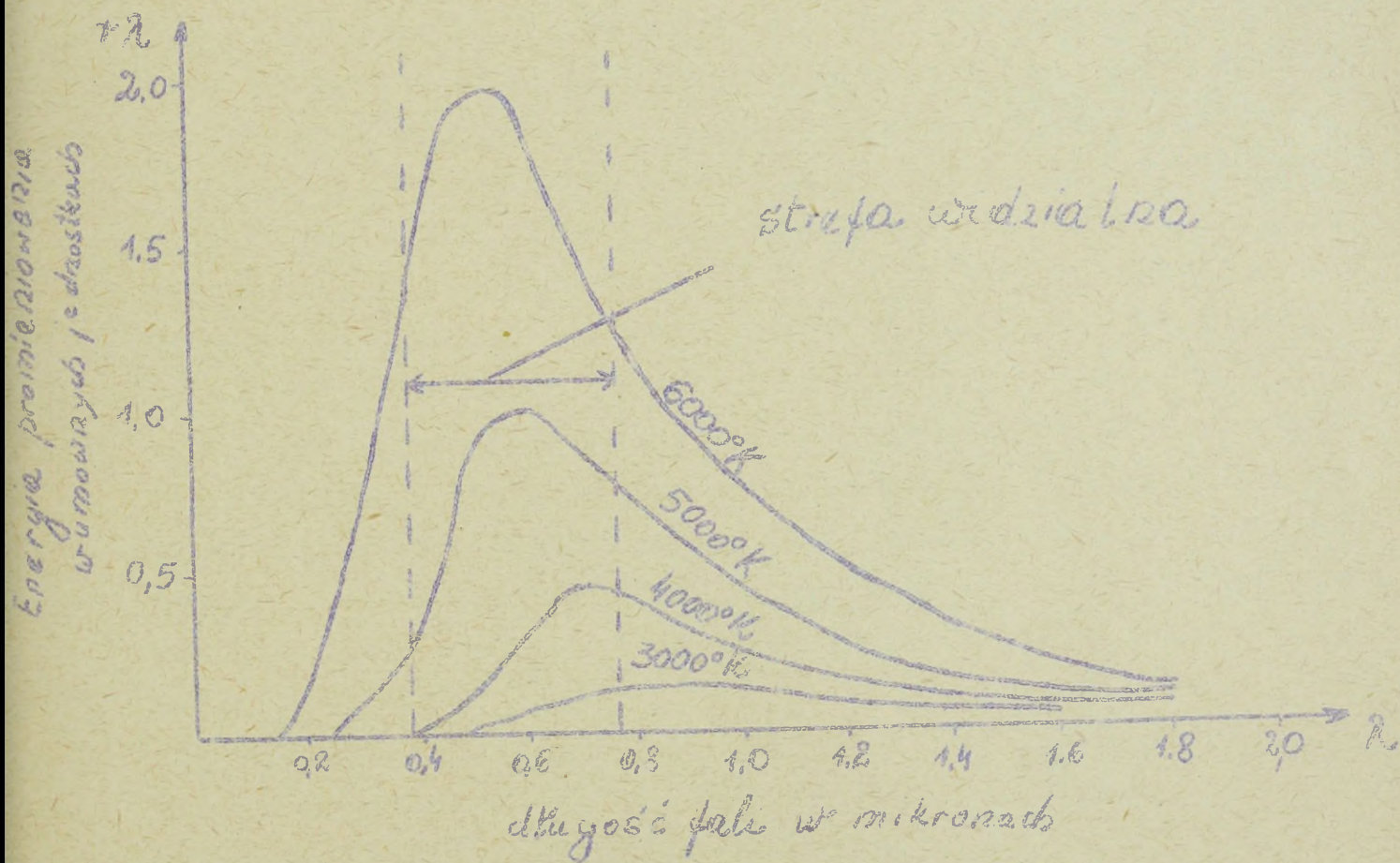
Zródłem promieni podczerwonych może być dowolne ciało nagrzane nawet wtedy, gdy nie świeci się ono światłem widzialnym. Jeżeli ciało nie obrzuca energii z zewnątrz, to po pewnym czasie wskutek wypromieniania <sup>się</sup> ochłodzi do temperatury otaczającego środowiska. Procesem następuje tzw. równowaga cieplna, przy której ciało pochłania i wypromienianuje jednakową ilość energii.

