

POLSKA AKADEMIA NAUK  
INSTYTUT GEOGRAFII

---

PRACE GEOGRAFICZNE NR 91

ANDRZEJ CIOŁKOSZ, JERZY MISZAŁSKI

# WYKORZYSTANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH W GEOGRAFII STOSOWANEJ

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK  
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH  
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK



POLSKA AKADEMIA NAUK  
INSTYTUT GEOGRAFII

\*

PRACE GEOGRAFICZNE NR 91

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ТРУДЫ  
№ 91

АНДЖЕЙ ЦЕЛКОШ, ЕЖИ МИШАЛЬСКИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОСНИМКОВ  
В ПРИКЛАДНОЙ ГЕОГРАФИИ

\*

GEOGRAPHICAL STUDIES  
No. 91

ANDRZEJ CIOŁKOSZ, JERZY MISZALSKI  
AERIAL PHOTOS IN APPLIED GEOGRAPHY

POLSKA AKADEMIA NAUK  
INSTYTUT GEOGRAFII

---

PRACE GEOGRAFICZNE NR 91

ANDRZEJ CIOŁKOSZ, JERZY MISZALSKI

# WYKORZYSTANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH W GEOGRAFII STOSOWANEJ

WROCLAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK  
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH  
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

1972

**Komitet Redakcyjny**

**REDAKTOR NACZELNY: M. KIELCZEWSKA-ZALESKA**  
**ZASTĘPCA REDAKTORA NACZELNEGO: K. DZIEWOŃSKI**  
**CZŁONKOWIE: R. GALON, L. STARKEL**  
**SEKRETARZ: I. STAŃCZAK**

**Redaktor Wydawnictwa Róża Wojtowska**

**Redaktor techniczny Maria Kafarska**

*Printed in Poland*

Zakład Narodowy im. Ossolińskich—Wydawnictwo. Wrocław 1972.  
Nakład: 670 : 130 egz. Objętość: ark. wyd. 5,50, ark. druk. 5,50,  
ark. A1 7. Papier powlek. kl. III, 80 g., 70 × 100. Oddano do składania  
16 VI 1971. Podpisano do druku 12 XII 1971. Druk ukończono w sty-  
czniu 1972. Wrocławska Drukarnia Naukowa. Zam. 721/71 K-5  
Cena zł 15.—

## SPIS TREŚCI

Andrzej Ciołkosz: ANALIZA STRUKTURY ZASIEWÓW NA PODSTAWIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH . . . . .	7
Wstęp . . . . .	7
Stan i kierunki badań nad zagadnieniem zastosowania zdjęć lotniczych do analizy struktury zasiewów . . . . .	9
Założenia tematyczne i metodyczne . . . . .	14
Warunki fotografowania . . . . .	18
Kartometryczne właściwości zdjęć lotniczych . . . . .	29
Mikrofotometryczna metoda interpretacji zdjęć lotniczych. Konstrukcja klucza fotointer- pretacyjnego . . . . .	31
Wiarygodność i dokładność mikrofotometrycznej analizy zdjęć lotniczych . . . . .	36
Wnioski . . . . .	42
Bibliografia . . . . .	44
Резюме . . . . .	47
Summary . . . . .	49
Andrzej Ciołkosz, Jerzy Miszański: BADANIA RUCHU POJAZDÓW NA POD- STAWIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH . . . . .	51
Wstęp . . . . .	51
Warunki fotografowania . . . . .	52
Identyfikacja pojazdów — graficzny obraz ruchu . . . . .	59
Prędkość pojazdów, przyspieszenia . . . . .	62
Płynność ruchu i jego zakłócenia . . . . .	70
Natężenie ruchu kołowego . . . . .	73
Parkowanie . . . . .	76
Analiza dokładności metody . . . . .	79
Wnioski . . . . .	83
Bibliografia . . . . .	84
Резюме . . . . .	85
Summary . . . . .	86





ANDRZEJ CIOŁKOSZ

## ANALIZA STRUKTURY ZASIEWÓW NA PODSTAWIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH

### WSTĘP

Użytkowanie ziemi jest od dawna przedmiotem wielokierunkowych badań zmierzających do jak najbardziej kompleksowego ujęcia, głównie w formie kartograficznej, stanu wykorzystania ziemi przez różnego rodzaju działalność człowieka. Celem tych badań zarówno szczegółowych, jak i przeglądowych jest wyznaczenie kierunków zmian, które prowadzą do bardziej racjonalnego wykorzystania środowiska geograficznego.

Pojęcie użytkowania ziemi jest pojęciem bardzo szerokim, zawierającym w sobie wszystkie elementy działalności człowieka, które wyrażają się w zagospodarowywaniu powierzchni ziemi. Badanie lokalizacji niektórych spośród tych elementów, tendencji ich rozwoju, zachodzących zmian itp. nie przedstawia większych trudności, natomiast badanie innych elementów wymaga ogromnego nakładu pracy, a sam efekt opracowania bardzo szybko się dezaktualizuje.

Do elementów wielce efemerycznych należą uprawy zbożowe, okopowe i pastewne. Dzisiejsze badania zmierzające do ustalenia charakteru produkcji roślinnej dla danego obszaru opierają się bądź na obserwacjach terenowych, bądź też na wynikach corocznego, czerwcowego spisu rolnego. Nie kwestionując wartości materiałów otrzymanych jednym czy drugim sposobem, należy zwrócić uwagę na ogromną pracochłonność robót terenowych, które wymagają od badacza dokładnego „schodzenia” opracowywanego terenu, i to w krótkim okresie uwarunkowanym występowaniem upraw na polach, albo też na wielkie koszty związane z angażowaniem dużej liczby ludzi, jak w przypadku spisu czerwcowego. Trzeba podkreślić, że Główny Urząd Statystyczny nie przyjmuje bezkrytycznie danych otrzymanych w wyniku spisu [44]. Wyniki spisów są bowiem sprawdzane przy pomocy badań reprezentacyjnych, które pozwalają określić wielkość błędu i wprowadzić odpowiednie poprawki. Poprawione w ten sposób wyniki spisu też nie gwarantują zupełnej pewności stanu występowania określonego zjawiska. Oczywiście

w skali makroregionów może to nie mieć większego znaczenia, ale w opracowaniach mikroregionalnych błąd ten może być niekiedy nawet dość duży.

Należy również podkreślić, że dotychczasowe badania nie dają obrazu aktualnego rozmieszczenia upraw w ujęciu przestrzennym. Szczegółowa i dokładna analiza struktury upraw nie jest tylko sztuką dla sztuki, ale jej badanie zapewnia czynnikiem kierującym danym odcinkiem gospodarki narodowej właściwe rozeznanie w zachodzących zjawiskach, z drugiej natomiast strony opracowanie szybszych i tańszych metod badania struktury upraw pozwoli na znaczne zaoszczędzenie sił i środków zużywanych corocznie w czasie letnich spisów rolnych. Analiza ta ma zatem duże znaczenie praktyczne. W tej sytuacji wydaje się celowe zastosowanie w badaniach rozmieszczenia przestrzennego różnych rodzajów upraw nowej metody, która pozwala na uzyskiwanie w miarę poprawnych wyników znacznie szybciej. Tą nową metodą jest interpretacja zdjęć lotniczych. Analiza zdjęć lotniczych jest metodą, która w warunkach polskich nie nadaje się do stosowania w skali całego kraju, ale może odegrać dużą rolę w badaniach reprezentacyjnych i w tym przypadku powinna okazać się metodą stosunkowo tanią.

W niniejszej pracy przedstawiono próbę zastosowania specjalnego rodzaju fotointerpretacji w badaniach struktury zasiewów na terenie 2 wsi i jednego Państwowego Gospodarstwa Rolnego w pow. piaseczyńskim. Ze względu na nowy, w warunkach polskich, sposób opracowania tego zagadnienia w pracy istnieją dwa równoległe potraktowane zagadnienia: metodyczne i geograficzno-ekonomiczne. Dzięki temu można było ustalić stopień użyteczności zdjęć lotniczych w badaniach struktury zasiewów w naszych warunkach fizyczno-geograficznych i ekonomiczno-społecznych.

## STAN I KIERUNKI BADAŃ NAD ZAGADNIENIEM ZASTOSOWANIA ZDJĘĆ LOTNICZYCH DO ANALIZY STRUKTURY ZASIEWÓW

Ogromne zainteresowanie zdjęciami lotniczymi, jak również ich interpretacją znalazło swój wyraz w wielkiej ilości prac poświęconych zagadnieniom fotografii lotniczej oraz metodom i wynikom opracowania zdjęć. Do chwili obecnej zarówno fotointerpretacji, jak i jej zastosowaniu w różnych dziedzinach nauki i techniki poświęcono kilka bibliografii tematycznych [23, 50, 56], które zawierają niemal cały światowy dorobek z tego zakresu. Należy jednak nadmienić, że zagadnieniom interpretacji użytków poświęcono kilkaset prac, natomiast badaniom struktury zasiewów na podstawie zdjęć lotniczych — zaledwie kilkanaście. Wiąże się to niewątpliwie zarówno z wielkimi trudnościami wynikającymi ze specyfiki badań obrazu fotograficznego upraw, jak i małym do niedawna zainteresowaniem tym problemem.

Pierwsze badania nad odbiciem spektralnym promieni świetlnych przez różne gatunki roślinności były prowadzone już w latach dwudziestych naszego stulecia przez Pokrowskiego [37], Schulla [49] oraz Seybolda [50]. Od tej chwili znany jest przebieg krzywych spektralnych dla niektórych gatunków roślin zarówno w zakresie całego widma widzialnego, jak i w bliskiej podczerwieni. Wielu autorów próbuje zaszeregować różne gatunki roślin do poszczególnych klas, zależnie od ich zdolności odbijania światła widzialnego i promieniowania podczerwonego [5, 30, 35]. Stwierdzono, że w zakresie podczerwieni znacznie wyraźniej zaznacza się różnica pomiędzy poszczególnymi gatunkami roślin niż w zakresie widma widzialnego. Billings i Morris [9] z kolei wykazali wpływ czynników ekologicznych na zdolność odbicia oraz stwierdzili zmniejszanie się odbicia promieniowania podczerwonego w miarę zwiększania zakresu pomiaru w kierunku dłuższych fal. Dalsze badania, wśród których wymienić należy prace Gatesa i Tantrapowa [26], Biegowa [7], Gatesa, Keegana, Schlechtera, Weidnera [25], precyzują naturę wykonywanych pomiarów, wskazując na zależność jasności przedmiotów od kąta padania promieni słonecznych, charakteru odbicia promieniowania oraz wskazują na zmiany jasności zależne od rodzaju powierzchni odbijającej (np. górna lub dolna powierzchnia liści, ich ułożenie, sumowanie się jasności liści i łodyg, wpływ cienia własnego na ogólną jasność obrazu itp.). Należy podkreślić, że rozszerzono zakres badanego promieniowania odbijanego przez rośliny aż do 16 mikronów.

Bardzo ważne i istotne jest spostrzeżenie Biegowa [8], który zwrócił uwagę, że dla celów fotografii lotniczej istotniejsze znaczenie ma pomiar jasności całej rośliny niż tylko jej części, bowiem pomiar na zdjęciu lotniczym jest sumą jasności poszczególnych części rośliny. Wskazał on również na fakt, że jasność spektralna całej rośliny pomierzona na zdjęciu lotniczym jest mniejsza niż jasność pojedynczych jej liści.

Prócz prac dotyczących badań właściwości spektralnych szaty roślinnej, w których z reguły nie wykorzystywano zdjęć naziemnych ani lotniczych, od lat pięćdziesiątych bieżącego stulecia pojawiają się rozprawy z zakresu analizy obrazu fotograficznego roślinności. Wśród pierwszych prac tego typu należy wymienić badania Spurra [51], Avery'ego [4], Reya [39], Schulte'a [48] i innych. We wszystkich tych pracach, jak również w przeprowadzonych kilka lat później badaniach Doverspike'a i Hellera [22] oraz Rossettiego [40], wykazano pierwszorzędne znaczenie skali zdjęć lotniczych w badaniach roślinności. Zwrócono uwagę, że dla niektórych rodzajów prac wymagane są zdjęcia wykonane w bardzo dużej skali, dochodzącej nawet do 1 : 200.

Na szczególną uwagę wśród tych prac zasługują badania Rossettiego [40, 41]. Przeanalizował on zdjęcia różnych gatunków roślin, wykonane w różnych stadiach ich rozwoju. Wyniki jego prac można sprowadzić do trzech punktów, mianowicie:

1. Faza fenologiczna w decydujący sposób wpływa na fotograficzny obraz roślinności.

2. Dokładne badania roślinności wymagają z reguły zdjęć wielkoskalowych, przy czym skalę 1 : 10 000 należy uznać za najmniejszą w tego typu pracach.

3. Emulsje barwne, a szczególnie emulsje spektrostrefowe wykazują wyższość nad emulsjami czarno-białymi w procesie interpretacji roślinności ze zdjęć lotniczych.

Stosunkowo dużo opracowań dotyczących właściwości spektralnych różnych gatunków roślin, jak również ich odwzorowania na zdjęciach wykonano w ZSRR. Obok wspomnianej pracy Biegowa [8] należy wymienić wyczerpującą pracę Charina [14], w której autor przedstawił wyniki badań nad jasnością spektralną w zakresie widma widzialnego i podczerwonego różnych rodzajów drzew występujących na terenie Związku Radzieckiego oraz wskazał na wykorzystanie tej cechy fotointerpretacyjnej, jaką jest fototon, w interpretacji roślinności. Prócz tej należy wymienić prace Arcybaszewa [2, 3], Krinowa [32], Pronina [38], a przede wszystkim wszechstronne badania radzieckiego specjalisty od zagadnień interpretacji szaty roślinnej — Winogradowa [60, 61, 62], który przeprowadzał je w różnych strefach klimatycznych i roślinnych.

Wszystkie wymienione dotychczas prace traktowały o zagadnieniach właściwości spektralnych różnych zespołów roślinnych i leśnych oraz o badaniu tych obiektów na zdjęciach lotniczych. Stosunkowo późno zwrócono uwagę na możliwość badań upraw rolnych na podstawie zdjęć lotniczych. Spowodowane to było zbyt małym doświadczeniem w zakresie interpretacji roślinności w ogóle, aby

przystąpić do prac nad uprawami, które w okresie rozwoju bardzo szybko zmieniają swoje właściwości spektralne, a tym samym swój ton na zdjęciu lotniczym. Jednak po zgromadzeniu pewnych doświadczeń zaczęto zajmować się i tym zagadnieniem. Przede wszystkim zwrócono uwagę, że jednym z najbardziej istotnych czynników związanych bezpośrednio z możliwością rozpoznania poszczególnych upraw na zdjęciu lotniczym jest właściwy dobór okresu fotografowania. I tak na przykład dla Nowego Brunswiku (Kanada) Packman [36], w wyniku własnych badań, jako najkorzystniejszy okres dla fotografowania przeznaczonego dla potrzeb interpretacji upraw rolnych przyjął ostatnie dwa tygodnie sierpnia, „kiedy ziemniaki mają już wystarczające ulistnienie, a zbiór upraw pastewnych trwa lub właśnie się zakończył”. Dla północnego obszaru Illinois (USA) Goodman [27] oraz Kohn [31] ustalili drugą połowę lipca jako okres, w którym na wykonanych zdjęciach lotniczych uprawy różnią się maksymalnie między sobą. Jeszcze inny okres podał Colwell [20] dla Kalifornii (pierwsze dni czerwca), Meienberg [34] dla południowej części NFR (lipiec, na krótko przed żniwami ozimego jęczmienia) oraz Steiner [54] dla wyżynnej części Szwajcarii (połowa maja, przed pierwszymi zbiorami siana).

Dalsze prace dotyczyły już interpretacji poszczególnych upraw. Jako jedni z pierwszych podjęli ten temat Amerykanie Goodman [27] i Langley [33], otrzymując już w pierwszych próbach zupełnie poprawne wyniki. Należy jednak zwrócić uwagę, że w Stanach Zjednoczonych istniały szczególnie korzystne warunki do wykonywania tego rodzaju prac. Wynikały one przede wszystkim z wielkoobszarowego typu gospodarki rolnej, ponadto sposób uprawy jak i terminy zasiewu zbóż i sadzenia okopowych były prawie jednakowe na olbrzymich przestrzeniach. I tak Goodman w badanym obszarze na terytorium północnego Illinois miał tylko trzy rodzaje upraw (pszenicę ozimą, jęczmień jary i owies), które wyraźnie różnicowały się na zdjęciach panchromatycznych wykonanych w okresie, kiedy zróżnicowania tonalne poszczególnych upraw nie przybrało maksymalnej wartości. Stąd też prace amerykańskie cechuje duża dokładność i wiarygodność interpretacji, a klucze fotointerpretacyjne opracowane w USA prawie całkowicie spełniają swoje przeznaczenie [13].

Poprawne i stosunkowo łatwo osiągalne wyniki badań nad identyfikacją upraw na zdjęciach lotniczych skłoniły badaczy amerykańskich do zajęcia się innymi zagadnieniami z tego zakresu. Już w 1955 r. Colwell [19] wysuwa problem wykrywania chorób u niektórych zbóż (owies, pszenica). Stwierdził on, że w zakresie promieniowania podczerwonego (około  $0,8 \mu$ ) występują duże różnice odbicia (rzędu 10–20%) między liśćmi zakażonymi a zdrowymi. Różnice te są doskonale widoczne na filmie podczerwonym czarno-białym jak i spektrostrefowym, a nawet, choć nieco gorzej, na trójwarstwowym filmie kolorowym i dają się zauważyć na zdjęciach wykonanych w stosunkowo małych, jak na tego rodzaju badania, skalach rzędu 1 : 8 000–1 : 10 000. Jednak w tych badaniach należy zachować daleko posuniętą ostrożność, gdyż niekiedy inne czynniki (np. mniejsza gęstość zasiewu zezwalająca na refleksy gleby) powodują podobne efekty.

W Europie zagadnieniom rozpoznawania upraw na podstawie ich fotograficznego obrazu najwięcej uwagi poświęcili geografowie z uniwersytetu w Zurychu: Steiner [52, 53, 54, 55, 57] i Haefner [28] oraz z Uniwersytetu w Bonn: Schmidt-Kraepelin [45] i Schneider [46, 47]. Najbardziej wszechstronne są jednak badania Steinera, który prowadził je w wyżynnej części Szwajcarii. W swoich pracach zwrócił uwagę na wpływ środowiska geograficznego na fotograficzną jakość zdjęć lotniczych, co w dużym stopniu warunkuje możliwość poprawnej interpretacji upraw. Wskazał on również na zmienność przebiegu krzywych spektralnych poszczególnych upraw, uwarunkowaną przesuwaniem się faz fenologicznych w różnych latach. Stąd też Steiner proponuje ustalać okres fotografowania na drodze obserwacji polowej dla każdego roku oddzielnie. Sam wprawdzie ustala dla obszaru leżącego w pobliżu Zurichu jako najkorzystniejszy dla fotografowania upraw okres drugiej połowy maja, ale wyraźnie zaznacza, że w różnych latach okres ten może ulec przesunięciu o kilka, a nawet o kilkanaście dni, zależnie od warunków pogodowych panujących w danym roku. Stosunkowo mniejszą dokładność interpretacji upraw (w porównaniu z innymi pracami wykonanymi w krajach Zachodniej Europy) tłumaczy Steiner wielkim rozdrobnieniem gruntów na badanym obszarze oraz bardzo zróżnicowanym sposobem uprawy.

Z prac wykonanych w Zachodniej Europie należy ponadto wymienić badania Rupperta [42, 43] i Meienberga [34], które koncentrują się wokół zagadnień wpływu poszczególnych czynników fotograficznych na powstawanie obrazu upraw rolnych przy stosowaniu różnych materiałów światłoczułych. Meienberg dochodzi do wniosku, że na podstawie zdjęć lotniczych można zinterpretować 12 różnych upraw, przy czym największe usługi w tym zakresie oddaje film kolorowy, najmniejsze natomiast — film uczulony na promieniowanie podczerwone. Na badanym obszarze otrzymał bardzo wysoką dokładność fotointerpretacji, przy jednoczesnym stosowaniu trzech rodzajów filmów: panchromatycznego, podczerwonego i kolorowego. Dokładność jego fotointerpretacji wyraża się rozpoznaniem 98% pól, na których uprawiano jęczmień, 97% pól, na których uprawiano pszenicę i owies, oraz 90% pól, na których uprawiano żyto i koniczynę. Należy zaznaczyć, że stanowisko Meienberga co do przydatności różnych rodzajów filmów dla interpretacji upraw jest wyjątkowe, ponieważ inni badacze, m. in.: Anson [1], Billings [9], Schulte [48], zajmują stanowiska wręcz przeciwne twierdząc, że film kolorowy daje znacznie mniej informacji niż film panchromatyczny albo podczerwony, nie mówiąc już o filmie spektrostrefowym, którego Meienberg nie używał.

W Polsce badania struktury zasiewów w wybranych regionach były podjęte w 1957 r. przez Główny Urząd Statystyczny i Katedrę Statystyki Rolniczej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego przy współpracy Państwowego Przedsiębiorstwa Fotogrametrii. Nieprawidłowe założenia metodyczne z góry przekreśliły możliwość otrzymania poprawnych wyników.

Z powyższego przeglądu literatury wynika, że szczegółowe badania struktury zasiewów są prowadzone stosunkowo rzadko, przy czym często ograniczają się

tylko do rejestracji pewnych zjawisk, które dzięki swemu charakterystycznemu rysunkowi fotograficznemu nie przedstawiają większego problemu w procesie rozpoznania. W tego rodzaju badaniach stosuje się specjalne filmy, a często prace fotointerpretacyjne opiera się o kilka rodzajów filmów naświetlanych jednocześnie.

Brak sprecyzowanych metod badawczych odnoszących się do analizy upraw rolnych wynika z niedoskonałego jeszcze opracowania charakterystyki spektralnej poszczególnych roślin oraz z powodu ciągłej zmienności wyglądu upraw w okresie wegetacyjnym. Stąd też wynika wniosek, że jeszcze długo nie będzie można opracować doskonałej metody badawczej, a rozpoznanie upraw na podstawie ich fotograficznego obrazu dokonywać się będzie tylko z pewnym przybliżeniem, które zależy od warunków środowiska geograficznego, warunków ekonomicznych i kultury rolnej w danym regionie, od jakości obrazu fotograficznego oraz od czynnika bardzo ważnego — od stopnia doświadczenia badacza.

## ZAŁOŻENIA TEMATYCZNE I METODYCZNE

Niniejsze badania zostały skoncentrowane na problemie interpretacji struktury zasiewów na podstawie odpowiednio wykonanych zdjęć lotniczych. Do badań wybrano teren o powierzchni 424 hektarów, położony około 16 km na południe od Warszawy; jest to część gromady Nowa Wola, która wchodzi w skład powiatu piaseczyńskiego.

Gromada Nowa Wola leży w południowej części Kotliny Warszawskiej, na wysokim poziomie denudacyjnym lewego brzegu Wisły, wzniesionym około 20 m ponad poziom zwierciadła rzeki. Krajobraz gromady przedstawia wyrównaną powierzchnię o deniwelacjach nie przekraczających 5 m. Jest to więc rzeźba, która pozwala stosować na większą skalę mechaniczną uprawę roli i sprzęt zbóż przy użyciu dużych, wydajnych maszyn. Warunki glebowe są niemal jednolite na całej powierzchni gromady: dominują tu zdecydowanie gleby bielocopodobne.

Obszar gromady Nowa Wola przez swoje położenie w bezpośrednim sąsiedztwie miasta stołecznego Warszawy stanowi jej strefę podmiejską. Duże skupienie ludności w Warszawie powoduje, że zapotrzebowanie na płody rolne jest wyjątkowo duże. Dobre powiązania komunikacyjne i duża chłonność rynku zapewniają łatwy ich zbyt. Ta okoliczność znajduje odbicie w sposobie użytkowania ziemi i kierunku prowadzonej gospodarki rolnej.

W strukturze agrarnej gromady Nowa Wola występują dwa układy: gospodarka wielkoprzestrzenna — socjalistyczna i gospodarka drobna — chłopska.

Ze względów natury obiektywnej do niniejszych rozważań wybrano dwie wsie gromady Nowa Wola: Starą i Nową Iwiczną oraz jedno Państwowe Gospodarstwo Rolne — Lesznowola.

PGR Lesznowola zajmuje 95,5 ha, co stanowi 3,9% ogólnej powierzchni gromady, natomiast gospodarka chłopska w obu wsiach obejmuje 327,9 ha, co stanowi 13,4% ogólnej powierzchni gromady. Wielkość poszczególnych gospodarstw waha się od kilkuset metrów kwadratowych, w przypadku działek pracowniczych, do 8 ha, przy czym przeważają zdecydowanie gospodarstwa drobne o powierzchni 2--3 ha. Procentowy udział powierzchni zajmowanej przez poszczególne grupy wielkościowe gospodarstw przedstawia tab. I.

Ze strukturą gospodarstw łączy się ściśle zagadnienie rozdrobnienia gruntów. Na terenach badanego obszaru stwierdzamy duże rozdrobnienie gruntów. Przecięt-



Tabela I

Wieś	Procent ziemi zajmowanej przez gospodarstwa o wielkości w ha					
	0—2		2—5		5—10	
	ha	%	ha	%	ha	%
Nowa Iwiczna	50,87	31,04	75,72	46,21	37,27	22,74
Stara Iwiczna	75,11	45,63	67,35	40,92	22,12	13,44

nie jedno gospodarstwo posiada swoje grunty w 4—5 działkach, rzadziej zaś w 6—8 lub więcej. Są to układy pól blokowo-łanowe, związane z osadnictwem skupionym.

Warunki środowiska geograficznego oraz położenie badanego regionu w pobliżu dużego skupiska ludności miejskiej w poważnym stopniu wpłynęły na rodzaj użytków i zajęta przez nie powierzchnię. Strukturę użytkowania ziemi, według spisu rolnego z 1967 r., w poszczególnych wsiach dla gospodarki chłopskiej oraz w PGR dla gospodarki państwowej przedstawia tab. II.

Tabela II

Wieś	Grunty orne i grody %	Sady %	Łąki trwale %	Pastwiska naturalne %	Lasy %	Grunty inne (zabudowania, podwórza, drogi) %
Nowa Iwiczna	87,86	4,56	0,53	0,75	—	6,31
Stara Iwiczna	91,17	—	0,78	2,52	—	5,51
PGR Lesznówola	81,08	3,04	2,56	2,47	0,49	10,31

Z przeglądu tabeli wynika, że udział gruntów orných i ogrodów w ogólnej strukturze użytkowania ziemi jest zdecydowanie wysoki i wynosi ponad 80% w przypadku PGR i około 90% w przypadku gospodarki chłopskiej. Występujące na badanym obszarze sady nie mają większego znaczenia dla gospodarki tego regionu. Niewielki jest również odsetek łąk i pastwisk.

Wspomniany obszar przyjęto jako reprezentacyjny dla badań przestrzennej struktury zasiewów w mikroskali, w oparciu o zdjęcia lotnicze. Badania te zostały jednak poprzedzone pracami wstępnymi, których celem jest ustalenie niektórych parametrów właściwego wykonywania zdjęć lotniczych, przeznaczonych dla celów interpretacji zasiewów.

