

## **PRÓBA USTALENIA ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY DOKŁADNOŚCIĄ MONOKULARNEJ IDENTYFIKACJI LINIOWYCH SZCZEGÓŁÓW ZDJĘCIA LOTNICZEGO A WIELKOŚCIĄ JEGO POWIĘKSZENIA**

Obecnie produkowany sprzęt fotogrametryczny i materiały fotograficzne charakteryzują się wysokimi parametrami technicznymi, umożliwiającymi uzyskanie zdjęć o dobrej jakości fotograficznej i geometrycznej. Coraz pełniejsze wykorzystanie wysokich walorów zdjęć lotniczych jest możliwe dzięki skonstruowaniu odpowiednich przyrządów do ich interpretacji i pomiarów. Precyzyjne stereo- lub monokomparatory zapewniają dokładność pomiaru rzędu 1 mikrometra. Jednak w praktyce tak wysoka dokładność jest nieosiągalna między innymi ze względu na błędy w identyfikacji szczegółów podlegających pomiarowi.

Wielkość błędów identyfikacji zależy od bardzo wielu czynników, z których szczególne znaczenie mają parametry limitujące jakość fotograficzną obrazu. Do podstawowych wskaźników jakości fotograficznej można zaliczyć: fotograficzną zdolność rozdzielczą, ostrość (wizualną i konturową — akutancję), klarowność, kontrast oraz kontrast brzegowy i graniczny, a także bardziej uniwersalne wskaźniki, jakimi są częstotliwościowo-kontrastowe charakterystyki i funkcje przekazu.

Jakość fotograficzna zdjęć powiększonych zależy między innymi od wielkości powiększenia.

Celem przeprowadzonego badania było ustalenie wielkości błędów identyfikacji w zależności od pogarszającej się jakości fotograficznej, powodowanej tylko wzrostem powiększenia. Ustalenie wspomnianej zależności jest istotne, gdyż w praktyce negatyw zdjęcia zwykle ulega przetworzeniu przy wielokrotnym powiększeniu (sporządzanie powiększeń, fotomap, ortofotomap, materiałów do fotointerpretacji). Należy zauważyć, że powiększenie obrazu oryginalnego zdjęcia często umożliwia podniesienia jego technicznych, a szczególnie technologicznych i eko-

\* Dr inż. Tadeusz Wrona, Akademia Rolnicza, Instytut Geodezji, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

onomicznych walorów. W miarę postępu technicznego i technologicznego następuje coraz częstsze stosowanie powiększeń oryginałów zdjęć zarówno w opracowaniach fotogrametrycznych, jak i fotointerpretacyjnych. Tak więc próba określenia zależności pomiędzy dokładnością identyfikacji a wielkością powiększenia fotogramu ma znaczenie nie tylko teoretyczne, ale głównie praktyczne — użyteczne.

Ponieważ na tematycznych podkładach mapowych bardzo często szczególnie istotne są obiekty liniowe (granice działek i użytków, drogi, rowy itp.), to właśnie takie elementy poddano szczegółowej analizie. W tym celu wybrano fragment negatywu zdjęcia lotniczego w przybliżonej skali 1 : 12 000, zawierający teren rolny o działkach w formie wydłużonych prostokątów. Na negatywie tym jak najstaranniej nakłuto zbiór punktów rozmieszczonych w trzech szeregach pomiarowych. Punkty te, obejmując cały obszar, pozwoliły na prawidłowe ustawienie (w trakcie powiększania) płaszczyzn negatywu i ekranu oraz na ustalenie żądanego powiększenia, a ponadto stanowiły osnowę dla przeprowadzenia pomiarów. Z tak przygotowanego negatywu wykonano powiększenia na papierze normalnej gradacji, uprzednio naklejonym na szkło. Zakres powiększenia (2—20×) przekracza granice stosowane w fotogrametrii i fotointerpretacji; powiększenie 20× przyjęto jako graniczne, rzadko stosowane. Powiększalnikiem był duży projektor, którego obiektyw zamieniono na obiektyw fotograficzny „ostro rysujący” Tessar 4,5/180 z wbudowaną przysłoną.

Jakość fotograficzna tak wykonanych powiększeń była zadowalająca, zbliżona do jakości powiększeń wykonywanych w warunkach produkcyjnych. Na wszystkich powiększeniach (2, 3, 5, 7,5, 10, 15, 20×) wyraźnie odfotografowały się nakłute na negatywie punkty wyznaczające osie szeregów „pomiarowych”, a także leżące pomiędzy nimi szczegóły liniowe, będące obiektem identyfikacji.