Stosunek zużycia energii promieniowania ciała do całości pochłaniania jest wielkością stałą niezależnie od natury ciała. Im więcej energii pochłania ciało przy danej temperaturze, tym więcej energii ono wypromienianuje. Ciało idealne, które pochłania całą padającą na nie energię, nazywamy absolutnie czarnym.

Jednak w rzeczywistości nie ma takich ciał, które posiadałyby zdolność całkowitego pochłaniania energii promieniowania. Przy dowolnej temperaturze, większej od zera bezwzględnej  $-273^{\circ}\text{C}$ ., ciało wydziela promienie, ale przy niskich temperaturach długości fal tych promieni jest bardzo duże.

Jeżeli dowolne ciało będziemy stopniowo podgrzewać, to po pewnym czasie zauważymy słabe ciemno-czerwone świecenie/ przy temperaturze  $500-600^{\circ}\text{C}$ ./ W miarę wzrostu temperatury jasność świecenia będzie wrosłać, a barwa świecenia będzie

coraz jaśniejsza: ciemno-czerwona barwa światła przejdzie w jasno czerwona, a następnie w pomarańczową, a żółtą i w końcu w białą. Każdej z tych barw odpowiada określona długość fal. Jeżeli przy niektórych temperaturach nagrzania ciała będziemy określać maksimum jego promienienia przy pomocy długości fal, to na podstawie tych danych można by wykreślić krzywe rys. 6. Na rysunku są przedstawione krzywe dla ciała czarnego. Z rysunku widać, że każda krzywa tworzy wyraźne zaznaczone maksimum. Ze wzrostem temperatury maksimum promienienia przesunęło się w stronę bardziej krótkich fal, a bezwzględna wartość maksimum prędko rośnie.



Rys. 6. Zmiana maksimum promienienia ciała czarnego przy różnych temperaturach.



lampy żarowe, rtęciowe, łuki elektryczne i inne.  
W lotniczym rozpoznaniu fotograficznym w dzień wykorzystuje się naturalne źródło promieni podczerwonych t.j. słońce, a w nocy wykorzystuje się promienie wysyłane przez niektóre obiekty/ciele/przez nas rozpoznawane/fotografowane podczerwone.

#### e/ FILTRY ŚWIETLNE DLA PROMIENI PO CZERWONICH.

Skład widma promieniowania różnych źródeł i charakterystyki widmowe czułości odbiorników promieniowania są bardzo różne. Dlatego też w praktyce często zachodzi potrzeba zmiany składu widma promieniowania danego źródła lub jego charakterystyki widmowej. Jedną z najprostszych metod wydzielenia potrzebnej części widma promieniowania polega na filtrowaniu promieniowania przy pomocy filtrów świetlnych.

Filtry świetlne są to przyrządy optyczne, przy pomocy których zmienia się skład widmowy i wielkość przechodzącego przez nie strumienia promieniowania. Działanie filtrów świetlnych polega na wykorzystaniu różnych zjawisk optycznych: pochłanianie światła, interferencji światła, polaryzacji i t.p. Najczęściej są stosowane filtry świetlne oparte na zasadzie pochłaniania światła.

Filtry świetlne stosuje się do następujących celów:

- a/pochłanianie krótkofalowej części widma, poczynając od pewnej określonej długości fali;
- b/pochłanianie długofalowej części widma, poczynając od pewnej określonej długości fali;
- c/przepuszczenie określonej części widma;
- d/równomierne osłabienie/pochłanianie/ wszystkich pasm przechodzącego widma/ neutralne filtry świetlne/.

Filtry podczerwone powinny posiadać właściwości maskujące t.j. dobrze pochłaniać widzialną część widma/ promieniowanie w widzialnym zakresie widma filtru jest tym lepszy, im mniej pochłania energii promieni podczerwonych przy jednoczesnym całkowitym pochłanianiu promieniowania widzialnego zakresu widma.