Badania upraw na podstawie zdjęć lotniczych prowadzi się, w większości przypadków, jedynie dla celów metodycznych — dla wykazania różnic w obrazach fotograficznych upraw wykonanych na różnych materiałach światłoczułych i ustalenia najkorzystniejszych warunków fotografowania. Odnoszą się one ponadto do niewielkich regionów o jak najbardziej zbliżonych warunkach środowiskowych, co uniemożliwia praktyczne wykorzystanie ich wyników na szerszą skalę. W dążeniu

do uzyskania jak najlepszego filmu, często sztucznie podkreślającego kontrast jasności poszczególnych zespołów roślinnych i wykorzystującego cały zakres widma widzialnego oraz część promieniowania podczerwonego, zapomina się o możliwościach wskazania przydatności do badań struktury upraw filmów już istniejących. Jest rzeczą absolutnie zrozumiałą, że filmy takie nie mogą zastąpić filmów specjalnych, gdyż nie są w stanie wystarczająco odwzorować i tak niewielkich różnic w wyglądzie i tonie poszczególnych upraw, a tym bardziej odpowiednio je skontrastować i uwypuklić. Z drugiej strony wiadomo, że uchodzące za najbardziej miarodajne, co do powierzchni i struktury zasiewów, spisy rolne również nie oddają pełnego, rzeczywistego stanu rzeczy, a tylko z pewnym przybliżeniem. Nie pozbawione jest więc racji zbadanie możliwości „zwykłego” panchromatycznego filmu lotniczego i porównanie zakresu informacji dostarczanych przez zdjęcie lotnicze z ilością informacji otrzymywanych przy spisie rolnym (tylko w zakresie powierzchni i struktury zasiewów).

W niniejszej pracy zastosowano więc zamiast drogich, trudno dostępnych i kłopotliwych w obróbce filmów specjalnych powszechnie używany film panchromatyczny i wskazano jego przydatność przy analizie struktury zasiewów, w przeciętnych warunkach środowiska, przy dość zróżnicowanym systemie gospodarowania.

Zastosowanie filmu panchromatycznego było podyktowane również szerszymi względami praktycznymi. W Polsce istnieje bowiem jedno przedsiębiorstwo zajmujące się wykonywaniem zdjęć lotniczych przeznaczonych głównie dla celów topograficznych. Do tych prac stosuje się wyłącznie wspomniany rodzaj filmu. Przedsiębiorstwo to jest wyspecjalizowane w jego użyciu i obróbce. Biorąc więc pod uwagę ewentualne wykorzystanie tej metody w praktyce, i to na szerszą skalę, jak również konieczność korzystania z usług wspomnianego przedsiębiorstwa należy się liczyć z zastosowaniem przez nie filmu panchromatycznego, przynajmniej w najbliższej przyszłości.

Badania zmienności właściwości spektralnych upraw w ciągu całego okresu fenologicznego są dokonywane przeważnie dwoma sposobami: albo przez bezpośredni pomiar jasności poszczególnych upraw (najczęściej z pokładu samolotu), albo też na podstawie badań i porównywań zdjęć lotniczych wykonanych w niewielkich odstępach czasu w ciągu całego okresu wegetacyjnego. Oba te sposoby, jakkolwiek poprawne z punktu widzenia metodycznego, są ogromnie kosztowne z uwagi na stałą konieczność eksploatacji samolotu.

Mając na celu praktyczne wykorzystanie tej nowej metody badawczej również i w innych regionach kraju, w niniejszej pracy zastosowano inny sposób określania najkorzystniejszej pory dla wykonywania zdjęć lotniczych przeznaczonych do badań struktury zasiewów, niż to do tej pory praktykowano. Badanie jasności upraw zostało przeprowadzone na drodze pośredniej, poprzez badanie stopnia zaczernienia negatywu zdjęcia, które to zaczernienie jest funkcją jasności obiektu i barwoczułości danej emulsji filmowej. Istotnym momentem jest zastąpienie zdjęć lotniczych zdjęciami pochyłymi, wykonywanymi z wież triangulacyjnych. Wyeliminowano w ten

sposób dotychczasową potrzebę korzystania z samolotu do wielokrotnych nalotów koniecznych dla ustalenia najkorzystniejszej pory fotografowania. Tym samym znacznie zmniejszono koszt badań wstępnych.

Zdjęcia fotograficzne wykonywane z wieży są wprawdzie obarczone pewnymi błędami (o których mowa w następnym rozdziale), lecz błędy te nie rzutują na wynik opracowania.

Trzecią wreszcie nowością tej pracy jest odniesienie badań do jednostek administracyjnych. Fakt ten stwarza możliwość porównania wyników otrzymanych na drodze analizy zdjęć lotniczych z wynikami tradycyjnych metod badawczych, jak również na stwierdzenie stopnia przydatności zdjęć lotniczych w szczegółowych badaniach użytkowania ziemi w mikroregionach. Wykorzystanie zdjęć lotniczych w tego rodzaju badaniach podnosi obiektywność i szczegółowość opracowania, wpływając również na ograniczenie pracy terenowej i zmniejszenie kosztów.

## WARUNKI FOTOGRAFOWANIA

W procesie interpretacji zdjęć lotniczych wykorzystywane są pewne cechy przedmiotu, charakterystyczne tylko dla niego, bądź też wspólne dla większej grupy przedmiotów. Do cech tych zwanych cechami rozpoznawczymi lub demaskującymi należą: wielkość przedmiotu, jego kształt, cień własny, cień rzucany, ton lub barwa (na zdjęciu kolorowym), struktura powierzchni sfotografowanych obiektów, rozmieszczenie topograficzne obiektów i wzajemne związki przestrzenne między nimi.

Wiele dziedzin fotointerpretacji skutecznie bazuje na tych cechach, wykorzystując je jako przesłanki do poprawnych wniosków. Przy badaniu użytków na zdjęciach lotniczych wymienione cechy oddają również duże usługi, ale przy indentyfikacji upraw na zdjęciach ich znaczenie jest niestety niewielkie. Wynika to z podobnego wyglądu (rzeczywistego) wszystkich zbóż, czy też innych upraw (okopowe, pastewne), który potęguje się jeszcze na zdjęciu lotniczym, przedstawiającym teren zawsze w pewnej skali. Niewielkie różnice rzeczywiste pomiędzy poszczególnymi uprawami na zdjęciu lotniczym zanikają prawie całkowicie.

Nie można jednak zupełnie negować wartości cech rozpoznawczych, gdyż niekiedy w pośredni sposób pozwalają one z dużym prawdopodobieństwem rozpoznać badane uprawy.

Kształt i wielkość przedmiotu mogą być wykorzystane przy indentyfikacji upraw tylko w przypadku wielkoskalowych zdjęć lotniczych. W niektórych przypadkach, jeżeli zdjęcia zostały wykonane w okresie żniw, na podstawie kształtu można rozpoznać różne rodzaje maszyn rolniczych służących do sprzętu poszczególnych upraw, a więc w pośredni sposób można wnioskować o ich rodzaju.

Tekstura obrazu fotograficznego jest wynikiem gromadzenia się jednostek zbyt małych, żeby mogły być one wyraźnie rozróżniane indywidualnie. Przy zmniejszającej się skali zdjęć tekstura obiektów staje się coraz delikatniejsza i ewentualnie zanika całkowicie. Nie oznacza to jednak, że zdjęcia małoskalowe w ogóle nie posiadają struktury, a tylko że wielkość obiektów wymaganych do rozpoznania struktury wzrasta — jeżeli skala zdjęcia maleje. Stąd też na zdjęciach lotniczych wykonanych w średnich podziałach struktura jest niewidoczna gołym okiem, można ją zauważyć dopiero przy dużym powiększeniu zdjęcia, i to tylko w przypadku odpowiedniej zdolności rozdzielczej materiału fotograficznego.

Podobnie jak wielkość i kształt, tak i cień własny oraz cień rzucany nie odgrywa większej roli przy indentyfikacji upraw. Rośliny fotografowane są bowiem zbyt niskie,

występują zbiorowo przesłaniając się wzajemnie, mogą również rzucać cień na nierówną powierzchnię (bruzdy roli), stwarzając tym samym nieodpowiednie warunki do jego analizy nawet na zdjęciach wykonanych w bardzo dużych skalach. Uprawy zbożowe charakteryzują się brakiem cienia, nie licząc wąskiego pasemka, które niekiedy występuje na skraju pola, ale i tak nie wykazuje charakterystycznych właściwości.

Ton na zdjęciu czarno-białym, jak i barwa na zdjęciu kolorowym wskazują na warunki glebowe (w przypadku braku pokrywy roślinnej), na stosunki wodne danego obszaru, na typy upraw i stadia ich wzrostu. Ton i barwa zmieniają się zgodnie z okresami fenologicznymi oraz zależnie od warunków fotografowania. Z uwagi więc na swoją złożoną genezę nie mogą być używane jako wiarygodna cecha rozpoznawcza, dopóki każdorazowo nie zostaną sprawdzone w terenie.

Sytuacja topograficzna bardzo często wpływa na lokalizację upraw, toteż przy pewnych typach upraw może ona być ważnym czynnikiem rozpoznawczym. Podobnie wykrycie na zdjęciu lotniczym związków pomiędzy poszczególnymi elementami występującymi na powierzchni fotografowanego terenu może być niekiedy cechą rozpoznawczą upraw.

Z powyższego, krótkiego przeglądu cech rozpoznawczych wynika, że w sytuacji wybitnie korzystnej można przy ich pomocy identyfikować pewne uprawy. Niestety takie sytuacje zdarzają się nader rzadko, a w przypadku przeciętnych zdjęć, wykonanych w skalach średnich, posługiwanie się wspomnianymi uprzednio cechami jest w zasadzie niemożliwe. Interpretacja struktury zasiewów wymaga więc stosowania specjalnych zdjęć, spełniających szczególne warunki odnośnie skali, rodzaju użytego filmu i doboru okresu fotografowania.

Skala zdjęć lotniczych wymagana do zadowalającego przedstawienia zjawisk rolniczych zależy od celu fotointerpretacji i od stosowanej metody. Dla niektórych rodzajów prac niezbędna jest duża skala zdjęć, lecz w wielu przypadkach wystarczy także skala mniejsza niż 1 : 10 000. W Stanach Zjednoczonych na przykład w badaniach rolniczego użytkowania ziemi najpowszechniej stosuje się skalę zdjęć 1 : 20 000. W Kanadzie natomiast 1 : 15840 [11]. Zdjęcia lotnicze wykonane w tej skali są wystarczająco dokładne dla badań nad strukturą głównych użytków ziemi, ale niedokładne dla identyfikacji upraw czy badań specjalnych. Wiele problemów z zakresu interpretacji użytków może być rozwiązane tylko przy zastosowaniu zdjęć wielkoskalowych. Wykonanie takich zdjęć dla większego obszaru jest bardzo kosztowne, dlatego też należy wykonać kilka zdjęć w skali większej, które na drodze korelacji pewnych zjawisk mogą ułatwić interpretację zdjęć małoskalowych. Należy zaznaczyć, że niekiedy można uzyskać zupełnie poprawne wyniki badań przy zastosowaniu zdjęć wielkoskalowych, ale otrzymanych z powiększenia negatywu wykonanego w znacznie mniejszej skali.

Tabela III podaje zestawienie podziałek zdjęć lotniczych wykonanych na materiale panchromatycznym z zastosowaniem filtra żółtego, używanych dla interpretacji użytków wg Bombergera [11].

Skala zdjęć	Obszar	Badacz	Przedmiot badań
1 : 800	USA	Colwell	Wykrywanie chorób zbóż, szacowanie stopnia choroby, identyfikacja upraw
1 : 2 000	USA	Colwell	Wykrywanie chorób zbóż, identyfikacja upraw
1 : 4 000	USA	Colwell	Wykrywanie chorób upraw, szacowanie stopnia choroby
1 : 5 000	W. Brytania	Bourne	Identyfikacja upraw
1 : 12 000	USA	Kohn	Szczegółowa analiza obszarów rolniczych
1 : 12 500	USA	Brunschweiler	Identyfikacja upraw
1 : 15 800	Kanada	Packman, Philpotts	Identyfikacja upraw
1 : 15 800	Kanada	Philpotts	Porównanie użytkowania ziemi w różnych obszarach
1 : 20 000	USA	Dill	Rolnicze użytkowanie ziemi, rozwój krajobrazu i wpływ miasta na rolnictwo
1 : 24 000	USA	Gibbs, Husch	Kierunki użytkowania ziemi
1 : 40 000	Trynidad	Beard	Użytkowanie ziemi w krajach tropikalnych
1 : 50 000	Ameryka Płd.	ITC*	Rolnicze użytkowanie ziemi
1 : 62 500	USA	Dill	Rozwój krajobrazu i wpływ miasta na rolnictwo

\* International Training Centre for Aerial Survey and Earth Sciences, Delft, Holandia.

K. H. Stone [58] sporządził zestawienie obiektów, które mogą być odczytane na zdjęciach lotniczych czarno-białych w zależności od skali. Przyjął on trzy przedziały skal:

1 : 70 000 — 1 : 30 000

1 : 30 000 — 1 : 10 000

1 : 10 000 i poniżej

Na zdjęciach lotniczych wykonanych w skalach mniejszych niż 1 : 30 000 doświadczony fotointerpretator może z łatwością wyróżnić wielkie jednostki użytkowania ziemi, a więc lasy, użytki zielone, pola orne, nieużytki itp., może także wyznaczyć granicę między obszarami rolnictwa o charakterze intensywnym i ekstensywnym.

W przypadku zdjęć wykonanych w skalach 1 : 30 000—1 : 10 000 doświadczony fotointerpretator powinien odróżnić takie kategorie użytkowania ziemi, jak sady, pola zbożowe, pola z uprawami okopowymi i pastewnymi, ponadto powinien odróżnić pastwiska, łąki, rodzaje zespołów leśnych itp.

Zdjęcia wykonane w skalach większych niż 1 : 10 000, szczególnie na obszarach o intensywnym charakterze gospodarki rolnej, nadają się do analizy struktury upraw. Jednak dla szacowania wielkości szkód żywiołowych wyrządzonych w rolnictwie,

wykrywania chorób zbóż czy dla szacowania wielkości zbiorów wymagana jest nie tylko bardzo duża skala zdjęć, ale ponadto musi być spełniony szereg warunków dotyczących okresu fotografowania i rodzaju filmu.

W fotografii lotniczej wykorzystuje się promieniowanie elektromagnetyczne obejmujące zakres od  $0,40-0,90 \mu$ , w szczególnych przypadkach rozszerza się go do  $1,35 \mu$ . Do chwili obecnej nie opracowano emulsji światłoczułej, która obejmowałaby cały wspomniany zakres promieniowania. Dlatego też w fotografii stosuje się kilka rodzajów emulsji, z których każda uczulona jest na określony zakres promieniowania. Użycie poszczególnych rodzajów emulsji wiąże się ściśle z charakterem fotografowanych przedmiotów.

Wszystkie przedmioty znajdujące się na powierzchni ziemi są oświetlone promieniami słonecznymi bezpośrednio, lub też światłem słonecznym rozproszonym w atmosferze. Przedmioty te, zależnie od swojego charakteru, pochłaniają częściowo padające na nie światło, pewną natomiast jego część odbijają od swojej powierzchni. Każdy więc przedmiot charakteryzuje się określoną zdolnością pochłaniania i odbijania promieni świetlnych. Charakterystyki te są różne dla różnych obiektów. Jedne z nich pochłaniają więcej światła, inne natomiast mają większą zdolność odbijania. Dla fotografii najistotniejsza jest zdolność odbijania promieni świetlnych przez obiekty, ponieważ odbite promienie trafiają do aparatu fotograficznego, naświetlają materiał światłoczuły i powodują powstanie obrazu fotograficznego. Zdolność odbicia promieni świetlnych przez obiekty wyraża się współczynnikiem  $\rho$ , który jest równy stosunkowi światła odbitego  $F$  do padającego  $F_0$ . Ponieważ każdy obiekt na powierzchni ziemi odbija światło słoneczne, można go wobec tego traktować jako źródło światła o właściwej mu jasności. Ocenę jasności obiektów wyraża się często przy pomocy współczynnika, przez który rozumie się stosunek jasności danej powierzchni do powierzchni wzorcowej, przy jednakowym stopniu oświetlenia powierzchni.

W. W. Szaronow [59] przeprowadził szereg eksperymentalnych badań zmierzających do ustalenia współczynników jasności niektórych obiektów terenu w widocznej części widma, tj. w zakresie  $0,45-0,75 \mu$ . Tabela IV zawiera zestawienie współczynników jasności dla kilku wybranych obiektów.

Z tych kilku przytoczonych w tab. IV przykładów wynika, że wiele różnorodnych obiektów terenu ma jednakowe współczynniki odbicia (np.: zboże zielone i las liściasty, zboże dojrzałe, las liściasty w jesieni i gleba gliniasta sucha). Taka sytuacja sprawia, że obraz fotograficzny obiektów o różnym charakterze może mieć ten sam fototon. Należy jeszcze dodać, że współczynniki jasności tego samego obiektu znacznie zmieniają się przy fotografowaniu go pod różnymi kątami. W rezultacie tego zjawiska ten sam obiekt przedstawiony na dwóch sąsiednich zdjęciach lotniczych może wystąpić w różnej tonacji. Zatem ton obrazu fotograficznego nie może być uznany za miarodajną cechę w procesie fotointerpretacji.

Z tabeli IV wynika również inny wniosek, mianowicie: na wielkość współczynnika jasności, a zatem i na ton obrazu fotograficznego wpływa także w istotny spo-

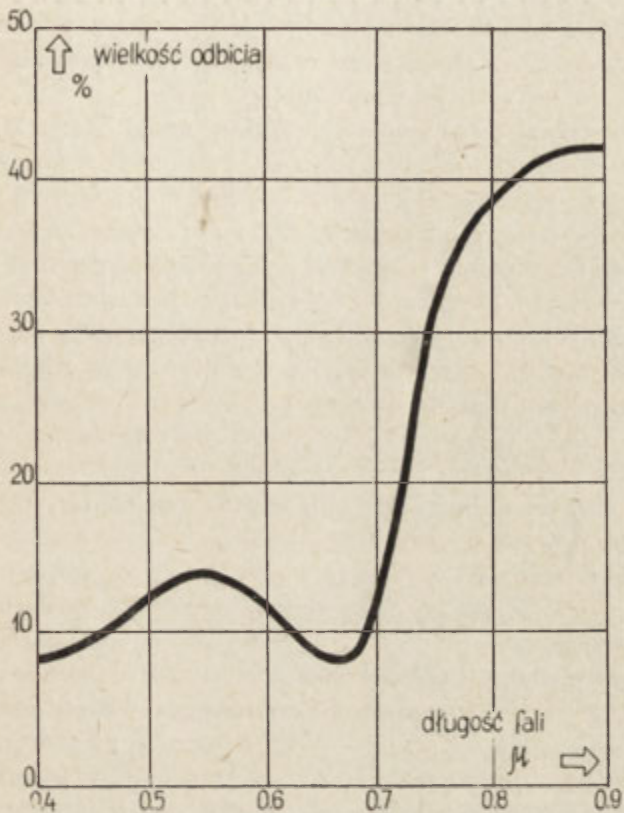
Tabela IV

Obiekt	Współczynnik jasności
Łąka zielona, soczysta	0,06
Łąka zielona, skoszona	0,06
Wypalona słońcem łąka sfotografowana pod kątem prostym	0,14
Wypalona słońcem łąka sfotografowana pod kątem ostrym	0,20
Zboże zielone	0,05
Zboże dojrzałe sfotografowane pod kątem prostym	0,15
Zboże dojrzałe sfotografowane pod kątem ostrym	0,34
Ściernisko	0,10
Las szpilkowy	0,04
Las liściasty w lecie	0,05
Las liściasty w jesieni	0,15
Las liściasty w zimie	0,07
Gleba piaszczysta, sucha	0,13
Gleba piaszczysta, mokra	0,06
Gleba gliniasta, sucha	0,15
Gleba gliniasta, mokra	0,06
Czarnoziem suchy	0,03
Czarnoziem mokry	0,02
Świeży śnieg	1,00

sób barwa obiektu. Obiekty oświetlone światłem słonecznym różnie reagują na barwy składowe tego światła. Jedne z nich pochłaniają lub odbijają wszystkie padające na nie promienie w jednakowym stopniu, inne natomiast odbijają bądź pochłaniają je selektywnie. Długość odbitej fali decyduje o zabarwieniu przedmiotu, stąd też obiektu odbijającego światło słoneczne nie można rozpatrywać jako źródła światła białego. Należy zatem do dalszych rozważań wprowadzić pojęcie jasności spektralnej, będącej stosunkiem ilości energii świetlnej odbitej z określoną długością fali do ilości energii świetlnej padającej na dany obiekt. Jasność spektralną wyraża się również przy pomocy współczynnika ( $r_2$ ), który równa się stosunkowi jasności spektralnej  $B$  do jasności powierzchni wzorcowej  $B_0$ .

Badania jasności spektralnej różnych gatunków roślin zawierających w swych zielonych częściach chlorofil pozwoliły na stwierdzenie w przebiegu krzywej odbicia spektralnego dwóch wartości minimalnych (ryc. 1), jedno w zakresie około  $0,5 \mu$  (3–7%) i drugie w zakresie  $0,67–0,68 \mu$  (5–7%) oraz jednego maksimum przypadającego w paśmie  $0,55 \mu$  (10–20%). Na granicy światła widzialnego i podczerwonego następuje gwałtowny wzrost odbicia, które osiąga wartość do 60% ogółu ilości energii świetlnej padającej na daną roślinę [5, 9, 25, 26, 41, 49, 59].





Ryc. 1. Krzywa odbicia zieleni w widzianej i podczerwonej części widma

Reflection curve of green leaf in the visible and infra-red part of spectrum

Przytoczone wyżej wartości odbicia mają charakter wartości średnich, ponieważ wielkość odbicia spektralnego zależy zarówno od fazy fenologicznej, w której znajduje się roślina, jak i od warunków ekologicznych. W zakresie widma widzialnego najsilniejsze odbicie promieni przez zielone części roślin przypada w paśmie 0,55—0,57  $\mu$ . Chcąc zatem wykonać zdjęcia roślinności zielonej, należy tak dobrać uczulenie filmu, aby jego maksimum przypadało właśnie na wspomniany zakres promieniowania, gdyż wówczas film ten jest w stanie uchwycić drobne różnice w odcieniach koloru zielonego. Najwłaściwszy byłby więc film ortochromatyczny, którego maksimum uczulenia przypada właśnie na promieniowanie o długości fali około 0,52  $\mu$ , jednak różnice jasności spektralnej pomiędzy poszczególnymi uprawami w chwili, gdy są one jeszcze zielone, nie osiągają swego maksimum, co powoduje bardzo zbliżony ich ton na zdjęciach. Ponieważ różnice te zwiększają się w miarę dojrzewania upraw, a więc wiążą się z utratą przez rośliny chlorofilu, stąd też do

badań upraw na zdjęciach bardziej odpowiedni jest film panchromatyczny, uczulony na szerszy zakres promieniowania widzialnego, którego maksimum uczulenia jest przesunięte w kierunku fal dłuższych.

W interpretacji szaty roślinnej coraz większe usługi oddaje film uczulony na promieniowanie niewidzialne—podczerwone. Fotografia podczerwona różni się od fotografii panchromatycznej kilkoma właściwościami, z których jedna ma szczególne znaczenie w interpretacji roślinności. Z ryc. 1 wynika, że niewielkiemu przyrostowi długości fali w paśmie ponad  $0,72 \mu$  odpowiada bardzo silne odbicie promieniowania przez zielone części roślin. Na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań [5, 9, 26, 41] można wnioskować, że różnice pomiędzy poszczególnymi gatunkami roślinności zielonej w widmie podczerwonym są znacznie wyraźniejsze niż w promieniowaniu widzialnym. Stwierdzono również, że w miarę ubytku chlorofilu z roślin maleją i różnice w wielkości odbicia promieniowania podczerwonego. Stąd też należy przypuszczać, że zboża sfotografowane w okresie dojrzałości na filmie podczerwonym nie będą się różniły między sobą bardziej niż na filmie panchromatycznym.

W badaniach rolniczego użytkowania ziemi stosuje się również film kolorowy, trójwarstwowy, przedstawiający fotografowane obiekty w barwach zbliżonych do naturalnych. Jednak do tej pory jest on raczej wykorzystywany sporadycznie z uwagi na wysoki koszt produkcji i obróbki laboratoryjnej, jak również ze względu na jego stosunkowo duże uczulenie na mgiełkę atmosferyczną. Według niektórych badaczy nie wnosi on do interpretacji użytków więcej szczegółów niż film panchromatyczny [1, 6], inni natomiast uważają, że jest on znacznie lepszy w badaniu użytkowania ziemi niż film panchromatyczny. Wobec niewielkiej jeszcze ilości prac na ten temat kwestia, który film jest lepszy, nie może być obecnie rozstrzygnięta. Należy tylko dodać, że film kolorowy, trójwarstwowy stosuje się bardzo często jako film uzupełniający obraz otrzymany na filmie panchromatycznym.

W fotografii lotniczej, głównie dla interpretacji roślinności, stosuje się często film spektrostrefowy. W filmie tym wykorzystano zależność między rodzajem przedmiotu a odbitym przez niego promieniowaniem. Stąd też jest on uczulony na niektóre tylko zakresy promieniowania elektromagnetycznego, charakterystyczne dla fotografowanego zespołu zjawisk. Do emulsji filmu spektrostrefowego, składającej się najczęściej z dwóch warstw, wprowadza się specjalne barwniki w zależności od przeznaczenia danego filmu. Barwy na zdjęciu spektrostrefowym nie są zgodne z barwami naturalnymi; mogą być niekiedy bardzo zbliżone do barw fotografowanych przedmiotów, najczęściej są jednak zupełnie odmienne. To zniekształcenie barw należy do zalet fotografii spektrostrefowej. Tym sposobem osiąga się bowiem znacznie lepszą czytelność i łatwość rozróżniania szczegółów odfotografowanych na zdjęciu lotniczym. Wykorzystanie promieniowania podczerwonego jak i sztuczne zwiększenie kontrastów między fotografowanymi obiektami czyni ten film szczególnie przydatnym dla celów interpretacji użytków rolnych. Anson [1] porównując liczbę informacji odnoszących się do użytkowania ziemi dostarczanych przez różne

rodzaje filmów, dochodzi do wniosku, że filmy panchromatyczny i kolorowy zawierają prawie tę samą liczbę informacji i pozwalają wyróżnić dwie klasy upraw, podczas gdy film spektrostrefowy (Ectachrome IR) zawiera prawie dwa razy większą liczbę informacji, pozwalając bez dodatkowych badań na wyróżnienie czterech rodzajów upraw. Należy podkreślić, że zastosowanie filmów spektrostrefowych tylko nieznacznie podnosi koszt opracowania w porównaniu z filmem panchromatycznym.

Każdy bromo-srebrowy materiał światłoczuły jest uczulony na pewną część promieniowania nadfioletowego oraz na najkrótsze promieniowanie widzialne, tj. fioletowe i niebieskie. Uczulenie to wynika z czułości własnej halogenków srebra. Nie można więc opracować filmu bromo-srebrowego pozbawionego tej czułości. Czułość własna emulsji bromo-srebrowej jest bardzo niekorzystnym zjawiskiem w fotografii lotniczej, ponieważ wpływa na zaczerńnienie obrazu, podnosząc ogólną gęstość optyczną negatywu, która w tym przypadku nie jest odzwierciedleniem samej tylko jasności spektralnej fotografowanego przedmiotu. Dlatego też, aby uwolnić się od tej wady, zdjęcia lotnicze wykonuje się z zasady przy zastosowaniu odpowiednich filtrów. W najpowszechniejszym użyciu jest filtr żółty o różnej gęstości. W niniejszych badaniach zastosowano również filtr żółty jasny, który wyeliminował, spośród promieni naświetlających emulsję światłoczułą, promieniowanie o fali krótszej niż  $0,5 \mu$ . Zastosowanie filtru żółtego pozwala na otrzymanie poprawnego pod względem fotograficznym zdjęcia. Filtr ten, eliminując promieniowanie krótkofalowe, nie pozwala na naświetlenie emulsji światłem niebieskim rozproszonym w atmosferze, co przy dość znacznej miąższości atmosfery zawartej między obiektywem kamery lotniczej a powierzchnią fotografowanego terenu ma istotne znaczenie.