Pomiary wykonano na precyzyjnym koordynatografie, prowadząc mikroskop odczytowy wzdłuż poszczególnych szeregów, wyznaczonych przez punkty nakłute. Odczytano wielkość  $x$  dla wszystkich identyfikowanych granic, a ponieważ osie szeregów starannie pokryto z osią  $x$  przyrzędu, to  $y$  przyjęto równym 0. Analogicznie wykonano pomiar dla każdego szeregu na wszystkich powiększeniach.

W celu ustalenia wielkości błędów zidentyfikowania odfotografowanych szczegółów liniowych obserwacje powtarzano wielokrotnie. Liczbę obserwacji ustalono w stosunku odwrotnym do powiększenia, uzasadniając taki dobór powtórzeń różnym stopniem trudności identyfikowania, jednocześnie dążąc tym samym do ograniczenia wpływu na dokładność identyfikacji błędów pomiaru. Przyjmując, że wielkości błędów identyfikacji — dzięki jednakowej jakości fotograficznej na danym powiększeniu — będą niemal jednakowe (co potwierdziło przeprowa-

dzone badanie), błąd identyfikacji obliczono jako średnią z sumy średnich błędów pozornych każdego z analizowanych szczegółów:

$$m_x = \frac{\left[ \sqrt{\frac{VV}{l}} \right]}{n}, \quad (1)$$

gdzie:

- $l$  — liczba obserwacji na danym szczególe,
- $n$  — liczba szczegółów w szeregu.

Obliczone wartości błędów zestawiono zbiorczo w tab. 1. Wynika z niej, że błędy monokularnej identyfikacji  $m_x$ , wyrażone w skali obrazu, wzrastają w miarę powiększenia zdjęcia. Jednak ich rzeczywista wartość, wyrażona w metrach, dla większych powiększeń jest mniejsza. Należy podkreślić, że pomimo niewielkich wartości  $m_x$  błędy na poszczególnych powiększeniach wykazywały dosyć znaczne wahania, prawdopodobnie spowodowane charakterem obrazu fotograficznego identyfikowanego szczegółu i najbliższego otoczenia. Otrzymane wyniki, tj. błędy pozorne, wydają się być bardzo zaniżone. Można to tłumaczyć badawczym charakterem pracy, a także sposobem przeprowadzenia pomiarów — wielokrotne obserwacje z małym odstępem czasowym zapewne nie pozwoliły uniknąć zapamiętywania elementów fotogramu, miejsca nastawienia znacznika, a nawet samego odczytu. Celem sprawdzenia otrzymanych wyników (tab. 1) i zbadania możliwości wyznaczenia błędów identyfikacji innym sposobem, przeprowadzono ponowne badanie na tym

Tabela 1

Table 1

**Wartości błędów identyfikacji, wartości w skali obrazu i rzeczywiste**  
**Values of the identification errors, values in the image scale and in the real scale**

| Powiększenie<br>(Enlargement) | $m_x$ [mm]     |        |        | $m_x$ średnie<br>(average)<br>[mm] | Rzeczywista wielkość $m_x$<br>(Real value $m_x$ ) [m] | Współczynnik powiększenia<br>(Coefficient of enlargement) |
|-------------------------------|----------------|--------|--------|------------------------------------|---|---|
|                               | szeregi (rows) |        |        |                                    |   |   |
|                               | I              | II     | III    |                                    |   |   |
| 2                             | 0,0102         | 0,0101 | 0,0098 | 0,0100                             | 0,060   | 1,963   |
| 3                             | 0,0126         | 0,0128 | 0,0123 | 0,0126                             | 0,050   | 2,993   |
| 5                             | 0,0135         | 0,0140 | 0,0141 | 0,0139                             | 0,033   | 5,006   |
| 7,5                           | 0,0158         | 0,0163 | 0,0165 | 0,0162                             | 0,026   | 7,492   |
| 10                            | 0,0210         | 0,0238 | 0,0213 | 0,0220                             | 0,025   | 9,982   |
| 15                            | 0,0304         | 0,0293 | 0,0289 | 0,0295                             | 0,024   | 14,971  |
| 20                            | 0,0587         | 0,0515 | 0,0548 | 0,0550                             | 0,033   | 19,948  |

samym fragmencie negatywu. Traktując negatyw jako oryginał zdjęcia o powiększeniu  $1\times$ , szczególnie starannie i dokładnie pomierzono na nim odcinki pomiędzy nakłutymi punktami w różnych kombinacjach. Te same odcinki pomierzono na wszystkich powiększeniach, powtarzając obserwacje co najmniej 8-krotnie. Pomierzone punkty, starannie nakłute na negatywie, odfotografowały się wyraźnie na powiększeniach.