Bardzo ważnym czynnikiem dla filtrów świetlnych jest to, aby ich właściwości nie zmieniały się w różnych warunkach eksploatacji. Nie powinny ulegać zmianom wskutek mechanicznych wstrząsów, działania fali uderzeniowej przy wybuchu, wystrzale/oddziaływania atmosferycznego, mechanicznych zmian temperatury i t.p.

Przy obliczaniu parametrów filtra bierze się pod uwagę właściwą charakterystykę źródła promieniowania, charakter ludzkiego i odbiorcze energii promieniowania. Filtry świetlne mogą być stałe, ciekłe i gazowe. Najbardziej są rozpowszechnione stałe filtry świetlne, ponieważ pod względem konstrukcyjnym są wygodniejsze od ciekłych i gazowych.

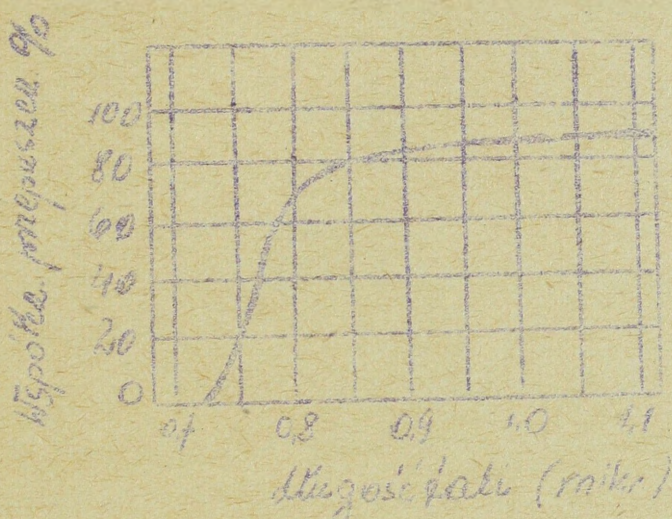
Filtry świetlne stałe najczęściej wykonuje się z żelatyny, zabarwionego szkła, tworzyw sztucznych i niektórych innych materiałów stałych.

W fotografii lotniczej szeroko są stosowane szklane filtry świetlne. Szklane filtry wykonuje się ze szkła zabarwionego barwnikami koloidalnymi. Jako barwniki stosuje się tlenowe sole kobaltu, niklu, żelaza, chromu i innych metali. Barwniki dodawane są w bardzo małych ilościach, a ich zawartość wynosi zaledwie ułamki procentu całej masy. Filtry szklane w porównaniu z żelatynowymi wykazują następujące zalety: posiadają większą wytrzymałość na zmiany temperatury, stałość charakterystyk widmowych w czasie i możliwość masowej produkcji filtrów z jednakowymi charakterystykami. Najbardziej przezroczystym dla promieni podczerwonych jest szkło kwarcowe. Dla przepuszczania promieni bliskiej podczerwieni największe zastosowanie mają szklane filtry świetlne KC-10, i KC-11, KC-2 i KC-13/są to rzadkie filtry świetlne/. Filtry KC-10 i KC-11 częściowo przepuszczają promienie widzialne/światło czerwone/.

Żelatynowe filtry świetlne stanowią cienką zabarwioną błonę o grubości 0,5 - 0,1 mm. Dla zabezpieczenia przed wilgocią i bezpośrednim oddziaływaniem temperatury błonę tę umieszcza się zazwyczaj między dwiema płaskimi płytkami szklanymi,

sklejonymi specjalnym balsamem. Do barwienia celatynowych filtrów stosuje się przeważnie barwniki organiczne. Na ryc. 7 pokazano krzywą charakterystyczną zależność współczynnika przepuszczenia celatynowego filtra świetlnego od długości fali.

Filtr tego typu dobrze przepuszcza promienie podczerwone, pochłaniając od najkrótszych fal widzialnej części widma. Wadami celatynowych filtrów świetlnych są: niestabilność widmowych charakterystyk w czasie; mała trwałość i zależność charakterystyk filtru od wilgotności i temperatury.