Mimo wykazania większej przydatności dla celów identyfikacji emulsji specjalnych w pracy niniejszej zastosowano tylko film panchromatyczny. Zdecydowały o tym uprzednio wymienione względy. Do badań zmienności wyglądu upraw na zdjęciach i do pomiarów gęstości optycznej negatywów zastosowano film panchromatyczny NP-18 produkcji ORWO, zdjęcia lotnicze natomiast zostały wykonane na filmie panchromatycznym produkcji Gevaerta.

Jak już wspomniano poprzednio, szczególną rolę w procesie wykonywania zdjęć lotniczych przeznaczonych dla identyfikacji upraw odgrywa okres fotografowania. Jasność spektralna upraw, od której zależy stopień zaczerńnienia negatywu, nie jest wartością stałą. Zmienia się ona w sposób ciągły wraz ze zmianą okresu fenologicznego, czyli wraz z dojrzewaniem.

Zgodnie z ogólnymi zasadami fotointerpretacji na zdjęciu lotniczym możliwe jest wydzielenie dwóch obiektów, jeżeli ich tony różnią się nieco. Jest to szczególnie istotne w przypadku, gdy obiekty graniczą ze sobą. Jeżeli mimo różnego charakteru obiektów ich ton na zdjęciu jest podobny, to przeprowadzenie granicy między nimi będzie utrudnione albo wręcz niemożliwe. Wychodząc zatem z powyższego założenia należy tak dobrać okres fotografowania, aby jasność spektralna fotografowanych

obiektów różniła się jak najbardziej między sobą, czyli żeby ich ton na zdjęciu lotniczym był jak najbardziej zróżnicowany. W tym celu należy pomierzyć jasność spektralną poszczególnych upraw w ciągu całego okresu wegetacyjnego, a następnie określić moment maksymalnego zróżnicowania jasności. W niniejszej pracy dokonano określenia tego momentu metodą pośrednią, poprzez pomiar zaczernienia negatywów zdjęć fotograficznych wykonanych z wieży triangulacyjnej. Zdjęcia takie, jako zdjęcia pochylone, charakteryzują się pewnymi błędami, których wielkość została określona i wyniki pomiarów odpowiednio skorygowane.

Począwszy od połowy maja, w ciągu dwóch kolejnych sezonów wegetacyjnych (1966 i 1967 r.) z 18-metrowej wieży triangulacyjnej wykonano zdjęcia pochylone pół uprawnych w odstępach tygodniowych, z niewielkimi czasem odchyleniami od założonej częstotliwości obserwacji zależnymi od sytuacji meteorologicznej. Zdjęcia były wykonywane kamerą małoobrazkową z obiektywem Sonnar ( $f = 130$  i  $180$  mm) oraz kamerą Fleksaret Automat z obiektywem Meopta. Wszystkie zdjęcia zostały wykonane przy stałej wysokości słońca, która miała zapewnić stałość składu spektralnego światła słonecznego. Jako stałą przyjęto wysokość słońca równą  $56^{\circ}38'$ . Czas kolejnych obserwacji ulegał więc niewielkim zmianom. Pomiar wielkości gęstości optycznej negatywu, która jest odzwierciedleniem jasności spektralnej danej uprawy, jest na zdjęciu pochylonym obarczony dość poważnym błędem, który wynika z pochylecia osi optycznej kamery fotograficznej w stosunku do pionu. Dodatkowo, przy zastosowaniu obiektywów o znacznie gorszych parametrach niż obiektywy kamer lotniczych, został nałożony błąd spowodowany spadkiem jasności, w miarę oddalania się od głównego punktu zdjęcia. Nie mając możliwości pionowego pomiaru wielkości współczynnika jasności, ani też wykonania odpowiednich (pionowych) zdjęć, nie można było wyeliminować nawet częściowo błędu powstającego przy pochyleciu osi optycznej kamery w momencie ekspozycji. Ponieważ w wyniku obserwacji należało otrzymać nie samą wartość współczynnika odbicia poszczególnych upraw, ale względne zróżnicowanie pomiędzy różnymi uprawami, stąd też pomiar zaczernienia negatywu obarczony stałym błędem dla wszystkich obserwacji nie rzutował na wynik opracowania. Jasność spektralna badanych przedmiotów zależy od kąta obserwacji, stąd też wszystkie pomiary dokonano wzdłuż stałych linii obserwacji gwarantujących niezmiennosc kąta pomiaru. W niniejszej pracy kąt ten wyniósł  $4^{\circ}10'$ . Różnice odległości pomiędzy najbliższym a najdalszym punktem pomiaru wyniosły zaledwie  $12,0$  m i nie zostały uwzględnione w konstrukcji krzywych zaczernienia negatywu przez poszczególne uprawy, gdyż stwierdzono, że densytometry, przy pomocy których wykonywano pomiary, nie reagują na tak znikome zmiany gęstości optycznej negatywu.

Gęstość optyczna negatywów wszystkich zdjęć wykonanych w ciągu całego okresu wegetacyjnego została pomierzona na densytometrze typu FM-58 oraz sprawdzona przy pomocy densytometru typu Orion-EMG. Przy konstrukcji krzywych zaczernienia negatywu przez uprawy uwzględniono spadek oświetlenia ku brzegom obrazu i wynikające stąd zmniejszenie się gęstości optycznej w miarę posuwania się od

środku negatywu ku jego brzegom. Spadek oświetlenia podlega pewnym prawom i może być obliczony rachunkowo. Jeżeli odległość od obiektywu do dowolnego punktu na brzegu obrazu jest większa od odległości od tegoż obiektywu do środka pola obrazu o  $1/\cos \alpha$  razy (gdzie kąt  $\alpha$  jest kątem zawartym pomiędzy osią optyczną obiektywu i głównym promieniem przechodzącym przez ten punkt), to oświetlenie stworzone na warstwie światłoczułej przez obrazy optyczne fotografowanych przedmiotów będzie się zmieniać dla dowolnego punktu obrazu proporcjonalnie do  $\cos^2 \alpha$ . Promienie świetlne po przejściu przez obiektyw padają na brzegi obrazu pod pewnym kątem. Skutkiem tego oświetlenie warstwy światłoczułej na brzegach obrazu będzie się także zmieniać proporcjonalnie do cosinusa kąta padania promieni na oświetloną powierzchnię, to jest proporcjonalnie do  $\cos \alpha$ . Jaskrawość strumienia świetlnego, który przeszedł przez obiektyw, jest dla punktów położonych z boku od osi optycznej (to jest dla promieni ugiętych) niższa od jaskrawości prostego snopa światła także o  $\cos \alpha$  razy. Dlatego też oświetlenie fragmentów obrazu oddalonych od centrum pola, na skutek wpływu wymienionych czynników, jest o  $1/\cos^4 \alpha$  razy mniejsze od oświetlenia w centrum pola. Z faktem tym, jak wspomniano, wiąże się zmiana gęstości optycznej negatywu. Dla dowolnego punktu gęstość optyczną można określić na podstawie wzoru:

$$D_r = D_o + \log \cos^4 \left( \operatorname{arctg} \frac{f}{r} \right),$$

gdzie:  $D_r$  — gęstość negatywu w danym punkcie,

$D_o$  — gęstość negatywu w środku obrazu,

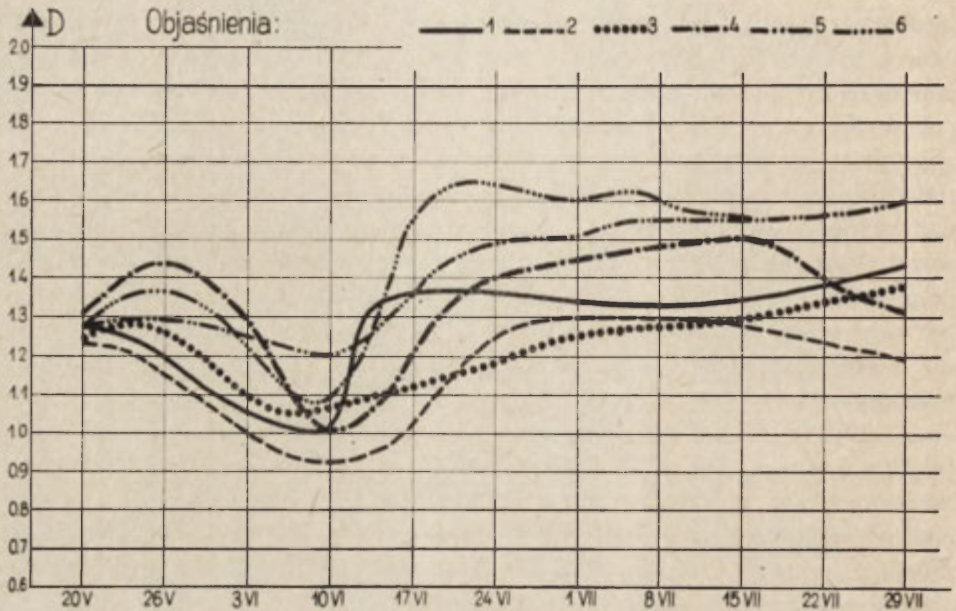
$r$  — odległość od środka obrazu do danego punktu,

$f$  — ogniskowa obiektywu.

Poprawki na zmianę gęstości optycznej negatywu w zależności od położenia badanego punktu wprowadzono tylko dla obiektywu Meopta. Spadek oświetlenia na brzegach obrazu przy niedużych kątach widzenia jest bardzo mały i praktycznie nie ma wpływu na fotograficzną jakość obrazu. I tak dla obiektywu Sonnar  $f$ -130 mm wynosi on 0,95 na brzegu obrazu, a dla obiektywu Sonnar  $f$ -180 mm zaledwie 0,98. Błąd ten jest więc znikomy i mieści się w granicach dokładności pomiaru na densytometrze. W celu zagwarantowania jak najmniejszego błędu pomiaru zaczerwienia negatywu wykorzystano do badań tylko środkowe pola negatywów.

Pomierzone wartości gęstości zaczerwienia negatywów przez poszczególne uprawy zaznaczono w układzie współrzędnych, w których na osi rzędnych odłożono logarytm gęstości optycznej, a na osi odciętych kolejne dni okresu wegetacyjnego (ryc. 2).

Analizując przebieg krzywych należy stwierdzić występowanie minimalnych różnic w zaczerwieniu negatywów przez różne uprawy w pierwszych fazach fenologicznych, kiedy to prawie wszystkie rośliny mają barwę zieloną w różnych odcieniach oraz maksymalne zróżnicowanie przypadające na przełom czerwca i lipca, a więc



Ryc. 2. Uśredniony przebieg krzywych gęstości optycznych negatywów zdjęć fotograficznych sześciu różnych upraw:

1 — kapusta, 2 — ziemniaki, 3 — buraki cukrowe, 4 — owies, 5 — pszenica, 6 — żyto

Mean course of density curves of optical negatives of six different crops photos:

1 — cabbage, 2 — potatoes, 3 — sugar-beets, 4 — oats, 5 — wheat, 6 — rye

na trzy ostatnie tygodnie poprzedzające żniwa w tym regionie. W różnych latach, zależnie od konkretnych warunków klimatycznych panujących wówczas w danym regionie, okres ten może przypaść wcześniej, bądź też może się nieco opóźnić. Stąd też nie można operować datami kalendarzowymi przy określaniu najkorzystniejszego okresu fotografowania lotniczego z przeznaczeniem wykonanych zdjęć dla identyfikacji upraw, ale należy go wyznaczać przy pomocy faz fenologicznych. Dla regionu podwarszawskiego ten najkorzystniejszy okres przypada na ostatnią fazę fenologiczną poprzedzającą żniwa — na dojrzewanie.

## KARTOMETRYCZNE WŁAŚCIWOŚCI ZDJĘĆ LOTNICZYCH

Szczegółowe badania użytkowania ziemi w gromadzie Lesznowola zostały skoncentrowane wokół dwóch zasadniczych zagadnień: interpretacji struktury zasiewów oraz pomiaru wielkości powierzchni zajętej przez dany typ uprawy. W obu przypadkach wykorzystano aktualne zdjęcie lotnicze wykonane na materiale panchromatycznym w skali 1 : 5 000, a jako materiał porównawczy wykorzystano wyniki pomiarów geodezyjnych i czerwcowego spisu rolnego.

Jest faktem powszechnie znanym, że zdjęcia lotnicze stykowe nie mają dokładnie sprecyzowanej skali, którą podaje się tylko w przybliżeniu. Zdjęcia przeznaczone do badań struktury zasiewów nie mogą być przetworzone na fotoplany w żądanej skali, gdyż w procesie reprodukcji traci się zbyt wiele informacji, których dostarcza fototon. Stąd też muszą to być tylko odbitki stykowe, a te, jak już zaznaczono, posiadają różną skalę. W pierwszym etapie niniejszego opracowania określono więc wielkość błędu pomiaru poszczególnych powierzchni na stykowych zdjęciach lotniczych przez porównanie wyników pomiarów wielkości pól ornych na zdjęciu z wynikami otrzymanymi w toku prac geodezyjnych (w przypadku PGR Lesznowola), bądź też przez porównanie wyników pomiarów powierzchni parceli własnościowych na zdjęciu z wynikami pomiarów geodezyjnych. Wyniki pomiarów przedstawia tab. V.

Tabela V

Wieś	Powierzchnia geodez. w m <sup>2</sup>	Powierzchnia obl. ze zdjęć lotniczych w m <sup>2</sup>	Różnica w m <sup>2</sup>	Różnica w %
Nowa Iwiczna	1 638 675	1 637 420	1 250	0,1
Stara Iwiczna	1 645 875	1 627 250	8 625	0,5
PGR Lesznowola	955 000	961 100	6 100	0,6

W wyniku pomiarów wielkości parceli własnościowych na zdjęciach lotniczych i w terenie otrzymano średni błąd wynoszący około 0,3%. Pomiar powierzchni na zdjęciach w wielu przypadkach równa się pomiarowi geodezyjnemu, w niektórych natomiast występują dość duże rozbieżności dochodzące nawet do 100% (jeżeli działki są bardzo małe). Na ten fakt wpływa kilka czynników, spośród których jako najważniejszy należy wymienić trudność wyznaczania granicy w przypadku, gdy

przebiega ona w terenie trudno czytelnym (skraj lasu, wysokie drzewa gęsto rosnące wzdłuż dróg), lub też gdy pojęcie parceli własnościowej jest ściśle umowne i nie odzwierciedla się wyraźnie w terenie (np. przebieg granicy przez pastwiska, nieużytki itp.) oraz w przypadkach niewielkich powierzchni mierzonych na zdjęciu lotniczym, który to błąd wynika z pracy na granicy dokładności pomiaru instrumentów. W opracowaniu całościowym wsi czy gromady błąd ten poważnie redukuje się i powierzchnia badanej jednostki administracyjnej obliczona ze zdjęć lotniczych nie odbiega wiele od powierzchni geodezyjnej.

Wyjątkowo wysoką dokładność pomiaru powierzchni należy przypisać temu, że na badanym terenie nie występowały prawie żadne różnice wysokości względnej, a dzięki doskonałemu nalotowi zdjęcia były prawie pionowe. Stąd też nie było konieczności uwzględniania w opracowaniu wpływu rzeźby i nachylenia osi optycznej kamery fotograficznej na zniekształcenia powierzchni na zdjęciach lotniczych, co wydatnie podniosło dokładność opracowania. Z tymi dwoma błędami należy się jednak poważnie liczyć w przypadku opracowywania zdjęć lotniczych z terenów o urozmaiconej rzeźbie. Biorąc pod uwagę otrzymane wyniki pomiarów wielkości powierzchni na zdjęciu lotniczym i porównując je z wynikami pomiarów terenowych należy stwierdzić, że pionowe zdjęcia lotnicze wykonane w skali 1 : 5 000 na terenach równinnych z powodzeniem zastępują o wiele bardziej pracochłonne pomiary terenowe i w zupełności nadają się do badań powierzchni użytków rolnych.



## MIKROFOTOMETRYCZNA METODA INTERPRETACJI ZDJĘĆ LOTNICZYCH KONSTRUKCJA KLUCZA FOTOINTERPRETACYJNEGO

Technika identyfikacji upraw na podstawie zdjęć lotniczych znajduje się dopiero w stadium rozwoju i mimo że pozwala ona na znaczne zaoszczędzenie zarówno czasu jak i nakładów finansowych, nie jest jeszcze szeroko stosowana, głównie z powodu specjalnych zdjęć, których wymaga. Ponadto konieczne jest duże doświadczenie fotointerpretatora w zakresie rejestracji obrazu, jak również znajomość typu rolnictwa, charakterystyki wzrostu roślin i lokalnych praktyk rolniczych.

Jak już zaznaczono, uprawy w końcowym stadium dojrzewania mają najbardziej charakterystyczny wygląd i często mogą być poprawnie identyfikowane, zwłaszcza w przypadku zdjęć wielkoskalowych, na podstawie pośrednich cech rozpoznawczych. W czasie żniw, jak również w pierwszym okresie po żniwach pewne pozostałości po pracach żniwnych są bardziej użyteczne dla interpretacji upraw niż sama ich charakterystyka tonalna czy strukturalna. Różnego typu żniwiarki, sposoby ich pracy, pozostawione ślady oraz forma ściętego zboża (snopki, kopki, stogi) pozwalają odróżnić wiele rodzajów upraw, albo nawet poszczególnych upraw. Jednak specjalną ostrożność należy zachować na tych obszarach, na których różne narzędzia i różne techniki sprzętu używane są dla wszystkich upraw. W niniejszym opracowaniu nie wzięto pod uwagę tych cech, jako że nie są one typowe dla badanego obszaru, lecz oparto się wyłącznie na wynikach otrzymanych przy pomocy mikrofotometru samorejestrującego.

Mikrofotometryczna metoda interpretacji zdjęć wykorzystuje zależność między spektralną jasnością obiektu a gęstością optyczną jego obrazu fotograficznego. Mikrofotometriowanie zdjęcia lotniczego umożliwia zmierzenie gęstości optycznych małych wycinków, które składają się na obraz jakiegoś obiektu. W rzeczywistości powierzchnia każdego fotografowanego obiektu składa się z sumy powierzchni elementarnych o różnej jasności. Dlatego obraz fotograficzny poszczególnych pól ornych nie będzie miał jednakowej gęstości na całej powierzchni, ale będzie się składał z kombinacji wycinków o różnej gęstości optycznej, o rozmiarach często bardzo małych. Połączenie wycinków o różnych tonach i system ich wzajemnego rozmieszczenia w obrębie obiektu tworzą na zdjęciu lotniczym charakterystyczną

strukturę obrazu fotograficznego właściwą tylko danemu obiektowi. Przy odczytywaniu mikrofotometrycznym zostaje pomierzonych w istocie nie jedna, ale kilka gęstości optycznych obrazu fotograficznego jakiegoś obiektu, stanowiących określony zespół. Przechodzi się w ten sposób od nieprecyzyjnie określonej cechy rozpoznawczej, jaką jest foton, do bardziej określonej struktury, którą praktycznie można uznać za niepowtarzalną i związaną wyłącznie z określonym obiektem.

W prezentowanym opracowaniu zastosowano mikrofotometr samorejestrujący typu MF-4. W tym przyrządzie wykorzystano zjawisko osłabienia promieni świetlnych o stałym natężeniu przy przejściu przez negatyw zdjęcia lotniczego. Promienie świetlne po przejściu przez negatyw padają na fotokomórkę, gdzie wzbudzają prąd, który po wzmocnieniu przechodzi do galwanometru. Zależnie od natężenia prądu, które z kolei zależy od gęstości optycznej negatywu, wskazówka galwanometru z przymocowanym do niej piórkiem wychyla się od położenia zerowego. Amplituda wychyleń jest tym większa, im większe są różnice w natężeniu prądu. Wychylenia wskazówki są rysowane za pomocą piórka na odpowiedniej taśmie papierowej. W czasie mikrofotometrowania przesuwa się negatyw zdjęcia lotniczego, dzięki czemu strumień świetlny przechodzi przez dowolny jego odcinek. Kasetę, w której umieszczony jest negatyw, porusza się wzdłuż podłużnej osi przyrządu, piórko natomiast wykonuje ruchy poprzeczne. W wyniku nałożenia się tych dwóch kierunków zostaje wyrysowana krzywa charakteryzująca różnice gęstości optycznej występujące wzdłuż linii odczytu. Rezultatem mikrofotometrowania są mikrofotogramy, różne dla różnych upraw. Zanim jednak przystąpi się do odczytywania tą metodą poszczególnych upraw ze zdjęć lotniczych, należy wykonać tzw. klucz fotointerpretacyjny. W tym celu wybiera się jedno zdjęcie spośród wszystkich zdjęć przeznaczonych do analizy mikrofotometrycznej i wykonuje się mikrofotogramy każdego pola, a następnie uczytelnia się otrzymane wyniki bezpośrednio w terenie. A zatem każda krzywa zostaje przypisana odpowiedniej uprawie. W ten sposób powstaje wspomniany klucz, który pozwala interpretować kolejne mikrofotogramy już metodą kameralną, bez potrzeby sprawdzania ich w terenie. Oczywiście nie wszystkie mikrofotogramy dadzą się zinterpretować kameralnie i fakt ten ogranicza nieco skuteczność stosowania wymienionej metody w badaniach struktury zasiewów w regionach charakteryzujących się znacznym rozdrobnieniem pól albo występowaniem upraw mieszanych.

Należy podkreślić, że tak skonstruowany klucz fotointerpretacyjny można stosować tylko do tego samego zespołu zdjęć lotniczych. W przypadku innych zdjęć, wykonanych w innych warunkach pogodowych i wywołanych w innych zestawach chemicznych środków wywołujących, klucz taki może okazać się niewłaściwy.

Mikrofotogram charakteryzuje się długością fali, jej amplitudą oraz koncentracją fal. Długość fali jest odzwierciedleniem zmiany struktury obrazu fotograficznego danego obiektu. Fale główne mogą być zaburzone falami drugiego i trzeciego stopnia, z których pierwsze powstają w wyniku istnienia w terenie przedmiotów nie stanowiących istotnych cech sfotografowanego obiektu, natomiast drugie odzwier-

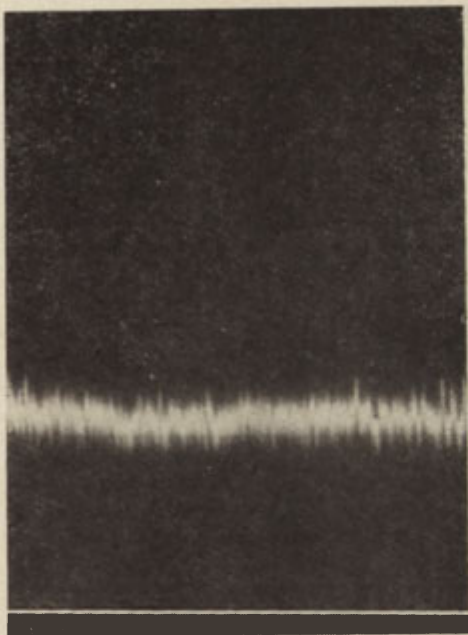
ciędląją ziarnistą strukturę materiału fotograficznego. W przypadku analizy obrazów fotograficznych upraw fale drugiego stopnia podkreślają strukturę pola, dlatego włącza się je do analizy.

Amplituda fali w umowny sposób charakteryzuje różnice jasności elementów powierzchni badanego obiektu. Na jej wielkość wpływa średnia gęstość badanego negatywu. Im bardziej jednorodny pod względem jasności jest badany obiekt, tym mniejszą amplitudą fali charakteryzuje się jego mikrofotogram.

Koncentracja fal wyraża się ich liczbą przypadającą na jednostkę długości mikrofotogramu. Plamiste i gruboziarniste rysunki obrazu fotograficznego dają mikrofotogramy o mniejszej koncentracji fal niż obrazy o strukturze drobnoziarnistej.

Wymienione elementy mikrofotogramu razem wzięte nadają mu własne cechy indywidualne. Wychodząc z założenia, że struktura każdego obrazu fotograficznego, właściwego danemu obiektowi, jest niepowtarzalna i różni się od innych struktur, można przyjąć, że nie mogą istnieć zupełnie jednakowe mikrofotogramy i każdemu obiektowi będzie odpowiadać własny, jemu tylko właściwy przebieg mikrofotogramu.

W niniejszym opracowaniu do sporządzania klucza interpretacyjnego posłużył jeden fotogram obejmujący fragment terenu przylegający bezpośrednio do badanego obszaru. Zdjęcie to wykonane było podczas tego samego nalotu co zdjęcia pozostałe, obejmujące tereny wsi Starej i Nowej Iwicznej oraz PGR Lesznówola. Analizę mikrofotometryczną przeprowadzono w ten sposób, że profile przecinały badane pola pod kątem prostym do przebiegu bruzd. Miało to na celu osiągnięcie maksymalnej liczby informacji odnośnie do struktury pola uprawowego. W rezultacie otrzymano krzywe mikrofotometryczne, których średnia wysokość nad osią rzędnych wyznaczała gęstość optyczną obrazu fotograficznego określonej uprawy, natomiast długość fali, jej amplituda i koncentracja charakteryzowała strukturę powierzchni badanego pola. Przez uczytelnienie w terenie krzywych wzorcowych otrzymano klucz fotointerpretacyjny. W opracowaniu nie uwzględniono mikrofotogramów pól warzywnych, głównie ze względu na wielką różnorodność ich przebiegu. Należy jeszcze zaznaczyć, że mikrofotogramy zostały pięciokrotnie powiększone w stosunku do skali negatywu, co miało na celu ułatwienie śledzenia przebiegu fali. Przykładowe mikrofotogramy wzorcowe ilustrują ryc. 3, 4, 5, 6.



Ryc. 3. Mikrofotogram pszenicy  
Microphotogram of wheat

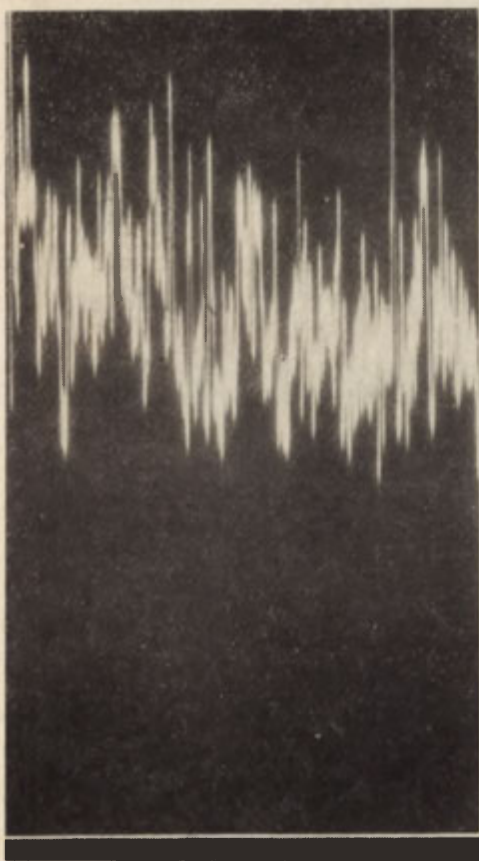


Ryc. 4. Mikrofotogram owsa  
Microphotogram of oat

Ryc. 6. Mikrofotogram koniczyny  
Microphotogram of clover



Ryc. 5. Mikrofotogram buraków cukrowych  
Microphotogram of sugar-beets



## WIARYGODNOŚĆ I DOKŁADNOŚĆ MIKROFOTOMETRYCZNEJ ANALIZY ZDJĘĆ LOTNICZYCH

Po skonstruowaniu wzorca interpretacyjnego przystąpiono do mikrofotometriowania negatywów zdjęć lotniczych obejmujących tereny PGR Lesznowola oraz Starej i Nowej Iwicznej. Otrzymano w rezultacie 471 mikrofotogramów poszczególnych pól uprawnych. Krzywe te zostały porównane z krzywymi wzorcowymi i w przypadku podobieństwa — pole uprawne, którego dotyczyła dana krzywa, zostało uznane za rozpoznane. W przeciwnym przypadku uznawano uprawę na danym polu za nie rozpoznaną. Wyniki interpretacji zostały następnie sprawdzone dwukrotnie: raz z wynikami kartowania terenowego przeprowadzonego dla wymienionych wsi i po raz drugi przez porównanie z danymi czerwcowego spisu rolnego. Stopień rozpoznania upraw na poszczególnych polach przedstawiają poniższe tabele.