Na podstawie porównania odpowiednich odcinków z negatywu i kolejnych powiększeń ustalono liniowy współczynnik powiększenia (tab. 2), a także sprawdzono, czy nie wystąpiły inne błędy, np. dystorsja obiektywu lub lokalna deformacja papieru fotograficznego. Jednocześnie na każdym z powiększeń wykonano odczyty  $x$  dla wszystkich analizowanych szczegółów, a z uzyskanych wartości średnich określono ich wzajemne odległości. Natomiast analogiczne odległości, pomierzone 12-krotnie na negatywie, przyjęto za bezbłędne. Te wielkości pomnożone przez odpowiedni współczynnik powiększenia porównano z odpowiadającymi im odległościami pomierzonymi bezpośrednio na powiększeniach. Wynikłe z tego zestawienia różnice ( $d$ ) pozwoliły obliczyć błędy identyfikacji według wzoru:

$$m_i = \sqrt{\frac{[d]}{2(n-1)}} \quad (2)$$

Tabela 2  
Table 2  
Wartości błędów identyfikacji w skali powiększenia, wyrażone w mm  
Values of the identification errors in the enlargement scale expressed in mm

| $k$ | $m_i$ [mm]     |        |        | $m_i$ średnie (average) [mm] |
|-----|----------------|--------|--------|------------------------------|
|     | szeregi (rows) |        |        |                              |
|     | I              | II     | III    |                              |
| 2   | 0,0312         | 0,0311 | 0,0308 | 0,0311                       |
| 3   | 0,0381         | 0,0444 | 0,0415 | 0,0413                       |
| 5   | 0,0566         | 0,0564 | 0,0564 | 0,0565                       |
| 7,5 | 0,0832         | 0,0928 | 0,0932 | 0,0897                       |
| 10  | 0,1043         | 0,1087 | 0,1052 | 0,1061                       |
| 15  | 0,1266         | 0,1490 | 0,1597 | 0,1451                       |
| 20  | 0,2116         | 0,2176 | 0,1983 | 0,2092                       |

Wielkości  $m_i$  zestawiono w tab. 2.

Chociaż do obliczenia błędów identyfikacji zamieszczonych w tab. 1 i 2 wykorzystano w zasadzie ten sam materiał obserwacyjny, to jednak wielkości podane w tab. 2 ponad trzykrotnie przekraczają wartości przytoczone w tab. 1. Warto dodać, że wartości błędów zestawione w tab. 2 są zbliżone do wielkości podawanych przez innych autorów i wydają się bardziej wiarygodne.

Na podstawie danych z tab. 2 ustalono zależności pomiędzy wartością błędów identyfikacji a wielkością

powiększenia, wyrażającą się empirycznymi wzorami:

$$m_l = c \cdot \sqrt{k}, \quad (3)$$

lub

$$m_l = c_2 \cdot k, \quad (4)$$

a także

$$m_l = c_1 + c_2 \cdot k, \quad (5)$$

w których  $k$  jest współczynnikiem powiększenia, zaś stałe  $c$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  jako zależne od warunków, w jakich przeprowadzono badania (jakość fotograficzna, dokładność sprzętu pomiarowego, ilość obserwacji i inne), wyznaczane są doświadczalnie. Dla omawianych warunków  $c$  przyjmują następujące wartości:

$$c = 0,024 - 0,025,$$

$$c_1 = 0,010,$$

$$c_2 = 0,010 \text{ do } 0,011.$$

Aby przynajmniej pobieżnie scharakteryzować ścisłość zależności  $m_l = f(k)$ , wyrażonej wzorami (3), (4), (5), zestawiono tabelę 3, w której podano błędy identyfikacji szczegółów liniowych uzyskane doświadczalnie oraz obliczone ze wzorów (3), (4), (5). Najmniejsze rozbieżności występują w przypadku wartości obliczonych ze wzorów (4) i (5), co potwierdza liniowy charakter zależności pomiędzy dokładnością monokularnej identyfikacji na powiększeniach a wielkością powiększenia. Zależność ta jest bardziej ścisła dla większych powiększeń. Liniowy charakter zależności  $m_l = f(k)$  potwierdza również stałość (w granicach dokładności doświadczenia) stosunku  $\frac{m_l}{k}$ . Wynosi on odpowiednio:

| $k$             | 2     | 3     | 5     | 7,5   | 10    | 15    | 20    |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\frac{m_l}{k}$ | 0,015 | 0,014 | 0,011 | 0,013 | 0,010 | 0,011 | 0,011 |

Znajomość zależności  $m_l = f(k)$  ma bardzo istotne, teoretyczne, ale i praktyczne znaczenie, ponieważ pozwala przy podanych warunkach technicznych zdjęć określić przewidywaną dokładność pomiaru na zdjęciu powiększonym (nie większą od  $2 m_l$ ), a tym samym umożliwia obliczenie dopuszczalnej wielkości powiększenia przy żądanej dokładności położenia szczegółów. Powiększenie można obliczyć jako:

$$k = \frac{m_p}{m_o}, \quad (6)$$

gdzie:

$m_p$  — błąd identyfikacji na powiększeniu,

$m_o$  — błąd identyfikacji na oryginale.

