

Zdzisław Kurczyński

MODERNIZACJA EWIDENCJI GRUNTÓW I BUDYNKÓW NA TERENACH GDZIE FUNKCJONUJĄ MAPY EWIDENCYJNE W SKALI 1:2880 Z WYKORZYSTANIEM METOD FOTOGRAMETRII CYFROWEJ

Streszczenie: Referat prezentuje wyniki prac pilotowych podjętych na zlecenie GUGiK, dotyczących modernizacji ewidencji gruntów i budynków metodami fotogrametrycznymi.

1. Wstęp

Problem modernizacji ewidencji gruntów i budynków wysuwa się na czołowe zadanie służby geodezyjnej i kartograficznej na najbliższe lata. Modernizacja ewidencji gruntów i budynków obejmuje m.in.:

- zastąpienie tradycyjnych papierowych rejestrów gruntów odpowiednimi zbiorami komputerowymi,
- informatyzację części geometrycznej (kartograficznej) ewidencji gruntów,
- utworzenie komputerowych baz danych ewidencyjnych, łączących część opisową i geometryczną w spójny system, zdolny do wytwarzania raportów obsługujących użytkowników systemu.

Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa w sprawie ewidencji gruntów i budynków z dnia 29.03.2001 r nakłada obligację realizacji tych prac:

- dla obszarów miast w terminie do 31 grudnia 2005 r.,
- dla terenów wiejskich w terminie do 31 grudnia 2010 r.

W związku z akcesją Polski do UE waga tych zadań wzrosła, a tempo realizacji musi ulec znacznemu przyśpieszeniu w stosunku do wspomnianych terminów. O ile zastąpienie tradycyjnych rejestrów gruntów odpowiednimi zbiorami komputerowymi już nastąpiło, to w zakresie informatyzacji mapy ewidencyjnej sytuacja jest znacznie trudniejsza. W skali kraju tylko kilkanaście procent map ewidencyjnych prowadzonych jest w formie mapy numerycznej. W zakresie ewidencji budynków należy raczej mówić nie o procesie modernizacji, ale o zakładaniu takiej ewidencji.

Uzmysłowienie sobie ogromu prac, oraz bardzo ograniczony czas na realizację, daje obraz zadań. Powstaje naturalne pytanie: jakie przyjąć rozwiązania techniczne i organizacyjne dla sprostania tym wyzwaniom? Stan współczesnych technik pomiarowych, doświadczenia innych, a w coraz większym stopniu i doświadczenia krajowe, jednoznacznie wskazują na fotogrametrię, jako jedyną metodę pomiarową mogącą sprostać temu wyzwaniu w sensie technicznym, czasowym i ekonomicznym.

W drugiej połowie ubiegłego roku Departament Katastru i Nieruchomości GUGiK (obecnie: Departament do Spraw Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego) ogłosił przetarg na „Opracowanie technologii modernizacji ewidencji gruntów i budynków na terenach gdzie funkcjonują mapy ewidencyjne w skali 1:2880 z wykorzystaniem metod fotogrametrii cyfrowej”. W wyniku postępowania przetargowego zadanie to zostało zrealizowane przez:

1. Małopolską Grupę Geodezyjno-Projektową S.A., oraz
2. Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Informatyczne „COMPASS” S.A.

Do zespołu realizującego projekt zostali doproszeni konsultanci: prof. dr R. Kadaj, mgr inż. Stanisław Zaremba, oraz autor niniejszego referatu.

Referat prezentuje tylko wybrane elementy udziału fotogrametrii cyfrowej w proponowanej technologii modernizacji ewidencji gruntów. Nie obejmuje innych ważnych składowych tego procesu, a mianowicie analizy prawno-administracyjnej i procedur prawnych związanych z zakładaniem i modernizacją ewidencji.

2. Cel opracowania

Na terenach województwa małopolskiego występują obszary na których funkcjonują mapy ewidencji gruntów w skali 1:2 880 sporządzone na podstawie map z byłego katastru austriackiego. Sytuacja ta dotyczy około 25% powierzchni województwa małopolskiego.

Mapy te zostały sporządzone w latach sześćdziesiątych przez przerysowanie map katastralnych i częściową zmianę oznaczeń nieruchomości. Mapy te nie spełniają wymagań określonych w rozporządzeniu „w sprawie ewidencji gruntów i budynków” zarówno co do ich treści, kartometryczności, stopnia aktualności jak i sposobu prowadzenia części geometrycznej i opisowej ewidencji gruntów i budynków. Na istniejących mapach występuje dużo błędów takich jak rozbieżności pomiędzy stanem faktycznym na gruncie, przebiegiem granic działek ukazanych na mapie i stanem hipotecznym w księgach wieczystych. Na większości obszaru na mapach nie są przedstawione budynki, nawet dla terenów zurbanizowanych, mapa ewidencyjna prowadzona jest w skali 1:2 880, granice klasoużytków przedstawiane są często w sposób nieczytelny.

Jednocześnie dla tych obszarów w państwowym zasobie istnieje dużo zdjęć lotniczych w skali 1:4 000 ÷ 1:10 000, wykonanych w latach 1978 ÷ 1983. Celem było opracowanie technologii modernizacji ewidencji gruntów i budynków na terenach gdzie występują mapy ewidencyjne w skali 1:2880 z wykorzystaniem metod

fotogrametrii cyfrowej, oraz zweryfikowanie jej na wybranym obiekcie pilotowym. Opracowanie dotyczyło także analizy dokładnościowej, ekonomicznej i prawno-administracyjnej.