Powierzchnia pól z rozpoznanymi uprawami została z kolei pomierzona na zdjęciach, a sumę powierzchni z danym rodzajem uprawy porównano z wynikami czerwcowego spisu rolnego. W rezultacie otrzymano stopień rozpoznania danego typu uprawy.

Z zaprezentowanych tabel wynika, że stopień rozpoznania jest różny dla różnych upraw i waha się w szerokim zakresie: od 100% w przypadku identyfikacji koniczyzny aż do zaledwie 54,65% w przypadku identyfikacji ziemniaków. Na ten stan rzeczy wpływają dwa zasadnicze czynniki: stopień rozdrobnienia działek uprawnych oraz faza fenologiczna, w której dane uprawy się znajdują.

Tabela VI

PGR Lesznowola

Uprawa	Liczba pól z daną uprawą	Liczba pól z rozpoznaną uprawą	Liczba pól z nie rozpoznaną uprawą	Procent pól nie rozpoznanych
Żyto	6	6	0	0,0
Owies	3	3	0	0,0
Jęczmień	1	1	0	0,0
Buraki cukrowe	1	1	0	0,0
Ziemniaki	4	3	1	25,0
Koniczyna	1	1	0	0,0
Łubin	2	0	2	100,0
	18	15	3	16,6

Uprawa	Powierzchnia zajęta przez tę uprawę wg spisu rolnego w ha	Powierzchnia zajęta przez tę uprawę obl. ze zdjęć lotniczych w ha	Stopień rozpoznania w %
Żyto	23,37	21,72	92,93
Owies	13,07	13,04	99,74
Jęczmień	1,95	1,97	101,10
Buraki cukrowe	1,50	1,50	100,00
Ziemniaki	12,42	9,60	78,18
Koniczyna	1,90	1,97	103,68
Łubin	7,37	—	0,00
	54,21 (bez łubinu)	49,80	91,87

Uprawa	Liczba pól z daną uprawą	Liczba pól z rozpoznaną uprawą	Liczba pól z nie rozpoznaną uprawą	Procent pól nie rozpoznanych
Żyto	49	44	5	10,21
Pszenica	19	14	5	26,32
Owies	21	17	4	19,05
Jęczmień	7	4	3	42,86
Buraki cukrowe	31	25	6	19,35
Ziemniaki	77	57	20	25,98
Wyka	5	3	2	40,00
Koniczyna	7	7	0	0,00
Kapusta	34	23	11	32,35
	250	194	56	22,40

Uprawa	Powierzchnia zajęta przez tę uprawę wg spisu rolnego w ha	Powierzchnia zajęta przez tę uprawę obl. ze zdjęć lotniczych w ha	Stopień rozpoznania w %
Żyto	29,23	27,02	92,78
Pszenica	13,12	11,72	89,33
Owies	8,80	7,34	84,54
Jęczmień	1,60	1,12	70,06
Buraki cukrowe	6,80	5,88	87,95
Ziemniaki	34,20	21,38	62,80
Wyka	0,60	0,42	70,00
Koniczyna	3,70	3,70	100,00
Kapusta	—	7,18	—
	98,05	78,58 (bez kapusty)	80,14

## Stara Iwiczna

Uprawa	Liczba pól z daną uprawą	Liczba pól z rozpoznaną uprawą	Liczba pól z nie rozpoznaną uprawą	Procent pól nie rozpoznanych
Żyto	32	28	4	12,50
Pszenica	23	16	7	30,44
Owies	14	12	2	14,29
Jęczmień	3	1	2	66,66
Buraki cukrowe	29	24	5	17,24
Ziemniaki	49	33	16	32,35
Wyka	3	0	3	100,00
Koniczyna	11	11	0	0,00
Kapusta	24	19	5	20,83
	188	144	44	23,50

Tabela XI

## Stara Iwiczna

Uprawa	Powierzchnia zajęta przez tę uprawę wg spisu rolnego w ha	Powierzchnia zajęta przez tę uprawę obl. ze zdjęć lotniczych w ha	Stopień rozpoznania w %
Żyto	22,15	19,03	85,91
Pszenica	16,12	13,09	81,20
Owies	7,30	6,60	90,42
Jęczmień	1,70	1,20	70,58
Buraki cukrowe	10,90	8,76	80,37
Ziemniaki	31,18	17,04	54,65
Wyka	0,71	—	—
Koniczyna	8,48	8,40	99,18
Kapusta	—	8,73	—
	98,54	74,45 (bez kapusty)	75,54

Wpływ wielkości pól uprawnych na stopień dokładności fotointerpretacji wyraźnie wynika z porównania tabel dotyczących PGR-u Lesznówola z tabelami odnoszącymi się do wsi Stara i Nowa Iwiczna. Mikrofotogram jest dobrze czytelny, kiedy jego wielkość liniowa wynosi przynajmniej 5 cm. Ponieważ mikrofotogramy były wykonane w pięciokrotnym przewiększeniu w stosunku do skali negatywów zdjęć lotniczych, przy założeniu pięciocentymetrowej długości mikrofotogramu, dane pole uprawne musi mieć wymiar 1 cm w skali zdjęcia 1 : 5 000, czyli 50 m w terenie. Pola tej wielkości w badanym obszarze zdarzały się bardzo rzadko, oczywiście nie uwzględniając pól PGR-u. Drobną mozaiką pól uprawnych na badanym obszarze wpłynęła zdecydowanie na niski stopień dokładności opracowania.

Jak już wspomniano, na obniżenie stopnia dokładności opracowania wpłynęła również niejednakowa faza fenologiczna upraw tego samego gatunku. Jest to szcze-



gólnie wyraźnie widoczne w przypadku pól ziemniaczanych. Na badanym obszarze wystąpiły różne odmiany ziemniaków, od gatunków bardzo wczesnych aż do późnojesiennych. Stąd też w okresie wykonywania zdjęć lotniczych (10 lipca) obraz pól ziemniaczanych był bardzo urozmaicony; od nagiej ziemi pozostałej po wykopaniu wczesnych gatunków, poprzez na wpół uschnięte części ziemniaków właśnie wykopywanych aż do zwartej, zielonej kobierca ziemniaków późnojesiennych. Ta mozaika fototonów i struktur wpłynęła negatywnie na proces fotointerpretacji mikrofotometrycznej, znacznie zmniejszając dokładność.

Nieco większą dokładność uzyskano przy interpretacji jęczmienia. Jęczmień, podobnie jak owies, na panchromatycznych zdjęciach lotniczych jest znacznie ciemniejszy niż żyto i pszenica. Stąd też, wydawałoby się, wydzielenie obu tych upraw nie powinno sprawiać większych trudności. Jednak niewielkie powierzchniowo pola z tymi uprawami nie pozwoliły na uzyskanie wystarczających dla interpretacji mikrofotogramów. Bardzo często jęczmień utożsamiano z pszenicą jarą, która na zdjęciu ma ton bardzo zbliżony do fototonu jęczmienia, znacznie ciemniejszy od fototonu pszenicy ozimej. Pola z owsem są w zasadzie dobrze czytelne, gdyż owies jest zbożem o najciemniejszym fototonie. Należy podkreślić, że na zdjęciach lotniczych bardzo wyraźnie widać partie zbóż powalonych przez deszcze lub wiatry; szczególnie jest to widoczne na polach owsa, gdyż wówczas tworzy się kędzierzawa struktura, ostro kontrastująca z jednolitą strukturą zboża niepowalonego. Profilowanie mikrofotometryczne przez te właśnie miejsca powoduje zaburzenia przebiegu krzywej, co sprawia, że jest ona prawie nieczytelna.

Na panchromatycznym zdjęciu lotniczym żyto odfotografowuje się w tonie zupełnie jasnym, jednak mikrofotogramy pól żytnich wykazały pewne zróżnicowanie w przebiegu fal. Ten fakt należy tłumaczyć niejednakową gęstością zasiewu powodującą występowanie plamistej struktury obrazu fotograficznego uprawy. Nie bez wpływu pozostaje również nierównomierny wzrost żyta w poszczególnych częściach pola wynikający z różnic glebowych i nawożenia. Wiele mikrofotogramów pól żytnich nie zdołano odczytać z uwagi na ich niewielkie powierzchnie.

Pszenica na zdjęciu panchromatycznym ma ton nieco ciemniejszy niż fototon żyta. Stosunkowo niewielki procent rozpoznania pól pszenicznych wynika z występowania na badanym obszarze różnych odmian pszenicy, charakteryzujących się różnym zabarwieniem. Te same uwagi co do żyta odnoszą się i do pszenicy.

Buraki cukrowe na zdjęciach lotniczych strukturą swego obrazu przypominają strukturę pól ziemniaczanych. Ich fototon jest jednak nieco jaśniejszy niż fototon ziemniaków późnojesiennych. Pól buraczanych rozpoznano również niewiele (około 80%), głównie z powodu bardzo wąskich działek uprawnych.

Kapusta stanowi dość pokaźny procent upraw w badanym regionie, który z racji położenia w pobliżu Warszawy nastawiony jest na produkcję warzyw. Na zdjęciach lotniczych w skali 1 : 5 000 pola z kapustą można rozpoznać gołym okiem, bez potrzeby uciekania się do badań mikrofotometrycznych, dzięki charakterystycznej rzędowej strukturze obrazu, co bardzo dobrze jest widoczne również na mikrofoto-

gramie. Obrazy pól kapusty na negatywach zdjęć lotniczych wykazywały różną gęstość optyczną, uwarunkowaną odmianą uprawianej rośliny.

Zbyt mała liczba niewielkich pól z wyką na badanym obszarze nie pozwoliła zbadać skuteczności metody mikrofotometrycznej przy odczytywaniu tej uprawy. Mikrofotogram wyki jest zbliżony w swym przebiegu do mikrofotogramu koniczyny, z tym jednak, że posiada mniejszą gęstość optyczną.

Łubin w badanym regionie wystąpił dwukrotnie i nie został rozpoznany z powodu braku wzorca.

Najdoskonalsza okazała się metoda mikrofotometryczna w badaniach koniczyny. Wszystkie pola koniczyny, niekiedy nawet niewielkich rozmiarów, zostały bezbłędnie rozpoznane. Trzeba jednak podkreślić, że dzięki bardzo ciemnemu fototonowi koniczynę można rozpoznać bezpośrednio na zdjęciach również ze 100% prawie dokładnością.

Inne zagadnienie stanowi problem rozpoznawania na zdjęciach lotniczych łąk i pastwisk. Na zdjęciach panchromatycznych można z dość dużym prawdopodobieństwem odczytać je bez używania mikrofotometru. Łąki charakteryzują się powierzchnią amorficzną, co przy niewielkim natężeniu strumienia świetlnego w mikrofotometrze daje łagodny mikrofotogram o niewielkiej amplitudzie fali. Gęstość optyczna negatywu łąk jest zależna od gatunku trawy i od stopnia nawilgocenia gleby.

Pastwiska odznaczają się jaśniejszym fototonem niż łąki, a dzięki charakterystycznej strukturze obrazu, jak również położeniu topograficznemu są dobrze rozpoznawalne gołym okiem na zdjęciach lotniczych wielkoskalowych. Mikrofotogramy pastwisk są różne w zależności od przebiegu linii profilowania. Na zmienność ich przebiegu wpływa szereg czynników, spośród których wymienić należy ton trawy wyjeżdzonej przez bydło i trawy odrastającej, występowanie wydeptanych ścieżek, kretowisk itp. Te czynniki czynią mikrofotogramy nieporównywalnymi i wydaje się, że pastwiska nie powinny być interpretowane drogą badań mikrofotometrycznych, w których rozpatruje się tylko jasność obiektu i strukturę jego fotograficznego obrazu. Daleko łatwiej rozpoznaje się pastwiska przy pomocy tradycyjnych cech rozpoznawczych.

Reasumując powyższe rozważania należy stwierdzić, że metoda mikrofotometryczna analizy zdjęć lotniczych nie zdała w omawianym regionie praktycznego egzaminu. Jej średnie wyniki odbiegają dość znacznie od wyników spisu rolnego i od dokładnego kartowania terenowego. Nie można jednak negować wartości i znaczenia tej metody w przypadku zastosowania jej w innych regionach kraju, charakteryzujących się mniejszym rozdrobnieniem pól uprawnych, jak również w obszarach o mniejszym zróżnicowaniu upraw, a więc na terenach położonych z dala od dużych miast. Na obszarze wsi Starej i Nowej Iwicznej, przylegającym bezpośrednio do obszaru Wielkiej Warszawy, jednolity ton pól uprawnych został silnie zaburzony wprowadzeniem bardzo nieraz drobnych grządek warzywnych, których mikrofotogramy były niemożliwe do zinterpretowania. Fakt ogromnej mozaiki

upraw wpłynął decydująco na obniżenie dokładności opracowania. Najlepszym tego przykładem jest prawie bezbłędne rozpoznanie mikrofotometryczne dużych pól uprawnych w PGR Lesznówola, gdzie jedynie pole pozostałe po wykopaniu wczesnych ziemniaków nie zostało rozpoznane (tab. XII).

Tabela XII

Uprawa	Stopień rozpoznania upraw na polach o wymiarach do 50 m szerokości w %	Stopień rozpoznania upraw na polach PGR Lesznówola w %
Żyto	89,42	92,93
Pszenica	85,52	—
Owies	87,43	99,74
Jęczmień	70,33	100,0
Buraki cukrowe	84,16	100,0
Ziemniaki	63,72	78,18
Koniczyna	100,00	100,00

Sposób mikrofotometrycznej interpretacji zdjęć lotniczych jest więc metodą, która w odpowiednich warunkach może oddać duże usługi przy analizie struktury zasiewów. Należy podkreślić również jej rolę w procesie interpretacji mniej szczegółowej, polegającej na przykład na odróżnianiu kultur okopowych od zbożowych lub pastewnych, bądź też na odróżnianiu zbóż jarych od ozimych, wyróżnianiu łąk, pastwisk itp., co jest nieosiągalne przy zastosowaniu każdej innej metody badań kameralnych.

## WNIOSKI

Metoda mikrofotometrycznej analizy zdjęć lotniczych jest nową techniką badawczą, która w praktyce nie znalazła jeszcze szerszego zastosowania. Wpływają na to przede wszystkim dość wysokie wymagania, jakie stawia ona zdjęciom lotniczym i aparaturze pomiarowej. Te dwa czynniki przesądzają obecnie o możliwościach stosowania mikrofotometrycznej analizy zdjęć lotniczych na szerszą skalę.

Prezentowane opracowanie jest pierwszą tego rodzaju pracą wykonaną w Polsce w oparciu o specjalnie wykonane zdjęcia lotnicze i dostępne przyrządy. Wyniki opracowania, jakkolwiek nie są jeszcze zadowalające, wcale nie dyskwalifikują metody. Z góry liczone się z faktem, że w warunkach silnego rozdrobnienia pól uprawnych niedopracowana jeszcze metoda nie może przynieść pozytywnych rezultatów. Niemniej na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć kilka wniosków:

1. Mikrofotometryczna analiza zdjęć lotniczych jest jedyną metodą, która pozwala, choć w różnym stopniu dokładności uzależnionym od rodzaju uprawy, odczytać strukturę zasiewów ze zdjęć lotniczych. Stopień rozpoznania upraw, jak wykazano, waha się w granicach 70–80%, co w badaniach geograficznych, zwłaszcza w przypadku określania przeważającej kultury uprawianej w danym regionie, jest wartością dosyć wysoką.

2. W przypadku rozdrobnionych działek uprawowych, co już niejednokrotnie podkreślano, metoda ta nie zdała egzaminu, gdyż mikrofotogramy były zbyt krótkie, aby na podstawie charakteru ich przebiegu określić rodzaj uprawy. Ponadto duża liczba mikrofotogramów znacznie zwiększa czas i koszt opracowania, nie wpływając przy tym na jego dokładność. Również obliczanie powierzchni niewielkich pól obciążone jest znacznym błędem.

3. Duże powierzchniowo pola mają również tę zaletę, że można odpowiednio dobrać przebieg linii profilowej, tak aby nie przechodziła przez obszary np. powalnego zboża albo w pobliżu zbiorników wodnych, rowów melioracyjnych, silniej nawilgoconych obniżen terenu itp. Te czynniki wpływają bowiem na zmianę charakteru krzywej mikrofotometrycznej i znacznie zwiększają gęstość optyczną negatywu. Dlatego przy rozpatrywaniu mikrofotogramu należy śledzić jego przebieg na zdjęciu lotniczym, aby móc prawidłowo wnioskować o przyczynie wywołującej to zjawisko

w przypadku wystąpienia pewnych niezgodności w stosunku do krzywych wzorcowych.

4. Jedną z największych zalet metody analizy mikrofotometrycznej zdjęć lotniczych jest znaczne zaoszczędzenie pracy terenowej, którą ogranicza się w zasadzie tylko do uczynienia kilku wzorcowych mikrofotogramów. Obszar wsi Starej i Nowej Iwicznej oraz PGR Lesznówola został skartowany w terenie w ciągu prawie 25 godzin przy wykorzystaniu aktualnego zdjęcia lotniczego, co w dużym stopniu uprościło i przyspieszyło pracę terenową. Ten sam obszar został zmikrofotometrowany przy pomocy jednego mikrofotometru w ciągu 5 godzin; w ciągu dalszych 3 godzin został zinterpretowany z dokładnością 80%, a więc w czasie ponad trzykrotnie krótszym niż w przypadku pracy terenowej.

Należy podkreślić, że w warunkach mniejszego rozdrobienia pól, a więc w przypadku mniejszej gęstości linii profilowania, czas opracowania skróci się jeszcze bardziej. Na przykład 1 km<sup>2</sup>, na którym występuje 100 pól uprawnych o powierzchni 1 ha i wymiarach 100 × 100 m, sfotografowany w skali 1 : 6 000 można zmikrofotometrować w ciągu 40 minut. Kartowanie terenowe tego samego obszaru wymaga około 2 godzin czasu. Różnica ta uwydatnia się jeszcze wyraźniej w przypadku opracowania dużych powierzchni rzędu kilkudziesięciu czy kilkuset km<sup>2</sup>.

5. Dalszą zaletą badań mikrofotometrycznych jest możliwość analizy struktury zasiewów w dowolnym czasie, nie związanym z występowaniem upraw w terenie. Jest to oczywiście możliwe tylko wówczas, jeśli wykona się we właściwym czasie odpowiedni wzorcowy klucz fotointerpretacyjny. Fakt ten pozwala na równomierne rozłożenie pracy w ciągu całego roku, a nie ogranicza jej tylko do sezonu letniego.

Mikrofotometryczna analiza zdjęć lotniczych nie jest metodą uniwersalną, to znaczy raz opracowany wzorzec fotointerpretacyjny nie może służyć dla różnych zdjęć lotniczych, wykonanych w niejednakowych warunkach i w różnych obszarach kraju. Wzorzec fotointerpretacyjny może odnosić się tylko do jednego regionu o zbliżonych warunkach fizyczno-geograficznych i klimatycznych, a także o podobnym systemie uprawy i kultury rolnej. Stosowanie tej metody dla całego kraju wymaga więc opracowania szeregu kluczy odnoszących się do różnych regionów.

Badania struktury zasiewów na obszarze całej Polski tą właśnie metodą są również ograniczone możliwościami technicznymi i czasowymi, gdyż opracowanie zdjęć lotniczych z tak dużego terenu nawet przy wykorzystaniu kilkunastu mikrofotometrów trwałoby zbyt długo, doprowadzając jednocześnie do znacznego przedłużenia czasu potrzebnego dla otrzymania wyników, co tym samym przekreślałoby zalety tej metody. W tej sytuacji wydaje się, że jest wskazane podkreślenie wartości metody mikrofotometrycznej analizy zdjęć lotniczych dla badań mikroskalowych i reprezentacyjnych.

Na zakończenie wypada stwierdzić, że jakkolwiek metoda mikrofotometryczna nie zrewolucjonizuje metod stosowanych obecnie w badaniach rolniczego użytkowania ziemi, to jednak pozwoli na znaczne zaoszczędzenie badań terenowych, ograniczając je w wielu przypadkach tylko do kontroli w wybranych punktach.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Anson A., 1966. Color photo comparison. *Photogramm. Engin.*, z. 2, s. 286—297.
- [2] Arcybaszew J. S., 1962. Izuczenije spiektralnoj jarkosti niekotorych elementow ƒandszafta w celach dieszyfrirowanija gruntowych wod na aerosnimkach. Primienienije aerometodow dla izuczenija gruntowych wod. Moskwa—Leningrad.
- [3] Arcybaszew J. S., Bielow S. W., 1958. Otrazatielnaja sposobnost' drierwiestnych porod. *Trudy Labor. Aeromet. AN SSSR*, s. 120—145.
- [4] Avery G., 1958. Helicopter stereo-photography of forest plots. *Photogramm. Engin.*, z. 4, s. 617—624.
- [5] Bäckström H., Welander E., 1953. En undersökning av remissions formagen hos blad och barr av olika trädslag (An investigation into the diffuse reflection capacity of leaves and needles of different species). *Norrl. Skogs. Förb. Tidskr.*, Stockholm, z. 1, s. 141—169.
- [6] Bäckstrom H., 1956. Some investigations about film and filter questions in aerial photography. *Intern. Arch. Photogramm.*, z. 12.
- [7] Biegow S. W., 1959. Aerofotosjomka lesow. AN SSSR. Moskwa—Leningrad.
- [8] Biegow S. W., 1962. Tieoreticzeskije osnovy spiektrazonalnoj aerofotosjomki rastitielnosti. *Principy i metody gieobotaniczeskogo kartirowanija. AN SSSR*, Moskwa.
- [9] Billings W. D., Morris R. J., 1961. Reflection of visible and infrared radiation from leaves of different ecological groups. *Amer. Journ. Botany*, z. 38, s. 327—331.
- [10] Boesch H. H., Brunnschweiler D., 1960. Seasonal changes of agricultural landscape interpreted from aerial photographs. *Geogr. Helv.*, z. 4, s. 257—261.
- [11] Bomberger E. H., Dill H. W., 1960. Photointerpretation in agriculture. *Man. Photogr. Interpret. Am. Soc. Photogramm.*, Washington, s. 561—666.
- [12] Brock G. C., 1952. *Physical aspects of air photography*. London, New York, Toronto.
- [13] Brunnschweiler D., 1957. Seasonal change of the agricultural pattern: a study in comparative airphoto interpretation. *Photogramm. Engin.*, z. 1, s. 131—139.
- [14] Charin N. C., 1962. Nowyje metody dieszyfrirowanija rastitielnosti po aerofotosnimkam. *Principy i metody gieobotaniczeskogo kartirowanija. AN SSSR*, Moskwa, s. 232—236.
- [15] Charin N. C., 1965. Lesochozjajstwiennoje dieszyfrirowanije aerosnimkow. Moskwa.
- [16] Ciolkosz A., 1967. Zagadnienia statystyki rolniczej. *Bibl. Wiadom. Statyst.*, z. 2, s. 197—199.
- [17] Ciolkosz A., 1967. Zdjęcia lotnicze a fotointerpretacja. *Fotointerpretacja w geografii*, z. 5, s. 5—19.
- [18] Clark W., 1947. *Photography by infrared*. New York.
- [19] Colwell R. N., 1956. Determining the prevalence of certain several crops diseases by means of aerial color photography. *Hilgardia*, z. 5, 223—286.
- [20] Colwell R. N., 1960. Some uses and limitations of color photography in agriculture. *Photogramm. Engin.*, z. 2, s. 220—222.
- [21] Doverspike G. E., Flynn F. M., Heller R. C., 1965. Microdensitometer applied to land use classification. *Photogramm. Engin.*, z. 2, s. 294—306.

- [22] Doverspike G. E., Heiler R. C., 1963. The identification of trees species on large scale panchromatic and color photographs. Intern. Arch. Photogramm., z. 14, s. 234—238.
- [23] Bibliografia fotointerpretacji. Fotointerpretacja w geografii, z. 2, s. 14—128.
- [24] Garrad C. W., 1961. An annotated bibliography of aerial photographic applications to forestry. State Univ. New York. Col. of Forestry. Syracuse.
- [25] Gates D. M., Keegan H. J., Schlechter J. V., Weidner R. U., 1965. Spectral properties of plants. Appl. Opt., z. 1, s. 11—20.
- [26] Gates D. M., Tantrapow W., 1952. The reflectivity of deciduous trees and herbaceous plants in the infrared to 25 micron. Science, z. 110, s. 613—616.
- [27] Goodman M. S., 1952. A technique for the identification of farm crops on aerial photographs. Photogramm. Engin., z. 1, s. 131—137.
- [28] Haefner H., 1963. Vegetation und Wirtschaft der oberen subalpinen und alpinen Stufe im Luftbild dargestellt am Beispiel des Dischmatales und weiteren Teilen der Landschaft Davos, Graubünden, Schweiz. Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, z. 6. Bad Godesberg.
- [29] Hart T., 1950. A bibliography on the interpretation of vegetation from aerial photography. US Naval Photographic. Interpret. Centre Rep., z. 11. Washington.
- [30] Ives R. L., 1939. Infrared photography as an aid in ecological surveys. Ecology, z. 20, s. 433—439.
- [31] Kohn G. E., 1952. An essay key for the photo identification of farm crops at several intervals during the growing season in Northern Illinois. ORN Geography Branch. Techn. Rep. Washington.
- [32] Krinow E. L., 1945. Spektrolnaja otrazatielnaja sposobnost' prirodnych obrazowanij. AN SSSR. Moskwa—Leningrad.
- [33] Langley P. G., 1963. The use of aerial photographs, computers and other devices in crop identification and area estimating. Symposium on Uses of Aerial Photography in Agriculture. Sacramento. California Dep. Agric.
- [34] Meienberg P., 1966. Die Landnutzungskartierung nach Pan-, Infrarot- und Farbluftbildern. Müncher Studien zur Sozial- und Wirtschaftsgeographie. Regensburg.
- [35] Olson C. E., 1964. Spectral reflectance measurements compared with panchromatic and infrared aerial photographs. Infrared Lab. Inst. Science and Techn., Univ. Michigan. Report No. 4864—8, T.
- [36] Packman D. J., Philpotts L. E., 1965. Aerial photography and crop recognition. The Economic Analyst. Canada. Dept. Agric.
- [37] Pokrowski G. J., 1925. Über die Lichtabsorption von Blättern einiger Bäume. Biochem. Zeitschr., z. 156, s. 420—426.
- [38] Pronin A. K., 1949. Izucenije rastitielnosti putiom aerofotografirowanija w raznych zonach spektra. Trudy Labor. Aeromet. AN SSSR.
- [39] Rey P., 1952. L'identification de la végétation par la photographie aérienne. Bull. Société d'Hist. Natur. Toulouse.
- [40] Rossetti C., 1965. A propos des images photographiques aériennes de la végétation. Photointerprét., z. 5.
- [41] Rossetti C., Kowaliski P., Have N., 1967. Relations entre les caractéristiques de réflexion spectrale de quelques espèces végétales et leurs images sur des photographies en couleur, terrestres et aériennes. Photointerprét., z. 1, s. 27—50.
- [42] Ruppert K., Lehman P., 1961. Über Möglichkeiten zur Verfeinerung und Objektivierung der agrargeographischen Interpretation panchromatischer Luftbilder. Mitt. Geograph. Ges. München, z. 46, s. 87—96.
- [43] Ruppert K., Meienberg P., 1964. Das Luftbild als Hilfsmittel agrargeographischer Forschung. Umschau in Wissensch. und Techn., z. 7, s. 207—210.