Rys. 7. Zależność współczynnika przepuszczenia celatynowego filtra świetlnego od długości fali.

w lotnictwie i fotografii podświetlonej. Zawsze używa się filtrów świetlnych tak przy fotografowaniu w dzień jak i w nocy. Zadaniem tych filtrów jest przepuszczenie promieni tylko o takiej długości fali jaką są uwrażliwione błony podświetlone. Wybór takiego lub innego filtra świetlnego zależy od konkretnych wymagań jakie chcemy osiągnąć stosując odpowiednie lotnicze aparaty fotograficzne i błony fotograficzne.

## 2. ZASTOSOWANIE FOTOGRAFII PODCZERWONEJ W LOTNICTWIE.

Fotografowanie lotnicze ma duże znaczenie dla celów wojakowych, ponieważ pozwala w stosunkowo krótkim czasie określić rozmieszczenie wojsk i obiektów wojskowych nieprzyjaciela. Otrzymane zdjęcia fotograficzne można łatwo reprodukować i rozmnożyć dla jednoczesnego studiowania ich przez dużą ilość osób.

Te współczesnych warunkach rozwoju techniki wojskowej fotografowania lotniczego ma charakter zastosowania. Lotnicze fotografowanie umożliwia otrzymywanie zdjęć dużych obszarów/obszarów/przedniego składu i na głębokich tyłach nieprzyjaciela w skrajnych warunkach rozpoznania celów i obiektów wojskowych. Dlatego też zajęcie lotnicze stało się jednym z najważniejszych środków rozpoznania współczesnych armii. Specyficzne działania bojowe w warunkach nocnych utrudniają prowadzenie rozpoznania przez najskuteczniejszą i uniemożliwiają wykorzystanie w danym przypadku zwykłych metod fotografowania. Dlatego też duża znaczenie posiada studiowanie/zbieranie/analizowanie fotografowania w podziemiu.

Dla fotografowania w promieniach podczerwonych obiektyw fotoaparatu powinien być wykonany ze szkła lub przezroczystego polimeru podczerwone, a błony fotograficzne powinny być specjalną warstwą osłoniętą na promienie podczerwone/infra-czerwone/.

Fotografowanie w promieniach podczerwonych poprawia jakość zdjęć i zwiększa na większą głębokość i rozdzielczość z fotografowaniem w promieniach widzialnych. Dlatego że promienie podczerwone w tych warunkach ulegają mniejszemu rozproszeniu. Ale należy zaznaczyć, że duża wada fotografowania w promieniach podczerwonych jest ich słaba fotochemiczna діяльність. Wzrost warstwy światłoczułej błony/filmu/ składa się z drobnych kryształków bromku srebrnego zawieszonych w żelatynie. Bromek srebrny dobrze pochłania ultrafioletowe, fioletowe i niebieskie promienie. Pod wpływem działania światła w warstwie światłoczułej, która jest pokryta błoną fotograficzną, występuje fotochemiczna reakcja, a mianowicie: molekuly bromku srebrnego rozpadają się na atomy srebra i bromu. Wzrost fotochemicznej reakcji każdego połączenia kwantów światła odpowiada chemicznej przyłączeniu jednej molekuly/quant jest to określona niejednostajność energii "porcja", która może być pochłonięta przez oddany system wiązania lub umocnienia. Energia kwantu światła promieniowego możemy wyrazić przy pomocy wzoru:

$$E = h \nu$$

gdzie:

$E$  - energia kwanta strumienia promieniowego;

$h$  - stała Plancka, równa  $6,63 \cdot 10^{-27}$  erg/sek.;

$\nu$  - częstotliwość padającego strumienia świetlnego.

Z nauki fizyki wiemy, że częstotliwość drgań elektromagnetycznych jest odwrotnie proporcjonalna do długości fali,

t.j.  $\nu = \frac{1}{\lambda}$

Jeżeli we wzorze energii kwanta zastanowiemy częstotliwość długością fali strumienia promieniowego zobaczymy, iż kwanty strumienia posiadające bardziej krótką długość fali t.j. posiadające dużą częstotliwość, dysponuje dużą energią.

Podstawowe prawo fotochemicznego działania światła mówi o tym że ilość materii/substancji/ reagującej wskutek działania energii promieniowania jest proporcjonalna do energii padającego. Stąd wniosek, że promienie ultrafioletowe, mające najkrótszą długość fali, w reakcji fotochemicznej są bardziej aktywne niż promienie widzialne i podczerwone.