Ze wzoru (6) wynika, że wielkość współczynnika powiększenia przy stałej wartości  $m$  (żądaney dokładności) zależy tylko od  $m_0$ , czyli w głównej mierze od jakości fotograficznej, a zatem przy wymaganej dokładności pomiaru stosunek skali oryginalnego zdjęcia do skali opracowania jest wielkością zmienną, zwiększającą się w miarę poprawy szeroko rozumianej jakości zdjęć.

Tabela 3  
Table 3

**Dokładność aproksymacji wzorami (3), (4), (5)**  
**Approximation precision obtained with the formula (3), (4), (5)**

| k   | $m_i$ | Aproksymacja wzorem<br>(Approximation with formula)<br>$c \cdot \sqrt{k}$ |    |           |    | Aproksymacja wzorem<br>(Approximation with formula)<br>$c_2 \cdot k$ |    |             |    | Aproksymacja wzorem<br>(Approximation with formula)<br>$c_1 + c_2 \cdot k$ |    |                            |    |
|-----|-------|---|----|-----------|----|--|----|-------------|----|--|----|----------------------------|----|
|     |       | $c=0,024$   | %  | $c=0,025$ | %  | $c_2=0,01$   | %  | $c_2=0,011$ | %  | $c_1=0,01$<br>$c_2=0,01$   | %  | $c_1=0,010$<br>$c_2=0,011$ | %  |
| 2   | 0,031 | 0,034   | 10 | 0,035     | 13 | 0,020  | 35 | 0,022       | 29 | 0,030  | 3  | 0,032                      | 3  |
| 3   | 0,041 | 0,041   | 0  | 0,043     | 5  | 0,030  | 27 | 0,033       | 19 | 0,040  | 2  | 0,043                      | 4  |
| 5   | 0,056 | 0,054   | 4  | 0,059     | 5  | 0,050  | 11 | 0,055       | 2  | 0,060  | 7  | 0,065                      | 16 |
| 7,5 | 0,090 | 0,066   | 26 | 0,068     | 24 | 0,075  | 17 | 0,082       | 9  | 0,085  | 6  | 0,092                      | 2  |
| 10  | 0,106 | 0,076   | 28 | 0,079     | 25 | 0,100  | 6  | 0,110       | 4  | 0,110  | 4  | 0,120                      | 13 |
| 15  | 0,145 | 0,093   | 36 | 0,097     | 33 | 0,150  | 3  | 0,165       | 14 | 0,160  | 10 | 0,165                      | 14 |
| 20  | 0,209 | 0,107   | 49 | 0,112     | 46 | 0,200  | 4  | 0,220       | 5  | 0,210  | 1  | 0,230                      | 10 |

TADEUSZ WRONA

**AN ATTEMPT AT DETERMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN PRECISION OF THE MONOCULAR IDENTIFICATION OF AIR PHOTO LINEAR DETAILS AND THE SCALE OF ITS ENLARGEMENT**

Summary

The paper attempts to determine the scale of the errors in identification of the linear details in air photos enlargement, defining at the same time the relationship between the value of these errors and the enlargement scale.

It describes in short the conditions prevailing during an experiment, presenting characteristics of the material used, and during the measurements and calculations. The results are confronted in the tables, with additional explanations inserted in the text. The data obtained allowed to determine the relationship  $m = f(k)$  expressed by the simplified empirical formulae (3), (4), (5).

Next the precision of the obtained values of the identification errors is assessed (tables 3), and the importance of the phenomenon is shown.

TADEUSZ WRONA

**ESSAI D'ÉTABLISSEMENT D'UNE DÉPENDANCE ENTRE LA  
PRÉCISION DE L'IDENTIFICATION MONOCULAIRE DES DÉTAILS  
LINÉAIRES DE LA PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE ET LA GRANDEUR DE SON  
AGRANDISSEMENT**

R é s u m é

Dans cet article nous avons essayé d'établir la grandeur des erreurs d'identification des détails linéaires sur les agrandissements des photographies aériennes tout en établissant la dépendance entre les valeurs de ces erreurs et la grandeur de l'agrandissement.

Nous avons présenté brièvement les conditions de l'expérience en donnant une caractéristique des matériaux utilisés ainsi que des mesures et des calculs effectués. Nous avons réuni les résultats obtenus en des tables, les complétant par des explication dans le texte. Les données obtenues ont permis d'établir une dépendance  $m = f(k)$  que l'on a exprimée par les formules empiriques simplifiées (3), (4), (5).

Ensuite nous avons effectué une estimation sommaire des grandeurs obtenues des erreurs d'identification (table 3), et, pour terminer nous avons une fois encore attiré l'attention sur l'importance pratique du phénomène décrit.

*Traduit par Michał Michalak*