- [44] Rzendowski L., 1967. Zagadnienia statystyki rolniczej. *Bibl. Wiadom. Statyst.*, z. 2, s. 11—21.
- [45] Schmidt-Kraepelin E., Schneider S., 1966. Luftbildinterpretation in der Nordhein-Westfalen. *Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum*, z. 7. Bad Godesberg.
- [46] Schneider S., 1960. Die landeskundliche Luftbildauswertung im Deutschland. *Ber. deutschen Landesk.*, z. 1, s. 144—157.
- [47] Schneider S., 1962. Die Stellung der Luftbildinterpretation in der Landesforschung. *Ber. deutschen Landesk.*, z. 1, s. 73—84.
- [48] Schulte O. W., 1951. The use of panchromatic, infrared and color aerial photography in the study of plant distribution. *Photogramm. Engin.*, z. 5, s. 688—714.
- [49] Schull A. C., 1929. A spectrometric study of reflection of light from leaf surfaces. *Botan. Gaz.*, z. 87, s. 583—607.
- [50] Seybold A., 1932/33. Über die optischen Biegeschäften der Laubtätter I—IV. I—III. *Zeitschrift Wiss. Biologie Ab. t. E. Planta, IV Planta. Arch. Wiss. Bot.*, z. 20.
- [51] Spurr S. E., 1946. Film and filter for forest aerial photography. *Photogramm. Engin.*, z. 2, s. 131—141.
- [53] Steiner D., 1960. Die Bedeutung der jahreszeitlichen Aspekte für die Landnutzungsinterpretation auf Luftbildern am Beispiel einer alpinen Agrarlandschaft. *Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum*, z. 3. Bad Godesberg.
- [53] Steiner D., 1960. Die Frage der günstigsten Jahreszeit bei der Landnutzungsinterpretation auf panchromatischen Luftbildern. *Commun. IX. Intern. Congr. Photogramm. London.*
- [54] Steiner D., 1961. Die Jahreszeit als Faktor bei der Landnutzungsinterpretation. *Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum*, z. 5. Bad Godesberg.
- [55] Steiner D., 1962. Zur Technik und Methode der Landnutzungsinterpretation von Luftbildern. *Ber. deutschen Landesk.*, z. 1, s. 99—130.
- [56] Steiner D., 1967. Index to the use of aerial photographs for rural land use. Selbstverlag der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung. Bad Godesberg.
- [57] Steiner D., 1967. Investigation of seasonality as a factor affecting the photointerpretation of rural land use. *Photointerpret.*, z. 1, s. 67—80.
- [58] Stone K. H., 1956. Air photointerpretation procedures. Report of Commission VII. *Intern. Soc. Photogramm. Photogramm. Engin.*, z. 1, s. 123—132.
- [59] Szaronow W. W., 1934. Wizualnyje koefficienty jarkosti niekotorych prirodnych pokrowow. *Sb. Sierosjomka. Tiechn. bjul. NIIA*, wyp. 6—7.
- [60] Winogradow B. W., 1956. Mikrofotometričeskie charakteristiki fotoizobrazenij niekotorych pustynnych rastenij na aerosnimkach massztaba 1 : 5000. *Trudy Łab. Aeromet. AN SSSR*, s. 156—203.
- [61] Winogradow B. W., 1961. Objektivnyje metody analiza izobrazenija rastitielnosti na aerosnimkach. Ispolzowanije aerometodow pri issledowanijach prirodnych riesursow. *AN SSSR. Moskwa*, s. 5—16.
- [62] Winogradow B. W., 1963. Razrabotka fotometričeskogo metoda dieszyfrirowanija dla awtomatizacii kartirowanija rastitielnosti po aerofotosnimkam. *Gieobotan. kartirow. AN SSSR. Moskwa*, s. 30—36.
- [63] Zajtow I. P., Tamickij E. D., Mietielsiewa E. B., 1959. Opyt dieszyfrirowanija soobszczestw po czernobielym, cwietnym i spiektronzonalnym aerosnimkam. *Trudy Rjazansk'oj ekspedicii MGU. Moskwa.*



## АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПОСЕВОВ С ПОМОЩЬЮ АЭРОСНИМКОВ

### Резюме

Работа имеет методический характер и посвящена применению микрофотометрического метода для идентификации культур сфотографированных на панхроматических аэроснимках. Автор поставил себе задачу определения степени достоверности и точности этого метода в случае анализа структуры посевов. Исследование произведено на территории двух деревень и одного госхоза прилегающих с юга к границе Великой Варшавы.

Вступительные исследования предшествованы анализом мировой литературы относящиеся к способности отражения света через растительность, фотографической картине этой растительности и применение аэроснимков в картографии землепользования.

Очередные рассуждения касаются выбора фотопленки, масштаба снимков и оптимального периода фотографирования. Автор обсуждает пригодность отдельного рода эмульсий (панхроматической, инфракрасной, спектральной и цветной) для исследований растительности. Выбирает он однако эмульсию панхроматическую как наиболее доступную и дешевую. Определяет тоже наиболее благоприятный масштаб аэроснимков предназначенных исследованию структуры посевов 1 : 8000. Много внимания посвящает автор вопросу оптимального выбора времени производства аэросъемки. Сельскохозяйственные культуры являются объектами, которые постоянно во время вегетационного периода изменяют свой вид.

Отсюда фотографирование этих объектов для исследования структуры посевов требует определения времени, в котором они наиболее контрастны. Определение этого периода осуществлено через измерение оптической плотности негативов снимков сделанных из триангуляционной вышки в течение полного вегетационного периода. Максимальная дифференциация яркости культур и исследователю наиболее благоприятный период проведения аэроснимки предназначена для идентификации культур в районе Варшавы — три недели перед началом сбора урожая, перелом июня—июля. В этот период сделано панхроматические аэроснимки в масштабе около 1 : 5000.

Перед приступлением к интерпретационной работе определено картометрическое качество полученных аэроснимков через сравнение величины поверхности собственных участков измеренных на снимке с результатами полевых измерений. Почти плоская поверхность сфотографированной территории и почти вертикальные аэроснимки воздействовали на факт, что определение поверхности по аэроснимкам не отличалось от геодезической съемки более чем на  $\pm 1\%$  величины исследованной поверхности. Следовательно признано полную пригодность контактных копии аэроснимков для измерения величины поверхности культур.

Фотоинтерпретационные исследования начали от создания стандартного ключа. Фотоинтерпретационный ключ построено на основе аэроснимков местности прилегающей непосредственно к исследованным деревьям. Затем для каждой культуры изображенной на снимке сделано, применяя микрофотометр, кривую микрофотометрическую. Полученные кривые сравнено со стандартными кривыми. В случае их сходства данную культуру считано как определенную, в противном случае — как неопределенную.

После произведения лабораторной интерпретации сравнено полученные результаты с результатами территориального картографирования, а после подсчитания поверхности отдельных культур сравнено их с результатами июньской сельскохозяйственной переписи.

Подробность микрофотометрического исследования культур зависит от их типа и величины культурных участков и колеблется от 100% в случае клевера, до почти 54% в случае картофеля. На относительно низкий степень определения картофельных полей воздействовал факт выступления в исследованной поверхности многих сортов картофеля: от очень ранних до поздних. Отсюда также во время исполнения аэроснимков картина картофельных полей очень разнообразна. Эта мозаика фототоннов и структур воздействовала отрицательно на процесс фотоинтерпретации. Остальные культуры определено в среднем на 85%, в случае одиночных хозяйств, и приблизительно на 96%, в случае больших сельскохозяйственных единиц.

Этот факт объясняется большими линейными величинами пахотной земли принадлежащей к госхозам, что дало возможность удержания более долгих и четких кривых микрофотометрических.

Резюмируя результаты полученные в работе констатируется, что:

1. При помощи микрофотометрической интерпретации аэроснимков можно исследовать структуру посевов в пределах точности на 85—95%.

2. В случае сильно раздробленных культурных участков точность определения значительно уменьшается и наоборот — в случае великопространственных хозяйств увеличивается почти до 100%.

3. Микрофотометрический метод позволяет значительно экономить полевые работы ограничивая их до нескольких контрольных исследований.

Констатируется тоже, что микрофотометрический анализ аэроснимков не ведет к революционизированию методов применяемых сегодня в исследованиях сельскохозяйственного землепользования, однако позволит на значительную экономику сил и средств, связанных с местными исследованиями, хотя этих последних совсем нельзя исключить, создавая только новый, объективный источник информации.

*Перевел Роман Козеркевич*

## ANALYSIS OF CROP STRUCTURE ON AERIAL PHOTOS

### Summary

The present paper is of methodical character and dedicated to the application of microphotometric method for identification of crops photographed on panchromatic aerial photos. The purpose of the paper is to determine the degree of reliability and accuracy of this method in crop structure analysis. These investigations were carried out on the territories of two villages and a State Agricultural Farm adjoined from the South to the border of Great Warsaw.

Initial investigations were preceded by the analysis of world literature dealing with the ability of light reflection of vegetation, photographic image of these plants as well as utilization of aerial photos in land use mapping.

The following considerations appertain to the choice of film, scale of photos and the best time for taking the photo. The author discusses the usefulness of particular types of film (panchromatic, infra-red, spectrozonal and color) for vegetation investigation. He chooses, however, panchromatic emulsion as the most available and cheapest. He also finds that the most favourable scale of aerial photos for crop structure analysis is 1 : 8 000. Much attention is given by the author to the problem of optimum choice of aerial photos realization. Agricultural cultivation constitutes objects which continuously in the whole growing period change their appearance. To make photos of them for the purpose of crop structure analysis, it is necessary to determine a period in which they differ to a maximum among themselves. This period has been determined by the measurement of optical density of the negatives of photos taken from the triangulation tower during the whole vegetative season. The maximum differentiation of crop brightness and consequently the most favourable time for taking aerial photos for crop identification is, in the region around Warsaw, three weeks before harvest, i. e. at the turn of June and July. So, in this period panchromatic aerial photos were taken but in slightly bigger scale (1 : 5 000).

Before starting the interpretative work the cartometric properties of aerial photos were defined out by comparing the size of individual plots measured on the photo with results of field measurement. Almost entirely flat surface of photographed area and nearly vertical aerial photos caused that the measurement on photos did not differ from geodetic measurement more than  $\pm 1\%$  of the size of surface under investigation. Thus entire usefulness of contact prints of aerial photos for measurement of the size of cultivation area has been duly recognized.

Photointerpretative investigations started with standard key construction. To this end one photo from the area adjoining directly to the villages under study has been checked up. Next, for each photographed crop microphotometric graph was constructed by means of microphotometer. Then the remaining photos were subject to microphotometric investigation. Obtained graphs were compared with standard graphs. In the case of their resemblance, the given crop was treated as identified, otherwise — as non-identified.

The results obtained in the course of laboratory interpretation were compared with those of field mapping and after summing up the surface of particular crops they were compared with the results of the June Agricultural Census.

The accuracy of microphotometric crop analysis depends on their varieties types as well as the size of field plots and fluctuates from 100% in case of clover to at least 54% in case of potatoes. Relatively low degree of potato field identification is caused by many potato varieties (from the very early to the late autumn) in the region being examined. Thus, in the time of taking aerial photos the image of potato fields was very diversified. This mosaic of phototones and structures influenced adversely the process of photointerpretation.

The remaining crops were identified on the average in 85% in case of individual farms and about 96% in case of big agricultural farms. This fact can be explained by the bigger linear size of the arable land belonging to the State Agricultural Farms what allowed for maintaining longer and more clear microphotometric curves.

Summing up the results presented in the paper, it has been stated that:

1. With the help of microphotometric interpretation of aerial photos one can investigate the crop structure within the range of accuracy of 85—95%.
2. In case of strongly crumbled field plots the accuracy of identification considerably goes down and inversely — in case of large farms increases almost up to 100%.
3. The microphotometric method allows for considerable economizing of field work and reduces it to several control investigation.

It has been stated also that microphotometric method of aerial photos analysis would not revolutionize the methods presently applied in land use investigation, however it would allow for notable economizing of means and forces connected with field research.

*Translated by Roman Koziarkiewicz*

ANDRZEJ CIOŁKOSZ, JERZY MISZAŁSKI

## BADANIA RUCHU POJAZDÓW NA PODSTAWIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH

### WSTĘP

Zagadnienie komunikacji jest jednym z pierwszoplanowych problemów wielkich ośrodków miejskich. Jego rozwiązanie polega m. in. na przystosowaniu sieci drogowej do aktualnej liczby mieszkańców i samochodów, z uwzględnieniem przestrzennej lokalizacji ośrodków mieszkaniowych, przemysłowych, administracyjnych i wypoczynkowych. Stale rosnąca liczba mieszkańców i wzrost motoryzacji stwarzają konieczność organizacji ruchu kołowego w oparciu o zasady naukowe. Poczynania te powinny być poprzedzone wstępnymi studiami ruchu ulicznego, jego zmienności w czasie i przestrzeni.

Dotychczasowe metody badań ruchu pojazdów w wielu przypadkach sprowadzają się albo do liczenia pojazdów przejeżdżających przez określony przekrój jezdni, lub też do eksperymentalnych przejazdów samochodem badanego odcinka arterii w określonej porze z jednoczesnym zanotowaniem prędkości jazdy, przeszkód w ruchu, zahamowań, przyspieszeń itp. Wszystkie te badania dotyczą bądź pojedynczego przekroju ulicy i są uogólnione na jakiś jej fragment, bądź dotyczą wybranego parametru ruchu, czy też jednego lub najwyżej kilkunastu samochodów.

Obserwacja całokształtu ruchu na jezdni, to znaczy dróg poruszania się pojazdów, ich prędkości i przyspieszeń wykorzystania pasm ruchu oraz innych elementów związanych z natężeniem ruchu i parkowaniem pojazdów, a więc przestrzenne i kompleksowe badania ruchu kołowego są w zasadzie niemożliwe do przeprowadzenia przy zastosowaniu tradycyjnych metod. Spojrzenie na całą ulicę wraz z możliwością pomiarów większości parametrów charakteryzujących ruch kołowy umożliwia właściwie zdjęcie lotnicze, odpowiednio wykonane. Korzyści, jakie oddają zdjęcia lotnicze w analizie ruchu kołowego, wynikają zarówno z ich walorów ilustracyjnych ukazujących kompleksowy obraz ruchu na badanej arterii, jak i z ich właściwości metrycznych, dzięki którym jest możliwe wykonywanie pomiarów, a z nich — obliczeń określonych elementów ruchu. Wskaźniki otrzymane na drodze analizy zdjęć lotniczych pozwalają na obiektywną ocenę ruchu i ułatwiają ewentualne podjęcie zabiegów, których celem jest racjonalna organizacja ruchu na drogach.

## WARUNKI FOTOGRAFOWANIA

Dla analizy ruchu kołowego wymagane są zdjęcia specjalne, spełniające wiele warunków. Przede wszystkim należy ustalić, jakie parametry ruchu mają być badane i w jakim okresie. A zatem czy chodzi tu o maksymalne natężenie ruchu pojazdów albo o parkowanie, o przepustowość arterii czy o wykorzystanie pasm ruchu, albo też o zagadnienia średniej prędkości pojazdów czy o rozkład przyspieszeń. Ponadto należy określić godzinę, dzień i miesiąc wykonania zdjęć lotniczych tak, aby otrzymane zdjęcia charakteryzowały interesujące nas zagadnienia w sposób z góry założony. Stąd wypływa wniosek, że wykonanie zdjęć lotniczych musi być poprzedzone wstępnymi badaniami naziemnymi, które pozwolą ustalić pewne prawidłowości ruchu, aby dopiero na tej podstawie wybrać pożądaný okres fotografowania. Należy bowiem zaznaczyć, że jednorazowo, a nawet dwu- i trzykrotnie wykonane zdjęcia nie dostarczą pełnego materiału dla kompleksowego opracowania wszystkich parametrów ruchu.

Założeniem tej pracy było przeanalizowanie możliwie największej ilości parametrów charakteryzujących ruch kołowy w momencie jego największego natężenia. Na podstawie wyników badań Biura Studiów i Projektów Komunikacji Miejskiej w Warszawie stwierdzono, że w stolicy największe natężenie ruchu kołowego obserwuje się w drugiej połowie czerwca oraz że we wtorki, czwartki i piątki jest ono większe niż w pozostałe dni tygodnia. Biorąc zaś pod uwagę dzienny rytm zmian natężenia ruchu, ustalono dwie pory jego maksimum przypadające między godziną 7,00 a 8,00 oraz między 15,30 a 16,30. Te dwa okresy szczytu natężenia ruchu są oddzielone okresem najintensywniejszego parkowania, które w centrum miasta przypada około godziny 12,00. Uwzględniając przytoczone wyżej wyniki badań, określono datę wykonania zdjęć lotniczych przeznaczonych do analizy ruchu kołowego w Warszawie na dzień 16 czerwca (wtorek) 1966 r. Zarząd Topograficzny Sztabu Generalnego wykonał dwa naloty w godzinach ruchu szczytowego oraz jeden w południe. W ten sposób otrzymano zdjęcia pięciu głównych arterii stolicy, dwóch o przebiegu południkowym: Puławska—Marszałkowska—Nowotki—Mickiewicza oraz Aleje Niepodległości—Chałubińskiego—Marchlewskiego i dwóch o przebiegu równoleżnikowym: ul. Waszyngtona—Aleje Jerozolimskie—Grójecka oraz Aleje Gen. Świerczewskiego. Piątą arterią była ul. Grochowska i Targowa.

W niniejszym opracowaniu prezentujemy wyniki analizy ruchu kołowego tylko w obrębie Śródmieścia Warszawy.

W czerwcu istnieją zazwyczaj dobre warunki do fotografowania lotniczego, ale w tym przypadku okazało się, że na niektórych fragmentach ulic zupełnie nie można śledzić ruchu samochodów, gdyż ulice te są na znacznych odcinkach zasłonięte przez gęsto ulistnione drzewa. Zdjęcia lotnicze wykonane w miesiącach wczesnowiosennych lub późnojesiennych, a więc w okresie braku liści na drzewach, byłyby bardziej czytelne, ale wówczas na ulicach Warszawy panuje znacznie mniejszy ruch. Trzeba więc pogodzić się z faktem, że zdjęcia lotnicze wykonane w okresie największego natężenia ruchu nie pozwolą na jego dokładną analizę na wszystkich ulicach. Nie ogranicza to jednak w nadmiernym stopniu analizy zdjęć lotniczych, gdyż w stolicy nie ma wielu ulic zasłoniętych przez korony drzew.

Jednym z bardziej istotnych elementów zdjęć lotniczych przeznaczonych do badań ruchu kołowego jest ich skala. Decyduje ona z jednej strony o możliwościach fotointerpretacji, z drugiej natomiast wpływa na koszt opracowania. Z ogólnych zasad fotointerpretacji wiadomo, że człowiek nie uzbrojonym okiem dostrzega te przedmioty na zdjęciu lotniczym, których wymiar wynosi przynajmniej 0,1 mm w skali zdjęcia. Do rozpoznania tych przedmiotów wymagana jest jednak skala większa, w której rozpoznawany obiekt miałby wielkość co najmniej 1,0 mm. Przyjmując, że długość samochodów osobowych wynosi przeciętnie 5,0 m, i zakładając, że w skali zdjęcia powinny mieć one co najmniej 1,0 mm, można określić skalę zdjęć, na których samochody osobowe miałyby żadaną wielkość, jako skalę 1 : 5 000. Jednak w przypadku badania ruchu samochodów należy nieco zwiększyć skalę zdjęć, gdyż wskutek dużego nagromadzenia pojazdów na jezdni i różnej prędkości jazdy wpływającej na ciągłą zmienność ich wzajemnego położenia trudno jest identyfikować poszczególne samochody na kolejnych zdjęciach. Ponadto przy większej skali łatwiej jest oznaczać pojazdy bez rozmazywania ich fotograficznego obrazu.

Biorąc pod uwagę wymienione czynniki określono skalę zdjęć przeznaczonych do opracowania ruchu pojazdów na 1 : 2 000—1 : 3 000. Taka skala pozwala na odfotografowanie na zdjęciu o wymiarach 18 × 18 cm zaledwie 360—540 m ulicy. Zakładając w dodatku 80% pokrycie między zdjęciami, dla sfotografowania odcinka ulicy Marszałkowskiej od ul. Królewskiej do placu Unii Lubelskiej trzeba by wykonać 46 zdjęć w skali 1 : 2 000 lub 30 zdjęć w skali 1 : 3 000, co spowoduje znaczny wzrost kosztów opracowania.

Zakładając za Gospodinowem [3] możliwość powiększenia zdjęć lotniczych nie więcej niż 4—5 razy, gdyż przekroczenie tej granicy prowadzi do znacznego pogorszenia jakości zdjęć, zdecydowano wykonać zdjęcia w skali 1 : 10 000, a następnie powiększyć otrzymane negatywy do skali 1 : 2 000. Jedno zdjęcie o wymiarach 18 × 18 cm wykonane w skali 1 : 10 000 pozwala na odfotografowanie 1800 m prostego odcinka ulicy.

Zdjęcia lotnicze w żądanej skali można otrzymać dwoma sposobami: albo z ma-

łej wysokości przy zastosowaniu obiektywu o krótkiej ogniskowej, albo też z wysokości większej, przy zastosowaniu kamery z obiektywem o odpowiednio większej ogniskowej. W wielu pracach fotointerpretacyjnych nie ma to większego znaczenia, natomiast w przypadku badania ruchu pojazdów w mieście o wysokiej zabudowie dobór wysokości fotografowania i długości ogniskowej kamery fotograficznej — ma znaczenie pierwszorzędne.

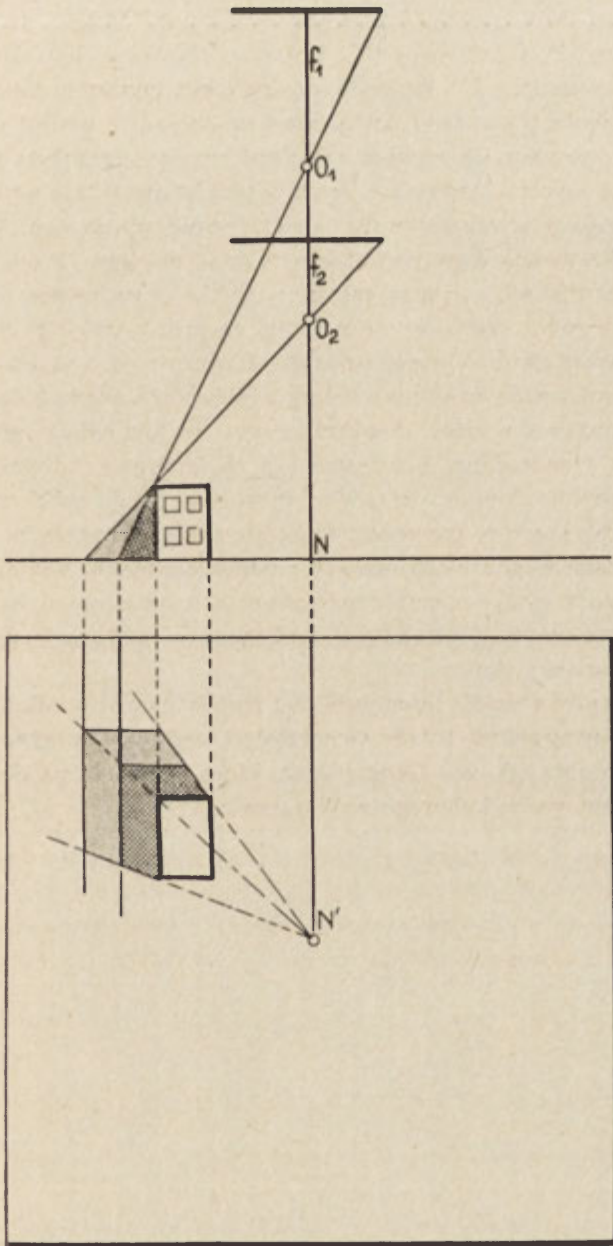
Zdjęcia lotnicze wykonane kamerą o krótkiej ogniskowej posiadają bardzo dużo pól martwych spowodowanych wysoką zabudową (ryc. 1), które uniemożliwiają pracę na wielu odcinkach ulic. Natomiast zdjęcia lotnicze wykonane kamerą o długiej ogniskowej, przy odpowiednio większej wysokości fotografowania, zbliżone są w swej naturze do rzutu ortogonalnego, stąd też i pola martwe, jakkolwiek i w tym przypadku istnieją, są znacznie mniejsze. Na wielkość pola martwego wpływa również oddalenie zabudowy od punktu, w którym oś optyczna kamery fotograficznej przecina powierzchnię ziemi. W przypadku zdjęć wykorzystanych w niniejszej pracy zdecydowano przeprowadzić oś nalotu wzdłuż wspomnianych uprzednio arterii. Stąd też na głównych ulicach nie ma pól martwych. Natomiast na ulicach równoległych do osi nalotu występują już te pola, których wielkość zależy od oddalenia danej ulicy od arterii. Jezdnie ulic prostopadłych do arterii są z reguły w całości odfotografowane tylko na 2—4 zdjęciach. Znaczne zwiększenie wysokości lotu pozwoliłoby wydatnie ograniczyć wielkość pól martwych, ale dobór wysokości lotu i długości ogniskowej obiektywu kamery fotograficznej został uwarunkowany czynnikami technicznymi.

Zdjęcia lotnicze wykorzystane do badań ruchu kołowego w śródmieściu Warszawy zostały wykonane kamerą wyposażoną w obiektyw o długości ogniskowej równej 210 mm, z wysokości 2100 m.

Najkorzystniejszym rozwiązaniem wykonania zdjęć lotniczych przeznaczonych do analizy ruchu kołowego byłoby zamontowanie kamery fotograficznej np. na balonie znajdującym się na uwięzi, bądź też na helikopterze unoszącym się niemal „w miejscu”. W tych warunkach badanie ruchu byłoby przedsięwzięciem nader prostym, gdyż wszystkie zmiany położeń pojazdów na jezdni odnosiłyby się do jednego punktu. Brak możliwości takiego rozwiązania zmusza do wykorzystania samolotu wyposażonego w automatyczną, szeregową kamerę lotniczą. Taką kamerą wykonuje się zazwyczaj zdjęcia lotnicze w pokryciu stereoskopowym wynoszącym około 60%. Wiadomo, że każdy nieruchomy punkt terenu zostanie odfotografowany na dwóch lub, o ile znajdzie się w tak zwanym pasie potrójnego pokrycia, na trzech kolejnych fotogramach. Przy zwiększeniu pokrycia do 80% ten sam nieruchomy punkt terenu zostanie odfotografowany aż na pięciu kolejnych zdjęciach. Zwiększenie stopnia podłużnego pokrycia zdjęć ma na celu zwiększenie ilości momentów obserwacji tego samego pojazdu, co zbliża ten sposób fotografowania do sposobu najkorzystniejszego, czyli do fotografowania z punktu nieruchomego.