Fotochemiczna nieaktywność czerwonych i podczerwonych fal objaśnia się tym, że energia ich kwantów jest za mała aby mogła wywołać rozpad molekuł bromku srebrnego na atomy bromu i srebra. Dlatego czerwone i podczerwone promienie nie są używane w zwykłych błonach fotograficznych, co pozwala odrobić błony fotograficzne w pokoju a czerwone światło nie narusza ich na zupełnie. Fotochemiczna nieaktywność promieni czerwonych i podczerwonych jest ich wadą, ponieważ nie mogą być one zastosowane przy fotografowaniu na zwykłych błonach fotograficznych. Fotografowanie w promieniach podczerwonych i czerwonych wykonuje się na błonach z światłoczułą warstwą, do której dodaje się specjalne barwniki/sensybilizatory/-uczulacze. Są to związki chemiczne /barwniki/ o skomplikowanej budowie, które w zależności od swojej budowy umożliwiają uzyskanie zupełnie fotochemiczne i do określone promieniowanie.

W rezultacie działania sensybilizatorów światła promy światła  
go zmieniają swoją właściwość i stają się omiłą na bardzo  
długie fale. Sensybilizatorami najczęściej bywają olejki  
egzempliki: nasycony, nasycony, nasycony z podstawo-  
cyjnymi. Maksymalną sensybilizacyjną dawką przeważają  
na następujące długości fal: 0,0,0,34,0,8 i 1,1 mik. Przy  
pomocy sensybilizatorów można uzyskać fotokopie z  
na promieniu podczerwym o długości od 0,8 do 1,1 mik.  
1,2 - 1,4 mik.

Barwa obrazu zależy od stosunku do błon podczerwo-  
nych hipersensybilizacji. Ponadto, jak już w tym miejscu, błony  
podczerwone posiadają bardzo małą czułość, która stopniowo  
szybko maleje w miarę przechodzenia błony w kierunku z tym  
zwiększa konieczność maksymalnego zwiększenia czułości  
bezpośrednio przed wykonaniem fotografowania.

Hipersensybilizacja polega na obróbie błon fotograficznych  
przed naświetleniem, zwiększając czułość tych błon około  
20-krotnie, w rozwarach odpowiednich substancji, albo też  
na wytrącaniu błon podczerwonych w porach niektórych w  
substancji. Na przykład firma "Agfa" zaleca stosowanie  
następującego roztworu sensybilizującego:

- woda 60 gram
- roztwór stałego amoniaku 60 ml.
- woda 1 litr.

Błony należy się przez 10 minut w roztworze o temperaturze  
10-12°C, następnie przez trzy minuty płukać się w roztworze  
wodnym alkoholu i szybko suchy. Przy tej sposobności należy  
powiedzieć, że hipersensybilizacja powoduje umienny  
spadek stabilności błon podczerwonych. Dlatego też należy  
je szybko/nie później jak po 1-3 dniach/naświetlać i  
obrabiać.

Przy przetwarzaniu hipersensybilizacji temperatura  
w płaski nie powinna być zbyt wysoka, gdyż im wyższa tempera-  
tura hipersensybilizacji, tym osiąga się do pewnej wyżej  
czułość, ale także i wysokie zaćmienie. Maksymalne skrócenie  
czasu suchenia po hipersensybilizacji też wpływa na suchy-  
szanie suchenia.