Fakt, że jeden i ten sam obiekt można obserwować na pięciu kolejnych zdjęciach, ma jeszcze inną konsekwencję. Otóż obiekt ten można śledzić w ciągu takiego czasu,





Ryc. 1. Wpływ długości ogniskowej kamery lotniczej  
na wielkość pola martwego

Influence of focal length of aerial camera on the size of  
dead space

jaki mija między wykonaniem pierwszego i ostatniego zdjęcia, na którym jest on jeszcze widoczny. Przy założeniu 80% pokrycia, wysokości lotu 2100 m oraz przy prędkości lotu samolotu 275 km/godz. odstęp czasu pomiędzy kolejnymi ekspozycjami wynosi około 5 sek. Jeżeli lot odbywa się dokładnie wzdłuż określonej ulicy, to pojazdy poruszające się zgodnie z kierunkiem lotu samolotu zostaną odfotografowane na 6 kolejnych zdjęciach, jeżeli natomiast poruszają się one w kierunku przeciwnym, zostaną odfotografowane najwyżej na pięciu zdjęciach. A zatem w pierwszym przypadku można dany pojazd obserwować w ciągu 25 sek., w drugim zaś najwyżej w ciągu 20 sek., co przy założeniu szybkości ruchu pojazdów wynoszącej 50 km/godz. pozwala śledzić drogę pojazdu na przestrzeni 278 m.

Należy również zwrócić uwagę na fakt, że zależnie od usytuowania ulic w stosunku do kierunku padania promieni słonecznych mogą one być dobrze oświetlone albo mogą pozostawać w cieniu. Stąd też naświetlony film należy specjalnie wywołać dla uniknięcia niepożądanego kontrastowości. Kopiowanie odbitek zdjęć na kopiarkach elektronowych w dużym stopniu przyczynia się do zwiększenia czytelności tych szczegółów, które w momencie fotografowania pozostają w cieniu. Zdjęcia lotnicze wykonane w godzinach rannych i popołudniowych, wskutek zmniejszania się różnicy między oświetleniem bezpośrednim a rozproszonym, są lepiej czytelne w miejscach zacienionych niż zdjęcia wykonane w godzinach popołudniowych, przy dużej wysokości słońca.

Określone wyżej warunki fotografowania zostały niemal w całości uwzględnione przez Zarząd Topograficzny Sztabu Generalnego, stąd też wykonane zdjęcia charakteryzowały się dobrą jakością fotograficzną, która pozwoliła na dokładne badanie wielu parametrów ruchu kołowego w Warszawie.



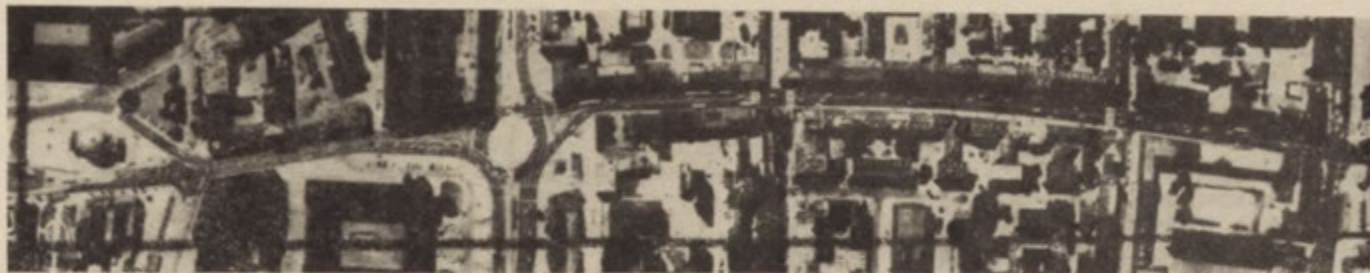
Fot. 1. Zdjęcia lotnicze skrzyżowania ul. Marszałkowskiej i Al. Jerozolimskich wykonane 16 czerwca 1966 r. o godz. 12,06 (a) i 16,35 (b)

Aerial photos of crossing of the Marszałkowska Street and Aleje' Jerozolimskie Street taken on June 16, 1966 at 12.06 (a) and 16,35 (b)



Fot. 2. Zdjęcie lotnicze placu Unii Lubelskiej wykonane 16 czerwca 1966 r. o godz. 12,06

Aerial photo of the plac Unii Lubelskiej taken on June 16, 1966 at 12,06



Fot. 3. Zdjęcie lotnicze ul. Nowy Świat wykonane 16 czerwca 1966 r. o godz. 12,40

Aerial photo of the Nowy Świat Street taken on June 16, 1966 at 12,40

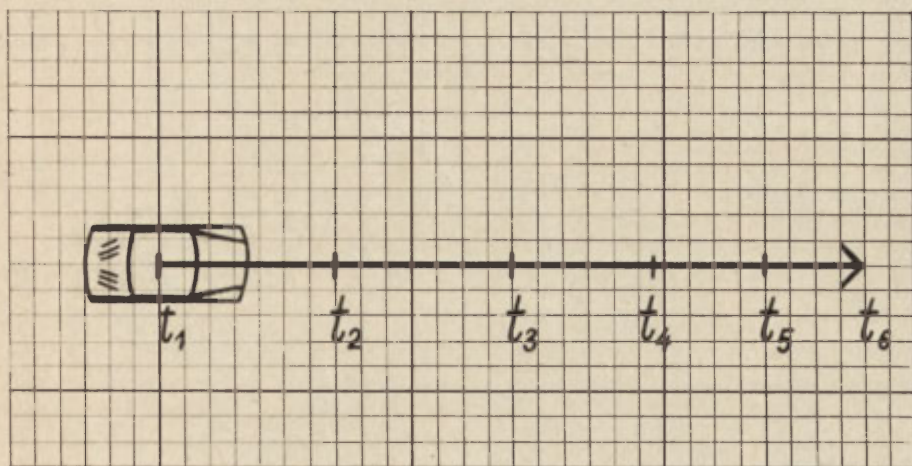


Fot. 4. Zdjęcie lotnicze ul. Kruczej wykonane 16 czerwca 1966 r. o godz. 12,35

Aerial photo of the Kruca Street taken on June 16, 1966 at 12,35

## IDENTYFIKACJA POJAZDÓW — GRAFICZNY OBRAZ RUCHU

Pierwszy etap prac zmierzających do wyznaczenia parametrów ruchu polega na identyfikacji tych samych pojazdów na pięciu (sześciu) kolejnych zdjęciach szeregu, gdy kierunek ruchu pojazdów jest zgodny z kierunkiem nalotu, lub na odpowiednio mniejszej ilości zdjęć, gdy kierunki są przeciwne. Identyfikacja pojazdów na prostych odcinkach ulic nie przedstawia większych trudności, ponieważ odstępy między pojazdami są stosunkowo duże, różnice zaś przyspieszeń minimalne. Rozpoznanie jest znacznie trudniejsze na skrzyżowaniach, ponieważ pojazdy są tam skupione, a wobec różnicy indywidualnych przyspieszeń poszczególnych pojazdów wzajemne ich położenia ulegają szybkim zmianom. Drugim czynnikiem utrudniającym identyfikację pojazdów jest fakt zmiany kierunku jazdy, a więc i zmiany oświetlenia, co w rezultacie daje zmianę obrazu fotograficznego danego pojazdu. Również cienie budynków na jezdniach utrudniają lub wręcz uniemożliwiają stwierdzenie tożsamości samochodów. Niebezpieczeństwo błędnej identyfikacji znacznie wzrasta, gdy skala zdjęć lotniczych jest mniejsza niż 1 : 10 000. Przy zastosowaniu do analizy

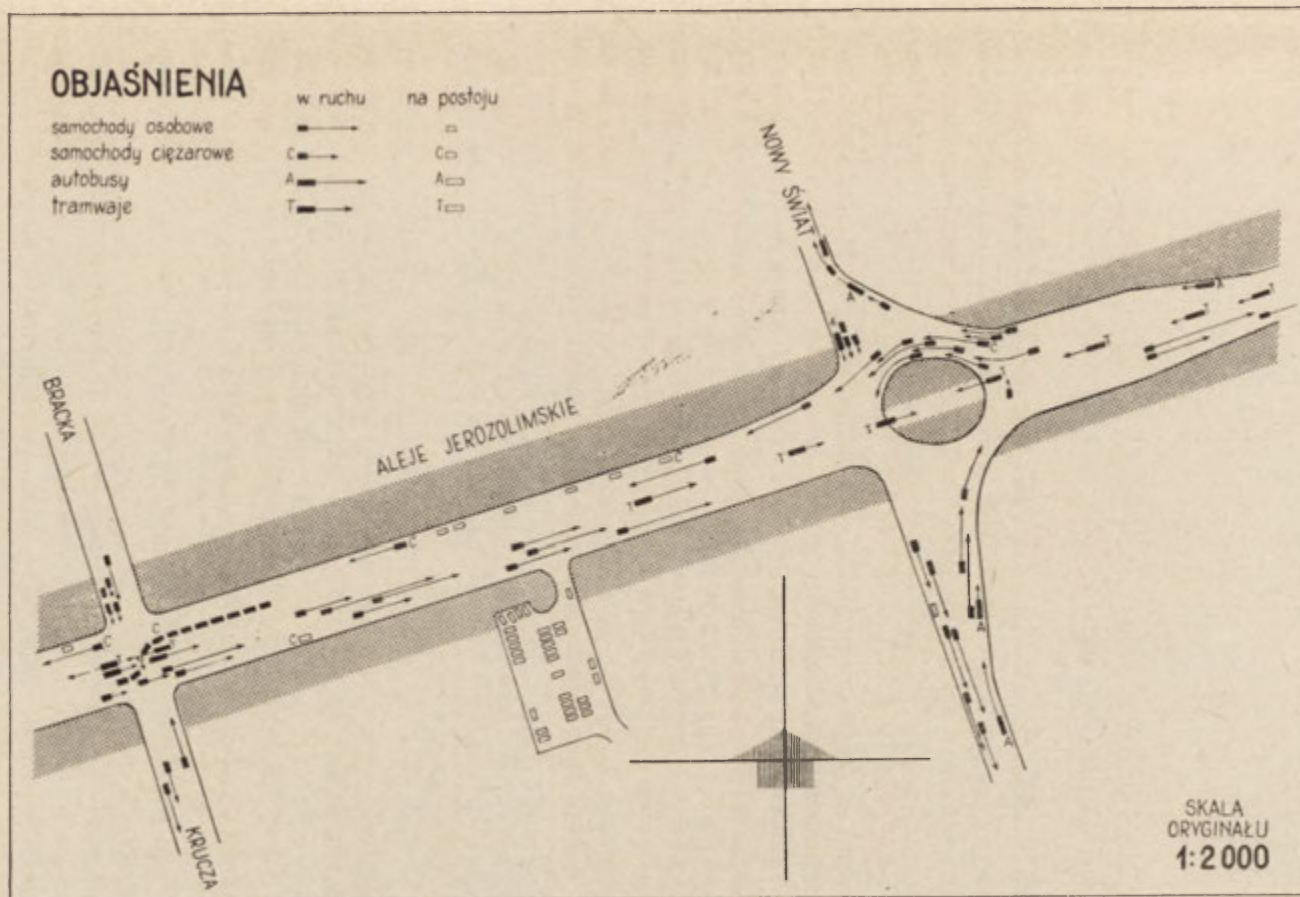


Ryc. 2. Graficzny obraz drogi przebytej przez pojazd odtworzony z kolejnych zdjęć  
Graphic picture of distance covered by vehicle reproduced from consecutive photos

5-krotnego powiększenia zdjęć wykonanych w skali 1 : 10 000 stwierdzono 2% przypadków wątpliwej identyfikacji, co nie wpływa zasadniczo na wyniki pomiarów.

Uzyskane kolejne położenia dowolnego pojazdu w momentach  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$  umożliwiają wykreślenie przebytej przez niego drogi. Skoro przedziały czasowe  $(t_1, t_2), (t_2, t_3) \dots$  są jednakowe, wielkości przebytych dróg są proporcjonalne do średnich prędkości samochodu na poszczególnych odcinkach (ryc. 2).

Aby otrzymać wektory prędkości na jednym podkładzie (zdjęcie lub papier milimetry), należy przenieść położenie tego samego pojazdu z kolejnych zdjęć. Można to wykonać przy pomocy przenośnika w oparciu o punkty stałe: ostro rysujące się kontury położone w płaszczyźnie jezdni, skrzyżowania torów tramwajowych itp. Przeniesienia sytuacji pojazdów na jeden podkład można wykonać również przy pomocy przezroczystej folii, wpasowując ją w kontury jezdni odfotografowane na kolejnych zdjęciach i zaznaczając położenie tego samego pojazdu. Rezultatem tych czynności jest graficzny obraz dynamiki ruchu pojazdów przedstawiony na ryc. 3.



Ryc. 3. Ruch pojazdów w Alejach Jeruzolimskich (fragment) w dniu 16 VI 1966 r. o godz. 8,00 (sytuacja odtworzona na podstawie 5 zdjęć lotniczych)

Traffic in the Aleje Jeruzolimskie (fragment) on June 16, 1966, at 8.00 a. m. (position reproduced on the basis of five aerial photos)

## PRĘDKOŚĆ POJAZDÓW, PRZYSPIESZENIA

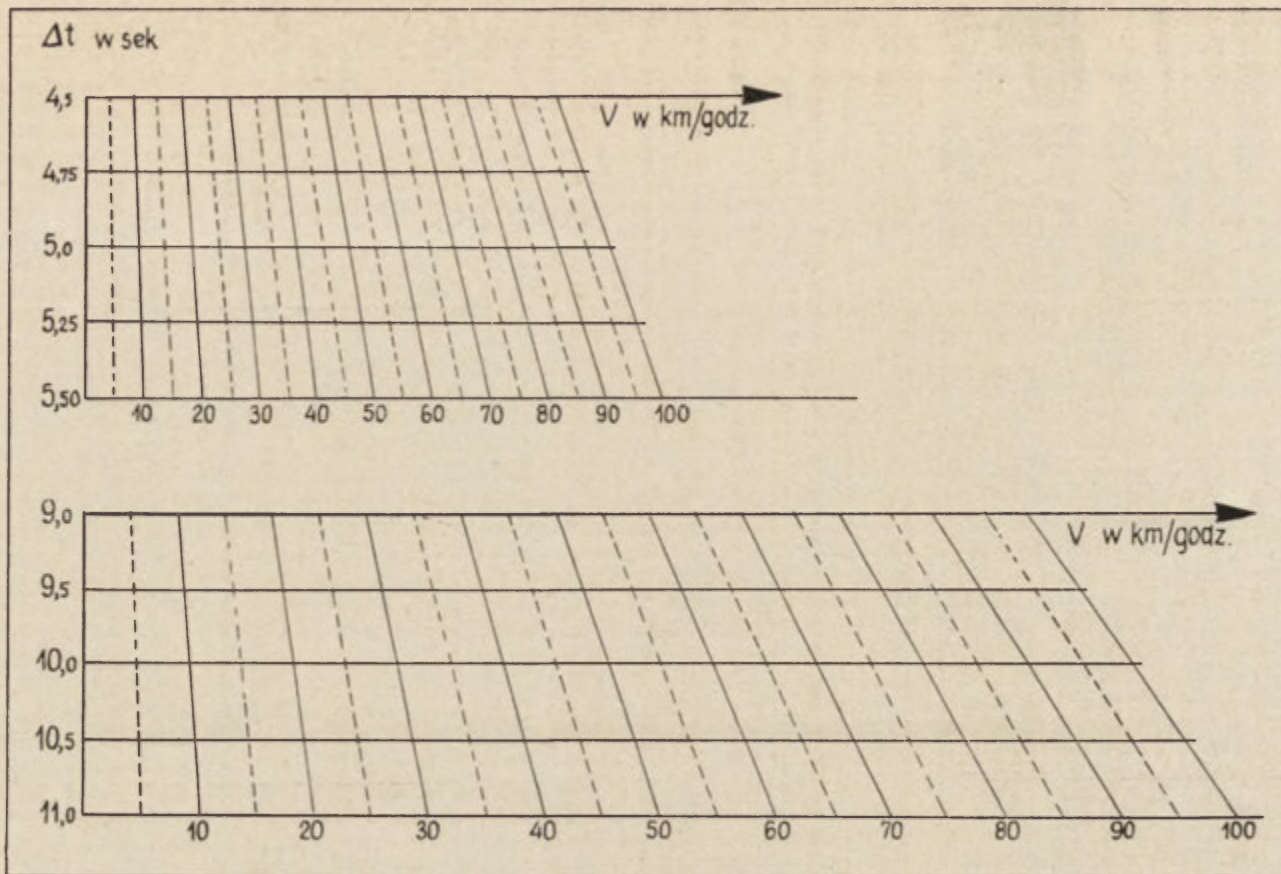
Jednym z ważniejszych parametrów ruchu kołowego jest prędkość pojazdów na poszczególnych odcinkach arterii i ulic bocznych. Prędkość ruchu pojazdów można otrzymać z pomiaru przebytej przez nie drogi w określonym interwale czasu (przedział czasu między kolejnymi ekspozycjami). O ile wyznaczenie odstępu czasu wymaga tylko porównania momentów zdjęcia zarejestrowanych na zegarze odfotografowanym na ramce zdjęcia, o tyle wyznaczenie odległości przebytej przez pojazd wymaga pomiaru na zdjęciach.

W celu usprawnienia określania prędkości pojazdów skonstruowano odpowiednie diagramy, umożliwiające bezpośrednie odczytanie prędkości pojazdu na podstawie wielkości przebytej przez niego drogi. Diagramy (ryc. 4) opracowano dla kilku skal zdjęć lotniczych oraz dla kilku wartości interwału czasu między ekspozycjami. Uwzględniono również możliwość wyznaczenia średniej prędkości przy różnych wielokrotnościach przedziału czasu, wykorzystywanych zależnie od tego, na ilu zdjęciach badany pojazd został odfotografowany. W przypadku gdy mamy do czynienia ze zdjęciami lotniczymi, na których jest brak obrazu zegara, szybkość pojazdów można określić jako funkcję wielkości zmiany ich położenia na dwóch kolejnych zdjęciach i interwału czasu obliczonego na podstawie znanej szybkości lotu samolotu oraz wielkości bazy fotografowania.

Prędkość pojazdów na różnych odcinkach ulicy jest zjawiskiem zmiennym, zależnie od ilości występujących przeszkód, do których należy zaliczyć poprzeczne strumienie komunikacji kołowej i ruchu pieszego, zwężenia jezdni, ruch tramwajowy, przystanki środków komunikacji miejskiej, krętość ulicy oraz parkowanie pojazdów. Wartość średniej prędkości ogólnej można wyznaczyć jako średnią arytmetyczną średnich prędkości wszystkich pojazdów poruszających się na badanym odcinku ulicy. Poniższe tabele przedstawiają przykładowe wartości średnich prędkości osiągniętych w godzinach rannych przez pojazdy poruszające się Alejami Jerozolimskimi oraz w godzinach południowych — ul. Marszałkowską.

Średnia prędkość ogólna obliczona o godz. 8,00 dla Alej Jerozolimskich na podstawie analizy ruchu 160 pojazdów wynosi 19,9 km/godz. Wartość ta odnosi się do wszystkich pojazdów: samochodów osobowych, ciężarowych, autobusów i tramwajów. Zróżnicowanie średnich prędkości pojazdów zależnie od rodzaju pojazdów prezentuje tab. II.





Ryc. 4. Nomogramy do określania prędkości pojazdów na zdjęciach lotniczych wykonanych w skali 1 : 2 000

Nomographs for defining the speed of vehicles on aerial photos in the scale 1 : 2 000



Ryc. 5. Przykład zastosowania diagramu do określania prędkości pojazdu. Skala zdjęcia 1 : 2 000, interwał czasu między ekspozycjami  $t = 4,75$  sek. Odczytana prędkość pojazdu  $V = 58$  km/godz.

Example of graph use for defining the speed of vehicle. Photo scale 1 : 2 000, time interval between exposures  $t = 4.75$  seconds. Read out speed of the vehicle  $V = 58$  kms/h

Tabela I

Średnie prędkości osiągnięte przez wybrane pojazdy o godz. 8,00 w Alejach Jerozolimskich

Nr pojazdu	Rodzaj pojazdu	Kierunek ruchu	$V_{1-2}$	$V_{2-3}$	$V_{3-4}$	$V_{4-5}$	$V_{5-6}$	$V_{6-7}$	$V_{\text{sr}}$
29	autobus	W—E	30	30	28	25	23	12	25,8
35	osobowy	W—E	5	2	10	21	30	—	13,5
38	osobowy	W—E	10	25	35	40	40	40	31,6
46	tramwaj	W—E	8	8	6	10	12	—	8,8
50	ciężarowy	W—E	30	32	35	36	30	—	32,6
90	osobowy	E—W	18	20	28	35	—	—	25,2
105	tramwaj	E—W	20	15	18	15	—	—	17,0
126	osobowy	E—W	38	36	20	10	—	—	26,0
143	osobowy	E—W	10	22	18	—	—	—	16,7
160	osobowy	E—W	45	54	—	—	—	—	49,7

Tabela II

Zróźnicowanie średniej prędkości pojazdów zależnie od ich rodzaju (Aleje Jerozolimskie)

Rodzaj pojazdów	Udział procentowy	Średnia prękość km/godz.
Samochody osobowe	60	23,4
Samochody ciężarowe	9	20,8
Autobusy	12	16,7
Tramwaje	19	10,2

Tabela III

Średnie prędkości osiągnięte przez wybrane pojazdy o godz. 12,06 na ul. Marszałkowskiej

Nr pojazdu	Rodzaj pojazdu	Kierunek ruchu	V <sub>1-2</sub>	V <sub>2-3</sub>	V <sub>3-4</sub>	V <sub>4-5</sub> V <sub>5-6</sub> V <sub>6-7</sub>			V <sub>sr</sub>
						km/godz.			
10	ciężarowy	S—N	25,8	22,0	26,5	—	—	—	24,7
35	osobowy	S—N	30,4	26,6	6,4	1,5	—	—	13,0
44	osobowy	S—N	51,0	58,5	62,0	—	—	—	57,2
45	autobus	S—N	36,5	40,2	44,2	—	—	—	40,3
67	osobowy	S—N	36,7	28,5	1,5	16,4	—	—	20,8
83	osobowy	N—S	2,7	9,2	16,2	16,2	—	—	11,1
116	osobowy	N—S	52,1	53,4	42,2	15,0	0,0	0,0	27,6
130	autobus	N—S	2,5	8,6	16,7	22,1	—	—	12,1
156	osobowy	N—S	39,4	38,8	32,5	32,5	—	—	35,8
171	osobowy	N—S	16,4	20,8	30,0	30,0	—	—	24,3

Tabela III przedstawia wartości średnich prędkości osiągnięte przez wybrane pojazdy poruszające się o godz. 12,06 ul. Marszałkowską.

Średnia prędkość ogólna obliczona o godz. 12,06 dla ul. Marszałkowskiej na podstawie analizy 174 pojazdów wynosi 19,1 km/godz., przy czym średnia prędkość poszczególnych rodzajów pojazdów kształtuje się jak na tab. IV.

Tabela IV

Zróżnicowanie średniej prędkości pojazdów zależnie od ich rodzaju (ul. Marszałkowska)

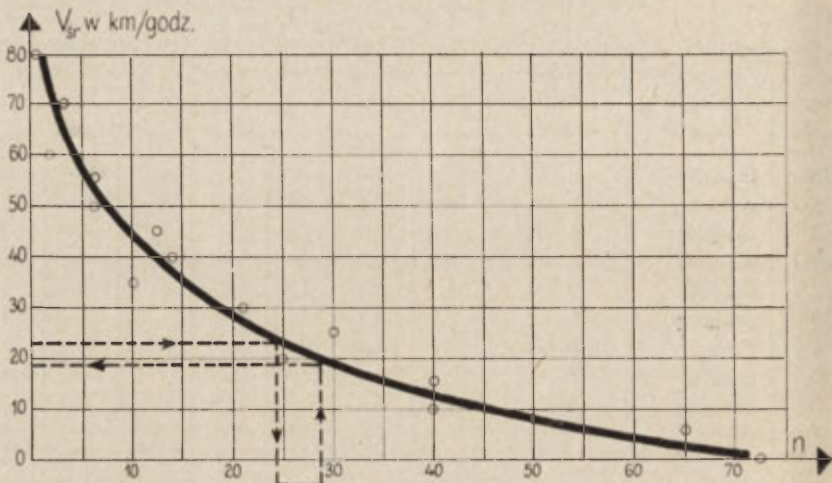
Rodzaj pojazdów	Udział procentowy	Średnia prędkość km/godz.
Samochody osobowe	77	20,2
Samochody ciężarowe	11	16,2
Autobusy	5	17,0
Tramwaje	7	14,4

W przypadku braku większych zakłóceń w ruchu pojazdów znacznie wzrasta ich średnia prędkość ogólna. Zjawisko to ilustruje tab. V podająca wartości średnich prędkości osiągnięte przez wszystkie rodzaje pojazdów na mostach warszawskich.

Tabela V

Średnie prędkości pojazdów na mostach

Most	Średnia prędkość w km/godz.			Średnia prędkość dobową km/godz.
	pora dnia			
	8,00—9,00	12,0	16,00—17,00	
Poniatowskiego	31,2	42,5	25,7	33,1
Śląsko-Dąbrowski	19,5	27,6	11,8	19,6
Gdański	30,5	36,8	32,0	33,1



Ryc. 6. Zależność średniej prędkości pojazdów od ich ilości na jezdni. Wykres sporządzono na podstawie pomiarów wykonanych dla głównych arterii Warszawy i trzech pór dnia

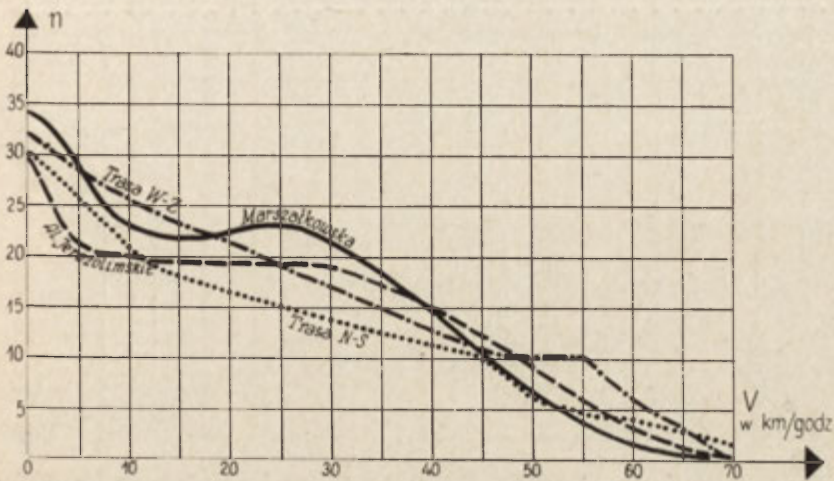
Dependence of the average speed of the vehicles on their number in the street. Graph based on the measurement for the main arteries of Warsaw

Z tabeli wynika, że największe szybkości średnie pojazdów obserwujemy na moście Poniatowskiego i na moście Gdańskim, najmniejsze natomiast na moście Śląsko-Dąbrowskim. Stosunkowo niewielka prędkość pojazdów na tym moście wynika z istnienia tylko jednego pasma ruchu dla samochodów. Dwukrotne zwiększenie ilości pasm ruchu pociąga niemal automatycznie dwukrotne zwiększenie prędkości pojazdów. Na moście Gdańskim, na którym ruch samochodowy oddzielono od tramwajowego, obserwujemy we wszystkich porach dnia niemal te same wartości średniej prędkości, co świadczy o stałej płynności ruchu pojazdów w ciągu doby.

Z obserwacji dokonanych przy analizie prędkości pojazdów wynika, że przeciętna szybkość pojazdów wyraźnie maleje, gdy wzrasta ich ilość przypadająca na jednostkę powierzchni jezdni. Zależność tę ilustruje ryc. 6. W 1966 r. na 1 hm jezdni ulicy Marszałkowskiej przypadało około 10,6 pojazdów, które poruszały się ze średnią prędkością wynoszącą 19,1 km/godz. Przy przewidywanym wzroście liczby pojazdów o 30% w 1970 r. przeciętna ich prędkość zmaleje do około 15 km/godz. Wynika stąd konieczność dalszego usprawnienia organizacji ruchu poprzez budowę skrzyżowań bezkolizyjnych, budowę podziemnych przejść dla pieszych oraz synchronizacji sygnalizacji świetlnej. Potrzeba ta częściowo została już rozwiązana poprzez skierowanie jednego pasma ruchu ulicą Waryńskiego. Dalszą poprawę warunków ruchu przyniesie przebudowa skrzyżowania ul. Marszałkowskiej i Alej Jerozolimskich.

W celu pełniejszej charakterystyki ruchu kołowego na głównych arteriach Warszawy wykreślono rozkład średnich prędkości pojazdów (ryc. 7).

Z ryciny 7 wynika, że tylko 10% pojazdów poruszających się Alejami Jerozo-



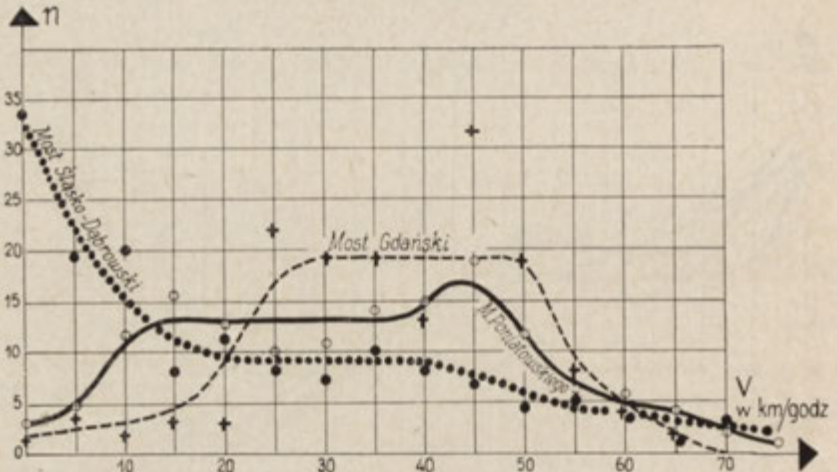
Ryc. 7. Rozkład średnich prędkości pojazdów na głównych arteriach Warszawy w dniu 16 VI 1966 r.

Distribution of average speeds of the vehicles in the main arteries of Warsaw on June 16, 1966

limskimi rozwija średnią prędkość ponad 40 km/godz., 50% pojazdów nie przekracza średniej prędkości 15 km/godz. Należy podkreślić, że w tej ostatniej grupie znajdują się prawie wszystkie środki komunikacji miejskiej.

Na ul. Marszałkowskiej pojazdy poruszają się nieco szybciej. Z rozkładu prędkości wynika, że 20% pojazdów porusza się ze średnią prędkością przekraczającą 40 km/godz., natomiast 50% pojazdów porusza się z prędkością około 20 km/godz. Nieco inaczej kształtuje się rozkład średnich prędkości na mostach warszawskich (ryc. 8). Rozkład prędkości jest bardziej równomierny i wyraźnie odbiega od analogicznych wykresów odnoszących się do głównych arterii miejskich. Średnie prędkości pojazdów na moście Poniatowskiego i Gdańskim są znacznie wyższe niż na uprzednio wymienionych arteriach; i tak na moście Gdańskim 30% pojazdów porusza się ze średnią prędkością przekraczającą 45 km/godz., a prawie 50% pojazdów osiąga średnią prędkość 25–40 km/godz. Na moście Poniatowskiego prędkość ponad 45 km/godz. osiąga 25% pojazdów, natomiast z prędkością 25–40 km/godz. porusza się około 40% pojazdów. Rozkład średnich prędkości pojazdów na moście Śląsko-Dąbrowskim jest zbliżony do sytuacji panującej na ul. Marszałkowskiej bądź w Alejach Jerozolimskich. Zdecydowana większość pojazdów (około 65%) porusza się ze średnią prędkością poniżej 25 km/godz.

Wektory otrzymane na podstawie analizy położenia pojazdów na kolejnych zdjęciach umożliwiają liczbowe określenie zmian szybkości ruchu pojazdów zachodzących w określonych jednostkach czasu, czyli określenie przyspieszenia pojazdów. Zdjęcia lotnicze wykonane w poprzednio omówionych warunkach umożliwiają obliczenie trzech, niekiedy czterech wartości przyspieszeń średnich „a”. Jeżeli zało-



Ryc. 8. Dobowy rozkład średnich prędkości pojazdów na mostach warszawskich  
Day and night's distribution of average speeds on the Warsaw bridges

żymy, że prędkości  $v_{1-2}$ ,  $v_{2-3}$  ... reprezentują prędkości średnie w środkowych momentach przedziałów czasowych  $\frac{t_1+t_2}{2}$  i  $\frac{t_2+t_3}{2}$ , wówczas na podstawie definicji przyspieszenie średnie wyraża się następującą zależnością:

$$a = \frac{\frac{v_{2-3} - v_{1-2}}{t_2 + t_3}}{\frac{t_1 + t_2}{2}}$$

$$a = 2 \frac{v_{2-3} - v_{1-2}}{t_3 - t_1}$$

Obliczenia przeprowadzone w odniesieniu do pojazdów poruszających się głównymi arteriami Warszawy wykazały duże zróżnicowanie przyspieszeń, co wiąże się z indywidualnymi właściwościami technicznymi pojazdów i warunkami ruchu na jezdni. Tabele VI i VII ilustrują przyspieszenia osiągane przez pojazdy w godzinach porannych w Alejach Jerozolimskich oraz w godzinach południowych na ul. Marszałkowskiej.

Obliczone dla Alej Jerozolimskich wartości przyspieszeń pojazdów zawarte są w przedziale  $-1,35 \div +1,40$  m/sek.<sup>2</sup> Ilości poszczególnych wartości są jednak silnie zróżnicowane, co świadczy o dużych zaburzeniach w płynności ruchu. W jeszcze większym przedziale  $-2,0 \div +1,8$  m/sek.<sup>2</sup> zawarte są przyspieszenia pojazdów poruszających się w południe ul. Marszałkowską, na co w dużym stopniu wpływa brak synchronizacji świetlnej. Przy stosunkowo dużych prędkościach średnich poszczególnych pojazdów brak tzw. zielonej fali w dużym stopniu zaburza płynność ruchu. Rozkład przyspieszeń dla pojazdów poruszających się głównymi arteriami Warszawy ilustruje ryc. 9.

Tabela VI

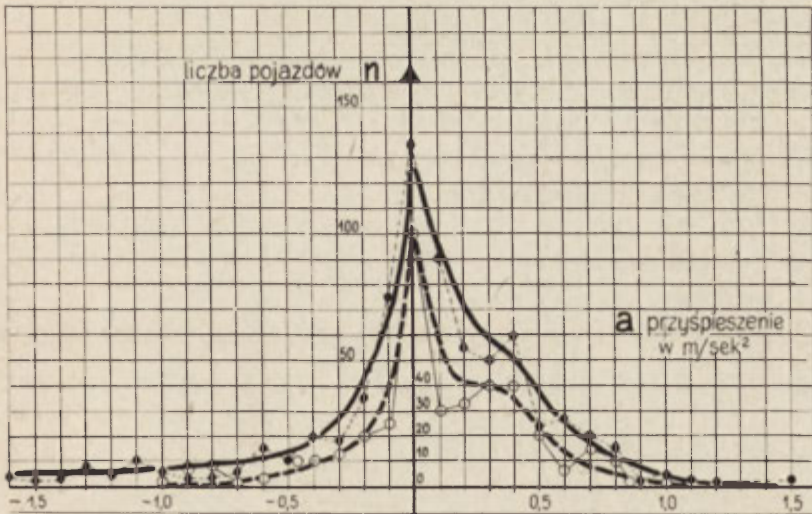
Przyspieszenia wybranych pojazdów poruszających się w godzinach rannych Alejami Jerozolimskimi

Nr pojazdu	Rodzaj pojazdu	Kierunek ruchu	Średnie prędkości km/godz.				$V_{\text{sr}}$ km/godz.	Przyspieszenia m/sek. <sup>2</sup>		
			$v_{1-2}$	$v_{2-3}$	$v_{3-4}$	$v_{4-5}$		$a_1$	$a_2$	$a_3$
38	osobowy	W—E	10	25	35	40	31,6	+0,8	+0,5	+0,3
48	tramwaj	W—E	6	12	16	15	13,2	+0,3	+0,2	-0,1
87	osobowy	E—W	10	22	22	22	19,0	+0,6	0,0	0,0
101	tramwaj	E—W	7	23	28	23	20,2	+0,9	+0,2	-0,2
157	autobus	E—W	24	23	24	22	23,5	-0,1	+0,1	-0,1

Tabela VII

Przyspieszenia wybranych pojazdów poruszających się w godzinach południowych ul. Marszałkowską

Nr pojazdu	Rodzaj pojazdu	Kierunek ruchu	Średnie prędkości km/godz.				$V_{\text{sr}}$ km/godz.	Przyspieszenia m/sek. <sup>2</sup>		
			$v_{1-2}$	$v_{2-3}$	$v_{3-4}$	$v_{4-5}$		$a_1$	$a_2$	$a_3$
1	osobowy	N—S	40,2	46,0	53,3	56,0	48,9	+0,3	+0,4	+0,2
17	autobus	N—S	36,8	28,2	18,8	1,5	21,3	-0,5	-0,6	-1,0
83	osobowy	N—S	2,7	9,2	16,2	16,2	11,1	+0,4	+0,4	0,0
144	osobowy	S—N	36,5	40,2	44,2	—	40,3	+0,2	+0,2	—
174	osobowy	S—N	40,1	36,0	29,5	7,6	28,3	-0,3	-0,4	—



Ryc. 9. Dobowy rozkład przyspieszeń pojazdów w Alejach Jerozolimskich (linia przerywana) i na ul. Marszałkowskiej (linia ciągła) w dniu 16 VI 1966 r.

Day and night's distribution of vehicles speeding-up in the Aleje Jerozolimskie (dashed line) and in the Marszałkowska Street (full line) on June 16, 1966

 $n$ —number of vehicles,  $a$ —speeding-up

## PŁYNNOŚĆ RUCHU I JEGO ZAKŁÓCENIA

Sprawność ruchu na ulicach wymaga, aby zmiany prędkości pojazdów były możliwie najmniejsze, tzn. aby szybkości poszczególnych pojazdów były maksymalnie zbliżone do średniej prędkości ogólnej  $V$ . Odchylenia szybkości każdego pojazdu od średniej prędkości ogólnej mogą stanowić podstawę do liczbowego wyrażenia parametru charakteryzującego płynność ruchu  $F$ . Wskaźnik ten można zdefiniować jako stosunek sumy absolutnych wartości odchyień średnich prędkości pojazdów od średniej prędkości ogólnej do iloczynu liczby pojazdów  $n$  i długości rozpatrywanego odcinka ulicy  $l$ , wyrażonej w km.

$$F = \frac{\sum |\delta|}{nl}$$

$$\sum |\delta| = |\delta_1| + |\delta_2| + \dots + |\delta_n|$$

$$\delta_1 = v_1 - V$$

$$\delta_2 = v_2 - V$$

.....

$$\delta_n = v_n - V,$$

- gdzie:  $F$  — wskaźnik płynności ruchu,  
 $v_1$  — średnia prędkość pojazdu,  
 $V$  — średnia prędkość ogólna pojazdów na rozpatrywanej arterii,  
 $n$  — liczba pojazdów,  
 $l$  — długość arterii w km,  
 $\delta_1$  — odchylenie średniej prędkości pojazdu od średniej prędkości ogólnej.

Kierując się przedstawioną wyżej zasadą obliczeń wyznaczono wskaźnik płynności ruchu  $F$  w różnych porach dnia dla poszczególnych arterii oraz dla mostów. Wyniki obliczeń przedstawia tab. VIII.

Należy zaznaczyć, że im większa płynność ruchu na badanej arterii, tym bardziej wskaźnik  $F$  staje się bliski 0. W analizowanych przypadkach najwyższa płynność ruchu (najmniejszy wskaźnik) występuje na moście Gdańskim. Wiąże się to najprawdopodobniej z oddzieleniem ruchu samochodowego od tramwajowego. Najmniejszą płynność ruchu samochodowego w przekroju dobowym obserwuje się na moście Śląsko-Dąbrowskim.



Wskaźnik płynności ruchu

Arteria	Pora dnia			Średni dobowy wskaźnik płynności ruchu
	8,00—9,00	12,00	16,00—17,00	
Ul. Marszałkowska	6,8	4,7	11,2	7,6
Aleje Jerozolimskie	4,6	4,2	7,3	5,4
Aleje Niepodległości	7,0	5,8	8,7	7,2
Al. Gen. Świerczewskiego	12,0	7,3	14,3	11,2
Ul. Targowa	6,6	4,8	7,2	6,2
Most Poniatowskiego	7,4	5,0	9,6	7,3
Most Śląsko-Dąbrowski	19,6	22,3	15,3	19,1
Most Gdański	7,6	8,1	4,2	6,6

Trzeba podkreślić, że wyniki przedstawione w tab. VIII zostały obliczone na podstawie 3 serii zdjęć lotniczych wykonanych w ciągu jednego dnia, dlatego też mają one jedynie charakter orientacyjny.

Zróźnicowanie przyspieszeń spowodowane jest występującymi na jezdni przeszkodami. Zjawisko to zwane zakłóceniem ruchu można wyrazić przy pomocy współczynnika  $Z$ , który definiujemy jako stosunek ogólnej liczby zmian znaku kolejnych przyspieszeń poszczególnych pojazdów do iloczynu liczby tych pojazdów i długości badanej arterii wyrażonej w km.

$$Z = \frac{10 \sum m}{n l},$$

gdzie:  $Z$  — współczynnik zakłócenia ruchu,

$m$  — liczba zmian znaku przyspieszeń pojazdu,

$n$  — liczba rozpatrywanych pojazdów,

$l$  — długość odcinka arterii w km.

Szczegółowe wyniki obliczeń wskaźnika przeszkody dla mostów warszawskich przedstawiono w tab. IX.

Wartości wskaźników zakłócenia ruchu wykazują znaczne zróźnicowanie. Najmniejsze ich wartości okazały się w przypadku mostów Gdańskiego i Poniatowskiego, gdzie ruch odbywa się w zasadzie bez zakłóceń. Idealny niemal jest ruch popołu-

Tabela IX

Wskaźnik zakłócenia ruchu pojazdów na mostach

Most	Pora dnia			Średni dobowy wskaźnik zakłócenia
	8,00—9,00	12,00	16,00—17,00	
Poniatowskiego	2,3	2,6	1,3	2,1
Śląsko-Dąbrowski	6,1	5,8	2,2	4,7
Gdański	3,2	2,2	0,0	1,8

niowy na moście Gdańskim, na którym nie stwierdzono w ogóle odchyień od średniej prędkości. Największe zakłócenia występują w Alei Gen. Świerczewskiego. Głównym sprawcą ich jest ruch tramwajowy i brak wysepek, co w przypadku zatrzymania się tramwaju na przystanku powoduje zatrzymanie całego ruchu kołowego; to powoduje gwałtowne hamowanie pojazdów, a następnie znaczne przyspieszenia. W tym przypadku stwierdzamy ciągły proces zmian znaku przyspieszeń, co wprowadza znaczne zakłócenia ruchu.

Na arteriach, gdzie występują wysepki tramwajowe, wskaźnik zakłóceń jest mniejszy, chociaż działa i tu poważnie. Analiza płynności ruchu oraz występujących w nim zakłóceń pozwala na stwierdzenie, że organizacja ruchu na głównych arteriach Warszawy wymaga koniecznie „zielonej fali”, ponieważ w miarę wzrostu liczby pojazdów przejazd przez miasto będzie bardzo utrudniony.

## NATĘŻENIE RUCHU KOŁOWEGO

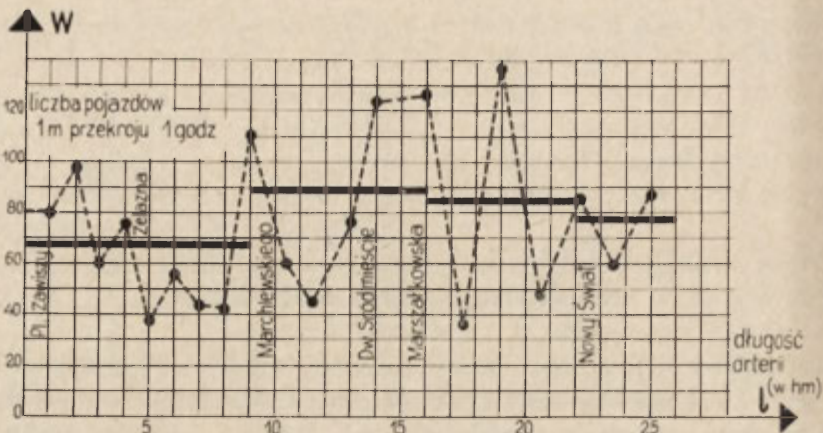
Ruch kołowy odbywa się z różną intensywnością zależną od charakteru dzielnicy, przez którą przebiega arteria, od pory dnia i wielu innych czynników. Zjawisko to, przez analogię do zjawisk fizycznych, nazwano natężeniem ruchu kołowego i zdefiniowano jako wielkość określającą ilość pojazdów przejeżdżających przez całą szerokość arterii w obu kierunkach, w jednostce czasu. W obliczeniach przyjęto 1 m za jednostkę szerokości jezdni oraz 1 godz. jako jednostkę czasu. Natężenie obliczono dla przekrojów poprzecznych w punktach hektometrowych oraz przekrojów przebiegających przez charakterystyczne punkty, jakimi są skrzyżowania. Ryc. 10 ilustruje natężenie ruchu kołowego w Alejach Jerozolimskich w godzinach rannych. Natężenie ruchu kołowego zostało obliczone na podstawie wzoru:

$$W = \frac{n_1 + n_2}{d(t_2 - t_1)} 3600,$$

gdzie:  $W$  — wskaźnik natężenia ruchu kołowego  
 $n_1 + n_2$  — liczba pojazdów przejeżdżających przez linię przekroju w obydwu kierunkach,  
 $t_2 - t_1$  — czas badania przepływu,  
 $d$  — szerokość arterii w m.

W Alejach Jerozolimskich największe natężenie ruchu w godzinach porannych obserwuje się na odcinku pomiędzy ul. Marchlewskiego a ul. Nowy Świat. Przepiętne natężenie na tym odcinku jezdni w godzinach porannego szczytu wynosi  $W = 80$ , co oznacza przepływ 2000 pojazdów w ciągu jednej godziny w obu kierunkach i na całej szerokości jezdni.

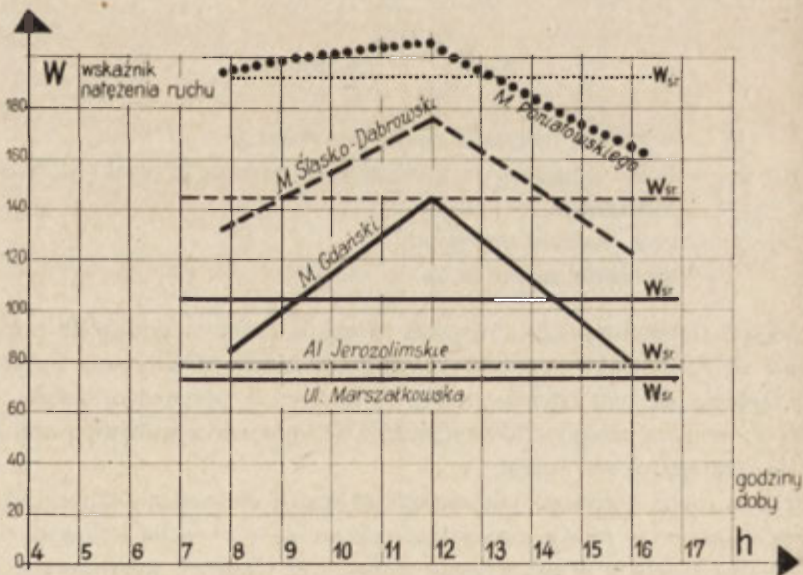
Natężenie ruchu kołowego jest szczególnie ważne dla newralgicznych odcinków drogowych, jakimi są mosty. Szczególna rola mostów w ruchu kołowym w Warszawie wynika z układu przestrzennego stolicy oraz tendencji rozwojowych miasta, wyrażających się m. in. w procesie urbanizacji i industrializacji postępujących w kierunku prostopadłym do Wisły. Szczegółowe wyniki wskaźników natężenia ruchu pojazdów na mostach warszawskich przedstawiają tab. X i ryc. 11. W godzinach porannego szczytu jak również w godzinach południowych czy też popołudniowych największe natężenie ruchu obserwujemy na moście Poniatowskiego. Najmniejsze



Ryc. 10. Wykres natężenia ruchu kołowego w Alejach Jerolimskich w dniu 16 VI 1966 r. o godz. 8,05

Diagram of traffic intensity in the Aleje Jerolimskie on June 16, 1966, at 8.05 a. m.

$W$  — number of vehicles (1 meter of street profile) 1 hour,  $l$  — length of artery



Ryc. 11. Dobowy przebieg natężenia ruchu kołowego na mostach oraz średnie natężenie ruchu w Alejach Jerolimskich i na ul. Marszałkowskiej

Day and night's distribution of traffic intensity on the bridges and average traffic intensity in the Aleje Jerolimskie and the Marszałkowska Street

$W$  — index of traffic intensity,  $h$  — hours

Tabela X

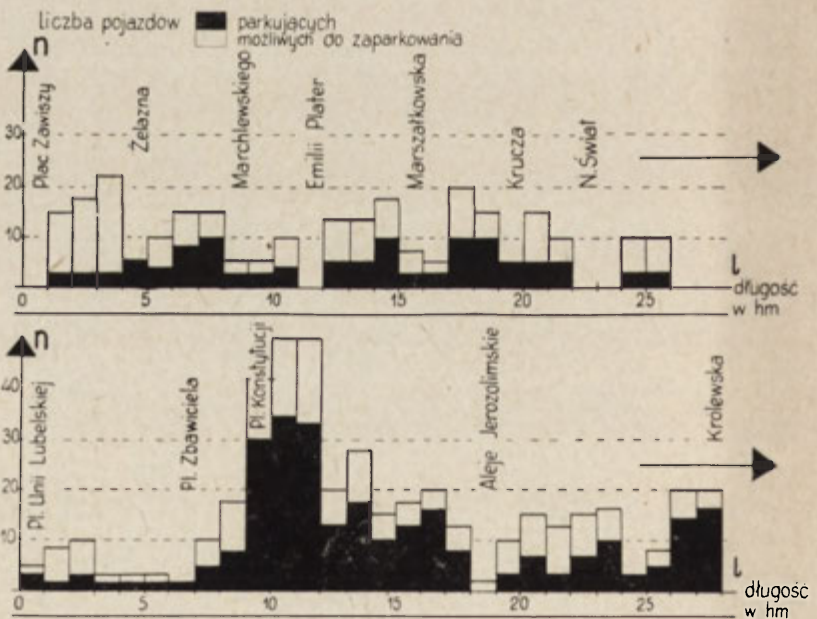
## Natężenie ruchu na mostach warszawskich

Most	Pora dnia			Średni dobowy wskaźnik natężenia ruchu
	8,00—9,00	12,00	16,00—17,00	
Poniatowskiego	196	215	163	191
Śląsko-Dąbrowski	134	177	121	144
Gdański	84	142	80	102

natomiast natężenie występuje na moście Gdańskim. Założona zdolność przepustowa tego mostu wykorzystywana jest w zbyt małym stopniu. Wynika to bezspornie z jego oddalenia od centrum stolicy, które wyróżnia się o każdej porze dnia maksymalnym natężeniem ruchu wśród wszystkich innych dzielnic Warszawy.

## PARKOWANIE

Bardzo istotnym problemem organizacji ruchu kołowego w miastach jest utworzenie odpowiedniej liczby parkingów. Racjonalne ich zaplanowanie wymaga m. in. właściwej organizacji i określenia stosownej do potrzeb pojemności. Zagadnienie to nabiera szczególnego znaczenia z uwagi na ciągły wzrost liczby pojazdów na ulicach Warszawy. Proces planowania parkingów, zdaniem autorów, winien być poprzedzony rekonesansem fotologicznym, pozwalającym w stosunkowo krótkim czasie zinventaryzować stan parkowania w mieście. Zdjęcia lotnicze umożliwiają



Ryc. 12. Wykres wykorzystania miejsc parkowania w Alejach Jerozolimskich i na ul. Marszałkowskiej

Diagram of parking place utilization in the Aleje Jerozolimskie and the Marszałkowska Street

$n$  — number of vehicles,  $l$  — length of artery. Black graph — number of vehicles parked, white graph — number of vehicles possible for parking

identyfikację pojazdów parkujących głównie dzięki kryterium bezruchu. Przy założeniu 80% pokrycia podłużnego na zdjęciach lotniczych można stwierdzić bezruch pojazdów w ciągu 25–30 sek., tymczasem w świetle przepisów ruchu „przez parkowanie należy rozumieć zatrzymanie pojazdu na czas dłuższy aniżeli 5 min” Stąd też o uznaniu pojazdu za parkujący przesądza kryterium miejsca postoju w momencie fotografowania.

W celu przeprowadzenia liczbowej charakterystyki parkowania autorzy proponują wyznaczenie wskaźnika parkowania  $P$  wg wzoru:

$$P = \frac{n}{N} \cdot 100\%,$$

gdzie:  $P$  — wskaźnik parkowania,

$n$  — liczba pojazdów parkujących na badanym odcinku ulicy,

$N$  — maksymalna liczba pojazdów możliwych do zaparkowania.

Wskaźnik ten umożliwia ocenę stopnia wykorzystania miejsc przeznaczonych do parkowania, a jednocześnie informuje o potrzebie lokalizacji miejsc postoju.

Ryc. 12 jest próbą graficznego zilustrowania stopnia wykorzystania miejsc parkowania w Alejach Jerozolimskich i na ul. Marszałkowskiej.

Zdjęcia lotnicze umożliwiają również określenie stosunku pojazdów będących w ruchu do pojazdów parkujących. Stosunek ten oznaczono literą  $R$ .