Na odległość fotografowania w świetle dziennym w znaczący stopniu wpływa zanieczyszczenie atmosferyczne. Rzecz polega na tym że od zanieczyszczenia oddzielającego dalekie przedmioty/objekty/ i aparat odbija się dość dużo niebiesko-fioletowych promieni widma. Te odbite promienie przedostają się do aparatu razem z promieniami idącymi od obiektu fotografowanego. Strumień świetlny, idący od zanieczyszczenia nasłania równomiernie błonę fotograficzną, w rezultacie tego pokryje się ona białym woalem./powstanie szarym/ i cała zmniejsza kontrastowość obrazu fotografowanego obiektu, przez co zmniejsza się odległość fotografowania. Jeżeli przed obiektywem aparatu umieszcza się filtr podczerwony, to rozpraszane przez zanieczyszczenie niebiesko-fioletowe promienie będą zatrzymane przez ten filtr i nie wywarzą żadnego wpływu na błonę fotograficzną. Promienie podczerwone, które jako przebiegają przez filtr prawie nie są rozpraszane przez zanieczyszczenie wskutek dużej długości fali i tym samym otrzymuje się ostrzy obraz. W ten sposób przy pomocy filtru w przedmiotach podczerwonych można znacząco powiększyć odległość fotografowania lub przy jednakowej odległości otrzymać zdjęcia lepszej jakości. Fotografowanie w podczerwieni wykonuje się wyłącznie przy zastosowaniu odpowiednich filtrów świetlnych. Ogólnie mówiąc powiadać, że główne zadanie filtrów świetlnych polega na tym, żeby pochłaniały one całkowicie promienie niebiesko-fioletowe w zakresie od 300 do 520 milimikronów. Wynika to z tego, że światłoczułe materiały podczerwone uczulone są również prócz podczernienia na promienie niebiesko-fioletowe/uczulenie własne bromku srebra/, przy czym uczulenie podczernienia jest znacznie słabsze od uczulenia w zakresie 350-500 milimikronów. Na przykład gdybyśmy fotografowali na błonach podczernionych bez odpowiednich filtrów, to nie stracilibyśmy żadnych efektów w podczernieniu i zdjęcia byłyby podobne do wykonanych na nieuczulonym/ślepych/materiale, gdyż skutek fotograficzny promieniowania podczerwonego praktycznie będzie skutkiem fotograficznym promieniowania niebiesko-fioletowego.



Przy tym należy zaznaczyć, że jakość fotografowania jest zależna w zasadzie od natężenia oświetlenia wywołanego przez źródło światła na danej miejscowości. Jeżeli chodzi o odległość fotografowania w promieniach podczerwonych, to należy podkreślić, iż jest ona znacznie większa w porównaniu z odległością fotografowania w świetle widzialnym.

Już w latach trzydziestych naszego stulecia były zarejestrowane wypadki otrzymania stosunkowo dobrych zdjęć lotniczych na odległości do 470 km. Ogólnie można stwierdzić, że odległość fotografowania w podczerwieni jest ograniczona tylko krzywizną ziemi. Dla wojskowej fotografii lotniczej w podczerwieni, waje dużą znaczenie takie /elementy/ jak: dobra kontrastowość zdjęć, dobra rozróżnialność obiektów poprzez słabą mgłę i zamglenia, odległość fotografowania rzędu 20-30 km. tak w dzień jak i w nocy.

Jedynym w najtrudniejszych problemach lotniczej fotografii podczerwonej jest produkcja błon podczerwonych uzależnionych od odpowiedniej długości fali promieni podczerwonych i sposobu przechowywania.

Do wad błon podczerwonych należy zaliczyć przede wszystkim ich małą trwałość. Trwałość lotniczych błon fotograficznych /okres, w którym zachowuje swoje właściwości wynosi około 9 miesięcy, a błon podczerwonych okres ten nie przekracza w najlepszym przypadku 6-8 miesięcy, natomiast błon uwrażliwionych na promienie o długości fali 1030 milimikr. - uwrażliwionych pod warunkiem przechowywania w temperaturze poniżej 0°C. Spadek czułości i wzrost zadymienia błon podczerwonych może być częściowo zahamowany przez obniżenie temperatury przechowywania. Na przykład błona uwrażliwiona na promienie o długości fali 1030 milimikr. w temperaturze 0°C trwa jest tylko jeden tydzień, a w temperaturze - 60°C - jeden miesiąc.

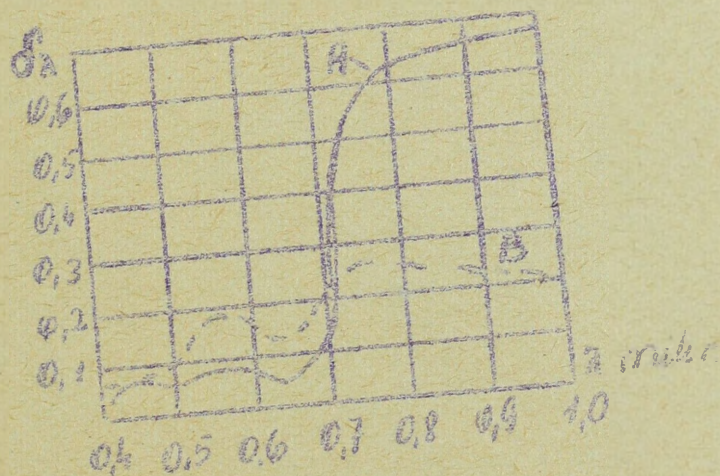
Dlatego też błony podczerwone należy przechowywać w miarę możliwości w jak najniższej temperaturze.

Przed fotografowaniem trzeba błony podczernzone wyjąć na pewien  
 szerszy okres czasu z lodówki. Czas ten w zależności od wymiaru  
 błony może wynieść nawet kilka godzin. Głównym wrogiem błony  
 podczernzonej jest wilgoć, która powoduje znaczne osłabienie  
 jej trwałości.

Fotografowanie w promieniach podczernzonych, przez zwiększenie  
 odległości fotografowania przez słabą ugię i zagnięcie, ułatwia  
 odczytywanie zamaskowanych obiektów nieregularnych.

Na przykład, przy pomocy fotografii w promieniach podczernzonych  
 można odczytywać obiekty zamaskowane naturalną zielenią. Sprawa  
 polega na tym, że współczynnik odbicia dla promieni o różnej  
 długości fali jest niejednakowy. To zjawisko wyjaśnia rysunek  
 4 na którym jest schematycznie przedstawiony przebieg współczynników odbicia  
 w zależności od długości fali promieni.

Krzywa A dla zielonych liści ma charakter słabo pochylony w  
 widzialnym obszarze widma i rozbiega się na odcinku  
 promieni podczernzonych, a następnie przebiega prawie równoległe  
 do osi iksów. Krzywa spektralnego odbicia dla sztucznej barwy  
 zielonej B w widzialnej części widma prawie pokrywa się  
 z krzywą współczynników odbicia dla rzeczywistej zieleni i  
 przebiega znacznie niżej w podczernzonej części widma.



Rys. 4. Spektralny przebieg współczynników odbicia.  
 A. - rzeczywistej zieleni  
 B. - sztucznej zielonej barwy.

Przypuśćmy, że na śniegu znajduje się jakiś obiekt, który jest pomalowany zieloną farbą pod tło otaczającego terenu. Im dokładniej będzie pokrywał się kolor tego obiektu z kolorem otaczającego tła, tym trudniej dla zwiadowcy jego wykryć. Jeżeli nawet ten obiekt będzie sfotografowany na błonie /uczulonej na promienie widzialne /czyli, to wszystko jednak będzie on zlewał się z otaczającym tłem. Natomiast przy sfotografowaniu tego obiektu w promieniach podczerwonych rzeczywista zielona wyjdzie na zdjęciu znacznie jaśniejszą /wskutek dużego współczynnika odbicia / niż otoczenie zieloną pomalowanego obiektu pod tło terenu. Należy zauważyć, że ważną demaskującą oznaką jest charakter otrzymanego na zdjęciu obrazu.

Śniegiasty wygląd nadaje zdjęciu wykonanemu w promieniach podczerwonych chlorofil wchodzący w skład zieloni, który posiada duży współczynnik odbicia. Złociste drzewo pokryte gęstymi liśćmi wychodzi biało jakby podczas fotografowania było przykryte śniegiem.

Mierzanie obiektów ściętymi gałęziami nie daje pozytywnych wyników, ponieważ nawet trochę zwiększa zielony tło chlorofil i w związku z tym współczynnik odbicia w pasmie podczerwonym wyraźnie słabnie się. Dlatego też zamaskowany obiekt ściętymi gałęziami będzie miał na zdjęciu wygląd bardziej ciemny w porównaniu z otaczającą zielonią.