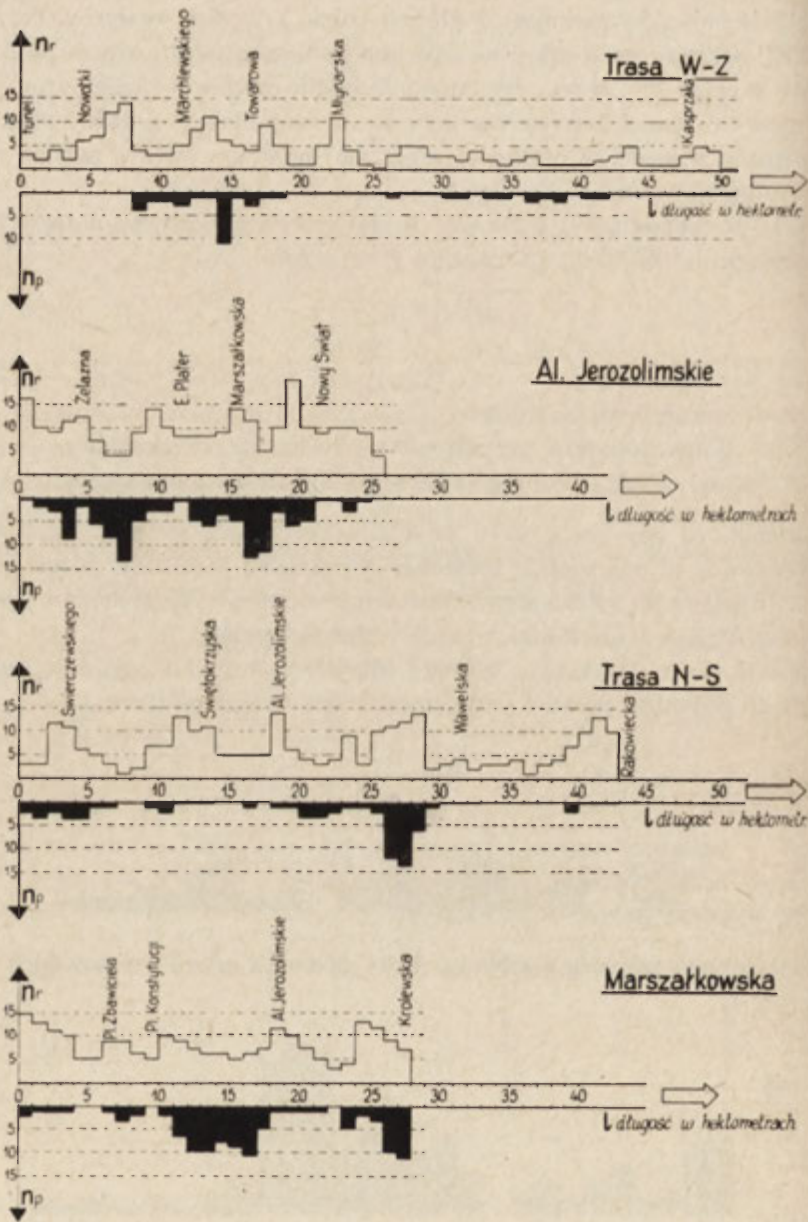
$$R = \frac{n_r}{n_p},$$

gdzie:  $R$  — wskaźnik stosunku pojazdów poruszających się do parkujących,

$n_r$  — liczba pojazdów poruszających się,

$n_p$  — liczba pojazdów parkujących.

Średni dobowy przebieg wskaźnika  $R$  dla głównych arterii warszawskich przedstawia ryc. 13.



Ryc. 13. Średni dobowy przebieg wskaźnika  $R$  dla głównych arterii Warszawy  
 $n_p$  — ilość pojazdów na postoju,  $n_r$  — ilość pojazdów w ruchu

Average day and night's course of  $R$  index for the main arteries of Warsaw  
 $n_p$  — number of vehicles parked,  $n_r$  — number of vehicles on the move,  $l$  — length of artery



## ANALIZA DOKŁADNOŚCI METODY

Przytoczone w poprzednich rozdziałach wyniki pomiarów poszczególnych parametrów ruchu na wybranych arteriach stolicy obarczone są pewnymi błędami. Ich źródłem są niedokładności zastosowanej metody, użyte przyrządy pomiarowe, pomyłki obserwatorów oraz działanie innych czynników, często trudnych do uchwycenia. Podczas opracowywania wyników pomiaru powstaje więc problem, w jakim stopniu otrzymane wyniki zbliżone są do wartości rzeczywistych, jaka jest matematyczna charakterystyka ich dokładności? Trzeba zdawać sobie również sprawę z faktu, że obliczenia wykonane w oparciu o przybliżone wyniki pomiarów nie mogą mieć większej dokładności, niż pozwala na to dokładność otrzymanych danych. Konieczne jest więc ustalenie, w jaki sposób błąd pomiarów dokonanych na zdjęciach przenosi się na wynik obliczeń. Odpowiedź na to pytanie ułatwiają powszechnie stosowane metody analizy matematycznej, gdzie zmiana jakiegoś wyrażenia wywołana zmianą danych jest określona różniczką zupełną funkcji przedstawiającej to wyrażenie. Przez analogię, dla oszacowania błędu wyniku obliczeń można więc przyjąć różniczkę zupełną, w której zmiany zmiennych (przyrosty) równe są błędom danych. Fakt, że błędy mogą mieć różny znak, uwzględniono w ten sposób, że pochodne w różniczce zastąpiono przez ich wartości bezwzględne. A zatem błąd wyrażenia:

$$p = f(x, y, z \dots)$$

kształtujący się zależnie od błędów wyników pomiarów  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  można wyrazić w sposób następujący:

$$\Delta p = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \Delta x + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \Delta y + \left| \frac{\partial f}{\partial z} \right| \Delta z + \dots$$

W niniejszym opracowaniu największy wpływ na dokładność wyznaczenia parametrów ruchu kołowego miały takie czynniki, jak: jakość fotograficzna zdjęć lotniczych oraz precyzja prowadzonych pomiarów fotogrametrycznych. Wśród źródeł błędów wymienić należy również proces identyfikacji pojazdów. Jak wykazały praktyczne doświadczenia przy identyfikacji około 8500 pojazdów przez dwóch fotointerpretatorów, przypadki niezgodnego rozpoznania (niepewnego lub błędnego) dotyczyły zaledwie 2% ogólnej liczby pojazdów. Należy zaznaczyć, że te błędy są bardzo łatwe do wykrycia i wyeliminowania w przypadku, gdy identyfikacja jest

prowadzona przez dwóch obserwatorów, lub też gdy wykorzystuje się powiększenia zdjęć lotniczych. Identyfikację pojazdów ułatwia nieco odmienny obraz fotograficzny wywołany fototonem pojazdów, kontur pojazdu oraz jego wielkość. Niekiedy dodatkową cechą rozpoznawczą jest stała prędkość pojazdu (równe odcinki przebytej drogi). Natomiast cienie budynków, rozległe korony drzew oraz zmienne prędkości tych samych samochodów utrudniają proces identyfikacji.

Zidentyfikowany na zdjęciu pojazd nakłuty jest w geometrycznym środku obrazu z dokładnością  $m_i$  równą  $\pm 0,1-0,2$  mm (średni błąd identyfikacji). Podana wartość  $m_i$  dotyczy zdjęć lotniczych wykonanych w skali 1 : 10 000—1 : 5 000. Aby wyznaczyć drogę przebytą przez pojazd w czasie pomiędzy kolejnymi ekspozycjami, konieczna jest identyfikacja tego samego pojazdu na dwóch kolejnych zdjęciach, a więc wpływ średniego błędu identyfikacji na wyznaczoną wielkość wzrośnie i wynosi

$$m_{ii} = m_i \sqrt{2},$$

gdzie:  $m_{ii}$  — średni błąd spowodowany dwukrotną identyfikacją pojazdu na dwóch kolejnych zdjęciach.

Na zdjęciach wykonanych w skali 1 : 10 000 średni błąd identyfikacji pojazdów osiąga wartość  $\pm 0,14$  mm.

W praktyce do wyznaczania wielkości drogi przebytej przez pojazd często postęgowano się kalką, którą wpasowywano w kolejne zdjęcia dobierając w tym celu identyczne nieruchome punkty (zwykle wyraźne, jednoznaczne kontury leżące w płaszczyźnie jezdni). Przy tej czynności należy się liczyć z błędem  $m_w = \pm 0,15$  mm (średni błąd jednokrotnego wpasowania kalki). Wpasowanie kalki na dwóch kolejnych zdjęciach pociąga za sobą błąd średni  $m_{ww} = \pm 0,15-2$  mm.

Kolejną czynnością jest przeniesienie środka geometrycznego pojazdu na przezroczystą folię. Ta czynność obciążona średnim błędem ( $m_p$ ) rzędu  $\pm 0,1$  mm jest również powtarzana dwukrotnie. W rezultacie dokładność wyznaczenia drogi przebytej przez pojazd w określonym interwale czasu charakteryzuje się błędem średnim:

$$m_s = \pm \sqrt{2(m_i^2 + m_w^2 + m_p^2)},$$

który w niniejszym opracowaniu wyniósł  $\pm 0,3$  mm.

Powyższy wzór można interpretować również jako średni błąd wyznaczenia modułu wektora prędkości przy założeniu, że interwały czasu między ekspozycjami w rozpatrywanej serii zdjęć są wielkościami stałymi. W praktyce prędkości pojazdów wyznaczone są na podstawie kilku kolejnych zdjęć. Wówczas średni błąd sumy wektorów prędkości można wyrazić zależnością:

$$M_s = \pm m_s \sqrt{n},$$

gdzie:  $n$  — liczba wektorów składowych. W przypadku obliczeń dokonywanych na 4 zdjęciach wielkość błędu  $M_s = \pm 0,6$  mm.

W dotychczasowych rozważaniach nie uwzględniono wpływu deformacji papieru fotograficznego, jak również niejednorodności skali zdjęć na dokładność wyznaczonych parametrów. Jak wykazały jednak obliczenia teoretyczne, wspomniane błędy, z uwagi na niewielkie odległości mierzone na zdjęciach, nie mają praktycznego znaczenia.

Wykreślone na zdjęciu odcinki drogi przebytej przez pojazd mogą posłużyć do wyznaczenia średnich prędkości za pomocą omówionego diagramu. Błąd średni konstrukcji diagramu  $m_k = \pm 0,1$  mm, średni błąd wpasowania diagramu w środek geometryczny obrazu pojazdu  $m_u = \pm 0,1$  mm. Podobnie błąd odczytania wielkości odcinka przebytej drogi ( $m_o$ ) nie przekracza wielkości  $\pm 0,1$  mm. A więc wyznaczenie średniej prędkości pojazdu jako funkcji przebytej przez niego drogi, interwału czasu między kolejnymi ekspozycjami oraz skali zdjęcia z zastosowaniem diagramu obarczone jest średnim błędem:

$$m_d = \pm \sqrt{m_k^2 + m_u^2 + m_o^2}$$

Wielkość tego błędu w niniejszej pracy wyniosła  $\pm 0,17$  mm.

Biorąc pod uwagę wspomniane źródła błędów należy przypuszczać, że dokładność ostatecznego wyznaczenia prędkości pojazdu na dowolnym elementarnym odcinku drogi będzie się kształtowała następująco:

$$m_v = \pm \sqrt{m_s^2 + m_d^2}$$

Błąd ten wyniósł  $\pm 0,34 - 0,4$  mm, co odpowiada wartości  $\pm 1$  km/godz.

Ponieważ w praktyce średnie prędkości pojazdów są wyznaczane na podstawie kilku (3–5) wektorów, stąd średni błąd pomiaru średniej prędkości wyraża się wzorem:

$$m_{v_{sr}} = \pm \frac{m}{\sqrt{n_1}}$$

gdzie:  $n_1$  — liczba wektorów wzięta do obliczeń.

W niniejszej pracy najczęściej wyznaczano średnie prędkości biorąc za podstawę znajomość 4 wektorów prędkości ( $n = 4$ ), stąd też dokładność wyznaczenia średniej prędkości pojazdu nie przekroczyła wielkości  $\pm 0,5$  km/godz.

Osiągnięty wskaźnik dokładności pozwala uznać opisaną metodę badania prędkości pojazdów jako wystarczająco dokładną. Należy zaznaczyć, że średni błąd wyznaczenia średniej prędkości pojazdów na rozpatrywanej arterii maleje, zależnie od liczby rozpatrywanych pojazdów, zgodnie ze wzorem:

$$M_{v_{sr}} = \pm \frac{m_{v_{sr}}}{\sqrt{n}}$$

gdzie:  $n$  — liczba rozpatrywanych pojazdów na arterii.

Dokładność wyznaczenia przyspieszenia jest funkcją średniego błędu wyznaczenia prędkości i wyniosła  $\pm 0,03$  m/sek<sup>2</sup>.

Przedstawione powyżej wielkości błędów przy pomiarach poszczególnych parametrów charakteryzujących ruch kołowy pozwalają na stwierdzenie, że prezentowana metoda badawcza jest bardzo dokładna i nie wymaga stosowania precyzyjnych i drogich instrumentów fotogrametrycznych.

## WNIOSKI

Zadaniem, które autorzy postawili sobie w niniejszym opracowaniu, było wskazanie możliwości i korzyści wynikających z zastosowania zdjęć lotniczych do badań zjawisk szybko zmieniających się w czasie i przestrzeni. Praca ma więc charakter metodyczny i nie daje pełnej analizy całokształtu zjawisk charakteryzujących w kompleksowy sposób ruch kołowy na głównych arteriach Warszawy. Badania poszczególnych parametrów ruchu pojazdów odniesiono do konkretnych sytuacji, które w momencie fotografowania panują na badanych ulicach. Przedstawione wyżej wyniki pomiarów i obliczeń są wartościami autentycznymi, ale charakteryzują sytuację tylko w określonej chwili, nie mogą więc być uogólniane. Pojedynczy nalot, a nawet dwa lub trzy naloty wykonane w ciągu tylko jednego dnia mogą niekiedy doprowadzić do zupełnie mylnych wniosków, które wynikają jedynie ze zbyt małej liczby prób statystycznych i prowadzą w rezultacie do błędnego uogólnienia. Niemniej wykazano, że badania zjawiska ruchu przy pomocy zdjęć lotniczych, rejestrujących w sposób statyczny obraz sytuacji na jezdni, są możliwe i przy zwiększeniu liczby obserwacji mogą doprowadzić do poprawnego wniosku.

Otrzymane wyniki, jak również stosunkowo wysoka dokładność pomiarów pozwalają na stwierdzenie, że interpretacja zdjęć jest metodą, która nadaje się do badań ruchu kołowego, a także umożliwia jednoczesne uchwycenie dużej liczby jego elementów. Wielu z nich nie można przeanalizować drogą jakichkolwiek innych metod badawczych. Kompleksowa analiza ruchu na arterii wymaga tylko zwiększenia liczby nalogów, gdyż dopiero wówczas, poprzez uogólnienie wyników otrzymanych dla różnych, ale konkretnych sytuacji, będzie można dać pełną charakterystykę ruchu na danej arterii.

Oprócz stwierdzenia pełnej przydatności interpretacji zdjęć lotniczych do badań ruchu, wskazania na wzrost możliwości analizy wybranych parametrów ruchu w stosunku do metod tradycyjnych należy również podkreślić ekonomikę tej metody. Jedna godzina lotu kosztuje około 20 000 zł, przy czym lot np. nad ul. Marszałkowską trwa niepełne dwie minuty. Koszt wykonania odbitek zdjęć jest również niewielki. Metoda ta nie jest więc zbyt kosztowna, przeto zasługuje na jak najszybsze zastosowanie w praktyce.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Burger A. A. J., 1957. Photographies aériennes et aménagement du territoire. Paris.
- [2] Dubuisson B. L. Y., Burger A. A. J., 1959/60. Étude de la circulation par interprétation des photographies aériennes. Photogrammetria, vol. 16, nr 4.
- [3] Gospodinow G. W., 1964. Odczytywanie zdjęć lotniczych. Warszawa.

## АНАЛИЗ УЛИЧНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АЭРОСНИМКОВ

### Резюме

В статье представлены результаты исследования аэроснимков с целью определения параметров движения колесного транспорта на пяти главных артериях Варшавы.

В первой части работы обсуждены условия, каким должны соответствовать аэроснимки предназначенные к анализу уличного движения — главным образом масштаб снимков, степень продольного перекрытия и интервал времени между очередными экспозициями. Конкретные исследования произведены с использованием аэроснимков масштаба 1 : 10000 увеличенных к масштабу 1 : 2000. Снимки сделаны при продольном перекрытии на 80%, с интервалом — 5 секунд.

В свою очередь представлены вопросы дешифрирования отдельных средств колесного транспорта и определения средних скоростей с помощью специально построенной диаграммы. Величины средних скоростей использованы авторами к вычислению ряда произвольных параметров колесного движения. Это касается между прочим зависимости между скоростью и количеством средств находящихся на улице, распределения средних скоростей средств движения, распределения их ускорения и т. д.

В статье излагаются параметры характеризующие плавность, напряжение движения и его перебои, а также причины оказывающие влияние на величину этих параметров. Отмечается, что для определения плавности движения необходимо увеличить количество аэрофотосъемочных полетов потому, что результаты обработки одной, двух и даже трех серии аэроснимков полученных во время одного дня могут содержать некоторую степень случайности.

В очередной главе авторы обсуждают проблему автомобильных стоянок, обращая внимание на исключительную роль аэроснимков в исследовании этого вопроса.

В заключении приводится анализ точности величин параметров колесного движения определенных вследствие соответствующих измерений и интерпретаций аэроснимков. Установлено, что дешифрирование средств движения осуществлено правильно в 98%, определение средних скоростей средств движения составляющих исходный элемент для дальнейших вычислений исполнено со средней ошибкой  $\pm 0,5$  км/час, что позволяет признать этот метод достаточно точным.

*Перевел Роман Козеркевич*

## TRAFFIC STUDY ON THE BASIS OF AERIAL PHOTOS

### Summary

The authors, on the basis of properly accomplished aerial photos, made a thorough analysis of individual parameters characterizing the city traffic on the five main arteries of Warsaw.

First part of the paper discusses conditions to be satisfied by aerial photos in analyzing the city traffic. It refers to the scale of photos, degree of longitudinal overlapping, time interval between consecutive exposures as well as manner of chemical processing of the negatives and positives. In the present paper there were utilized photos in the scale 1 : 10 000 as well as their enlargement up to 1 : 2 000. These photos were done with 80% longitudinal overlapping every 5 second.

Next, the problem of identification of particular vehicles on the successive photos has been dealt with as well as defining of average speeds of vehicles. To this end the special graphs were constructed. The average speed of vehicles helped the authors to range out several derivative parameters characterizing the city traffic. This concerns, among other, relationship between the speed of vehicles and their number in the streets, distribution of the average speeds of vehicles, their speeding-up, etc. In the part next of the paper parameters describing the traffic fluency and its disturbances as well as factors influencing the size of the traffic parameters have been discussed. Attention is given to the fact that while defining the traffic fluency, it is necessary to increase the number of air flights because results obtained from one, two or even three flights within one day would contain a significant percentage of randomness.

In the successive chapters the authors present the question of vehicle parking, pointing out the unique role of aerial photos as far as investigation of this phenomenon is concerned.

In the final part of the paper one can find investigation accuracy analysis of results pertaining to different city traffic parameters obtained from the aerial photos. It has been noted that identification of the vehicles was carried out with accuracy of 98% and the measurement of the average speeds of vehicles, constituting the starting element for further calculations, produces an error not exceeding  $\pm 0,5$  kms/h, what allows to recognize this method as sufficiently precise.

*Translated by Roman Kozierkiewicz*



PRACE GEOGRAFICZNE IG PAN

51. Kostrowicki A. S., Regionalizacja zoogeograficzna Palearktyki w oparciu o faunę motyli tzw. większych (*Macrolepidoptera*). 1965, s. 100+21 ilustr., zł. 30,—
52. Gerlach T., Współczesny rozwój stoków w dorzeczu górnego Grajcarka (Beskid Wysoki — Karpaty Zachodnie). 1966, s. 111+20 ilustr., zł. 33,—
53. Klimek K., Deglacjacja północnej części Wyżyny Śląsko-Krakowskiej w okresie zlodowacenia środkowopolskiego. 1966, s. 136+26 ilustr., zł. 32,—
54. Kosmowska-Suffczyńska D., Rozwój rzeźby w trzeciorzędzie okolic Ostrowca Świętokrzyskiego i Ćmielowa. 1966, s. 114 + 22 ilustr. + 7 fot. + 2 mapy, zł. 33,—
55. Ziemońska Z., Obieg wody w obszarze górskim na przykładzie górnej części dorzecza Czarnego Dunajca. 1966, s. 111 + 16 ilustr. + 2 wkładki, zł. 34,—
56. Ratajski L., Mapy przemysłu, ich właściwości metodyczne i kartometryczne. 1966, s. 155 + 22 ilustr., zł. 28,—
57. Więckowski K., Osady dennie Jeziora Mikołajskiego. 1966, s. 112 + 12 ilustr. + 7 fot., zł. 24,—
58. Szostak M., Pochodzenie Jeziora Śniardwy i jego zasoby wodne. 1967, s. 70 + 11 ilustr., zł. 20,—
59. Rościszewski M., Siemek Z., Rolnictwo krajów słabo rozwiniętych (Egipt, Syria, Turcja). 1967, s. 109 + 9 ilustr., zł. 24,—
60. Ziętara T., Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby Beskidów. 1968, s. 116 + 12 ilustr. + 11 fot., zł. 33,—
61. Urbaniak U., Wydmy Kotliny Płockiej. 1967, s. 79 + 43 ilustr. + 8 fot., zł. 21,—
62. Jewtuchowicz S., Geneza Pradoliny Warszawsko-berlińskiej między Nerem a Moszczenicą. 1967, s. 102 + 42 ilustr. + 19 fot., zł. 30,—
63. Dziewoński K., Baza ekonomiczna i struktura funkcjonalna miast. Studium rozwoju pojęć, metod i ich zastosowań. 1967, s. 135, zł. 32,—
64. Rychłowski B., Regionalizacja ekonomiczna — zagadnienia podstawowe. 1967, s. 139, zł. 33,—
65. Bączek J., Masy wodne południowego Bałtyku i wpływ ich ruchów na polską strefę przybrzeżną. 1968, s. 120 + 32 ilustr., zł. 31,—
66. Szulc H., Typy wsi Śląska Opolskiego na początku XIX wieku i ich geneza. 1968, s. 105 + 14 ilustr. + 2 wkładki, zł. 30,—
67. Szewczyk J., Włóka. Pojęcie i termin na tle innych średniowiecznych jednostek pomiaru ziemi. 1968, s. 113 + 6 ilustr., zł. 30,—
68. Wojciechowski K., Zagadnienie metody bilansu wodnego Thornthwaite'a i Mathera w zastosowaniu do Polski. 1968, s. 79 + 23 ilustr., zł. 18,—
69. Praca zbiorowa. Problemy regionalizacji fizycznogeograficznej. Materiały z sympozjum zorganizowanego przez PTG w dniach 16—24 września 1966. 1968, s. 114 + 4 ilustr. + 1 wkładka, zł. 28,—
70. Pulina M., Zjawiska krasowe we wschodniej Syberii. 1968, s. 94 + 34 ilustr. + 4 fot., zł. 19,—
71. Szupryczyński J., Niektóre zagadnienia czwartorzędu na obszarze Spitsbergenu. 1968, s. 127 + 15 ilustr. + 35 fot. + 1 wkładka, zł. 34,—
72. Kosiński L., Migracje ludności w Polsce w latach 1950—1960. 1968, s. 106 + 41 ilustr., zł. 28,—
73. Korolec H., Procesy brzegowe i zmiany linii brzegowej Jeziora Mikołajskiego. 1968, s. 67 + 16 ilustr. + 6 fot. + 1 wkładka, zł. 24,—
74. Praca zbiorowa. Ostatnie zlodowacenie skandynawskie w Polsce. 1968, s. 216 + 12 ilustr. + 11 fot., zł. 67,—
75. Praca zbiorowa. Procesy i formy wydmy w Polsce. Zbiór prac pod redakcją R. Galona. 1969, s. 386 + 69 ilustr. + 68 fot., zł. 98,—

76. Iwanicka-Lyra E., Delimitacja aglomeracji wielkomiejskich w Polsce. 1969, s. 117 + 12 ilustr. z1 28,—
77. Praca zbiorowa. Z zagadnień ludnościowych krajów gospodarczo słabo rozwiniętych. 1969, s. 146 + 6 ilustr., z1 32,—
78. Korcelli P., Rozwój struktury przestrzennej obszarów metropolitalnych Kalifornii. 1969, s. 124 + 34 ilustr., z1 28,—
79. Koter M., Geneza układu przestrzennego Łodzi przemysłowej. 1969, s. 130 + 13 ilustr. + 2 wkładki, z1 34,—
80. Kaszowski L., Kotarba A., Wpływ katastrofalnych wezbrań na przebieg procesów fluwialnych (na przykładzie potoku Kobylanka na Wyżynie Krakowskiej)  
Nowak W. A., Rzeźba podzwartorzędowa i ewolucja układu sieci dolinnej w północno-środkowej części Wyżyny Małopolskiej. 1970, s. 124 + 77 ilustr. + 1 załącznik kol. + 12 fot., z1 30,—
81. Stola W., Próba typologii rolnictwa Poniżnia. 1970, s. 146 + 30 ilustr. + 9 tab., z1 39,—
82. Praca zbiorowa. Studia z geografii średnich miast w Polsce. Problematyka Tarnowa (w druku)
83. Wiśniewski E., Struktura i tekstura sandru ostródzkiego oraz teras doliny górnej Drwęcy. 1971, s. 95 + 33 ilustr., z1 24,—
84. Skoczek J., Wpływ podłoża atmosfery na przebieg dobowy bilansu cieplnego powierzchni czynnej. 1970, s. 96 + 49 ilustr. + 10 fot., z1 21,—
85. Jewtuchowicz S., Rozwój rzeźby okolic Łęczycy po zlodowaczeniu środkowopolskim. 1970, s. 78 + 26 ilustr. + 5 fot., z1 18,—
86. Olechnowicz-Bobrowska B., Częstość dni z opadem w Polsce. 1970, s. 75 + 26 ilustr., z1 18,—
87. Baza ekonomiczna i struktura funkcjonalna miast. Dziewoński K., Studium rozwoju pojęć, metod i ich zastosowań. Jerczyński M., Metody pośrednie identyfikacji i pomiaru. 1971, s. 182 + 2 ilustr., z1 44,—
88. Rościszewski M., Kierunki ewolucji rolnictwa w krajach Maghrebu. 1970, s. 127 + 8 ilustr., z1 30,—
89. Adrjanowska E., Przestrzenne powiązania produkcyjne stoczni gdańskich. 1971, s. 105 + 16 ilustr., z1 22,—
90. Różycka W., Metody oceny warunków fizjologicznych dla potrzeb planowania przestrzennego miast. 1971, s. 203 + 16 ilustr., z1 40,—

#### Varia

Centralny katalog zbiorów kartograficznych w Polsce.

- Zeszyt 1. Katalog atlasów i dzieł geograficznych 1482—1800. 1961, s. 248, z1 72,—
- Zeszyt 2. (uzupełniający) Katalog atlasów i dzieł geograficznych 1482—1800. 1963, s. 124, z1 28,—
- Zeszyt 3. Katalog atlasów 1801—1919. 1965, s. 343, z1 76,—
- Zeszyt 4. Katalog atlasów 1920—1945. 1968, s. 160, z1 48,—

## WAŻNIEJSZE DOSTRZEŻONE BŁĘDY DRUKU

Strona	Wiersz	Jest	Powinno być
25	3 od góry	Ectachrome IR	Ektachrome IR
76	7 „	fotologicznym	fotolotniczym
80	16 od dołu	$m_{ww} = \pm 0,15 - 2\text{mm}$	$m_{ww} = +0,15 - 0,20\text{mm}$
81	11 „	$m_{v\acute{s}r} = \pm \frac{m}{\sqrt{n_1}}$	$m_{v\acute{s}r} = \pm \frac{m_v}{\sqrt{n_1}}$

Wykorzystanie zdjęć lotniczych...

<http://rcin.org.pl>



**Cena zł 15.—**