Żeby obiekt nie był odróżniony w promieniach widzialnych i podczerwonych należy dobrać taką szarą barwę, której współczynnik odbicia pokrywałby się w całym zakresie długości fal z współczynnikiem odbicia rzeczywistej zieloni. Jednak w rzeczywistości jest bardzo trudno otrzymać takie granice współczynników odbicia w szarej powierzchni długości fal szarej barwy.

Na zakończenie tego tekstu należy podkreślić, iż zastosowanie fotografii podczerwonej w lotniczym rozpoznaniu fotograficznym i w rozpoznaniu wojskowym w ogóle, posiada duże znaczenie.

Ponieważ jak już mówiliśmy o tym, zdjęcia wykonane w podczerwieni są bardziej kontrastowe niż zdjęcia czarno-białe i umożliwiają łatwiejsze określenie/odróżnianie krajobrazu rzeczywistego od tła maskowanych obiektów, szczególnie w terenie kontrastowym dla promieni podczerwonych/naturzian zieleń, jeziora, rzeki, wybrzeża i t.p./

Fotografowanie w podczerwieni może odbywać się nie tylko przy świetle dziennym, ale i w ciemności/w nocy/, co ma szczególne ważne znaczenie dla zachowania ciągłości rozpoznania lotniczego. Zasada tego sposobu fotografowania polega na oświetleniu fotografowanych obiektów promieniami podczerwymi odbiciu się tych promieni od obiektu i naświetlenia/fotografowaniu/ odpowiednio uzulonych lotniczych błon fotograficznych. Uzulenie błon/analizji światłoczułej/na tego rodzaju fotografowanie winno charakteryzować maksymalnym uzuleniem 800- lub 850 milimikronów, przy czym przed fotografowaniem podaje się je hipersensybilizacji.

Do oświetlenia fotografowanych obiektów stosuje się źródło światła o dużej mocy.

Do oświetlenia obiektów z samolotu stosuje się urządzenia błyskowe, zakryte specjalnym szarym filtrem.

Można także fotografować w ciemności bez oświetlenia promieniami podczerwymi te obiekty, które same promieniują promieniami podczerwymi. Mogą to być nagrzane w granicach temperatur od 260°C do 425°C obiekty lub urządzenia.

Obiekty o temperaturach niższych od 250°C promieniują promieniami podczerwymi o długościach fali znacznie przekraczających granice uzulenia błon podczerwonych, a obiekty o temperaturach poniżej 425°C promieniują także promieniami czerwonymi tj. widzialnymi dla oka.

Fotografie podczerwone na obecnym etapie jej rozwoju posiadają przewagę nad fotografią czarno-białą tylko pod niektórymi względami/kontrastowość, fotografowanie w ciemności, fotografowanie poprzez słabą mgłę i zamglenie/, pod wieloma innymi

zagładami/ostrość zdjęć, czas obróbki zdjęć, przygotowanie błon do fotografowania/ nie może zastąpić fotografii czarno-białej. Każda z nich ma dodatnie i ujemne strony, natomiast gdy przetworzenie je razem, to będą one bardziej użyteczne niż każda z osobna. Jeżeli natomiast je takie sytuacja, że będziemy mogli zastosować tylko jedną z tych sposobów fotografowania, to wówczas należy wybrać fotografowanie czarno-białe.

Jednym z najtrudniejszych zagadnień fotografii podczerwonej jest produkcja materiału światłoczułego osłoniętego na odpowiednią długość fali promieni podczerwonych i układ soczewek obiektywu dostosowany do odpowiedniej długości fali promieni podczerwonych, który w zasadzie można usprawnić, ale wzmiankowane produkcje błon podczerwonych ma charakter zasadniczy. Bardzo istotnym zagadnieniem, nie tylko dla fotografii podczerwonej, ale dla fotografii lotniczej w ogóle jest maksymalne skrócenie czasu opracowania wyklików fotografowania. W związku z tym należy spodziewać się, iż rozwój fotografii lotniczej pójdzie drogą maksymalnego skrócenia czasu laboratoryjnego opracowania błon i zdjęć.

OPRACOWAŁ  
*Józef Ślawinski*  
 ppłk Józef ŚLAWINSKI

Wydrukowano w 50 egz.  
 Egz. Nr 1-50 - Bibl. Szkol. Jawną  
 Nr ks. 423/44