Proponowana technologia i analizy uwzględniły dwa scenariusze techniczne modernizacji:

- na podstawie archiwalnych zdjęć lotniczych,
- na bazie zaprojektowanych, nowych zdjęć lotniczych.

3. Obiekt pilotowy

Obiektem pilotowym była północna część gminy Poronin, powiat tatrzański, obejmująca następujące obręby Bustryk, Ząb, Suche:

obręb Bustryk	powierzchnia:	423 ha	liczba działek: 3 239
obręb Ząb	powierzchnia:	779 ha	liczba działek: 5 443
obręb Suche	powierzchnia:	543 ha	liczba działek: 4 911
Razem:	powierzchnia:	1 745 ha	liczba działek: 13 593

Dla obiektu pilotowego były dostępne czarno-białe zdjęcia lotnicze w skali 1:5 000 wykonano w 1982 roku. Obiekt pilotowy pokryty jest fragmentami szeregów od 6 do 17. Zdjęcia miały bardzo duże pokrycie podłużne, rzędu 80 – 90%. Do dalszego opracowania wybrano co 2-gie zdjęcie w szeregu uzyskując blok złożony z 148 zdjęć o pokryciach wyższych niż typowe. Parametry zdjęć:

- skala zdjęć 1:5 000,
- data wykonania zdjęć 1982 r.,
- kamera RC 10, format 23 x 23 cm,
- obiektyw półnormalnokątny 21 NAG II nr 7154 ($c_k = 213.75$),
- liczba zdjęć 148 (12 szeregów: szeregi od 6 do 17),
- pokrycie podłużne $p = 60 \div 70 \%$,
- pokrycie poprzeczne $q = 50 \div 60 \%$.

Jakość zdjęć można ocenić jako „dobrą”. Zdjęcia nie były „uzbrojone” w połowę osnowę fotogrametryczną, nie były również sygnalizowane punkty osnowy i nie były znane elementy orientacji zewnętrznej zdjęć.

Dla obiektu istnieje mapa ewidencyjna w skali 1:2 880 założona w 1967 roku, powstała na bazie map katastralnych z zaboru austriackiego. Nie są znane parametry odwzorowania tych map. Część opisowa ewidencji prowadzona jest w bazie danych ewidencyjnych w systemie „VEGA”.

4. Założenia technologii opracowania

Istotą proponowanej technologii jest oparcie modernizacji mapy ewidencyjnej na cyfrowych ortoobrazach, powstałych przez ortorektyfikację zdjęć lotniczych. Obrazy te – w toku opracowania fotogrametrycznego – zostają doprowadzone do

odwzorowania docelowej mapy ewidencyjnej, w omawianym przypadku była to mapa w układzie „1965”, o jakości geometrycznej odpowiadającej skali 1:2000. Poszczególne arkusze istniejącej mapy ewidencyjnej zostają po zeskanowaniu przetransformowane na ortoobraz.

W prezentowanej i proponowanej technologii ortoobraz pełni 2 zasadnicze funkcje:

1. Stanowi jednolitą „osnowę geometryczną” na której opiera się geometria tworzonej numerycznej mapy ewidencyjnej.
2. Odgrywa rolę weryfikacyjną i kontrolną procesu modernizacji dzięki nałożonemu na ortoobraz rysunkowi istniejącej mapy (w postaci rastra). To połączenie pozwala „natychmiast” wychwycić i ocenić niezgodności, rozbieżności ze stanem faktycznym, zmiany, pomyłki, itp.

Docelowa mapa powstaje poprzez digitalizację ortoobrazów. Proces ten jest realizowany na kartograficznej stacji roboczej. Warstwa budynków powstaje poprzez stereodigitalizację modelu na fotogrametrycznej stacji roboczej.

5. Pomiar połowej osnowy fotogrametrycznej

Opracowywane zdjęcia nie posiadały znanych elementów orientacji zewnętrznej, ani również nie była wykonana połowa sygnalizacja punktów osnowy przed nalotem. W tej sytuacji konieczne stało się oparcie aerotriangulacji o fotopunkty terenowe, zidentyfikowane na zdjęciach. Wybór takich identyfikowanych fotopunktów spowodował poważne kłopoty. Było to spowodowane:

- Koniecznością wyboru punktów jednoznacznie dających się zidentyfikować na zdjęciach, z małym błędem identyfikacji. Taki wymóg wynikał z dużej skali zdjęć i wynikających z tego wysokich wymagań odnośnie precyzji połowej osnowy fotogrametrycznej.
- Uplywem 19 lat (!) od wykonania zdjęć, co bardzo zmieniło sytuację terenową i bardzo ograniczyło możliwości wyboru punktów spełniających wymogi dokładnościowe połowej osnowy fotogrametrycznej.

Jako punkty identyfikowane wybierano w pierwszym rzędzie narożniki dachów budynków. Takie punkty gwarantowały niezmiennosc ich położenia w minionych latach. Wybierano również: środki pokryw studni i szamb, narożniki tarasów, słupy wysokiego i niskiego napięcia. Dla zmniejszenia błędu identyfikacji starano się wybierać „gniazda” złożone z 2. blisko położonych punktów. Ostatecznie wybrano i pomierzono 65 fotopunktów. Gęstość i rozkład fotopunktów w bloku zdjęć odpowiada potrzebom aerotriangulacji. Liczba fotopunktów jest większa niż stosowana obecnie w typowych opracowaniach fotogrametrycznych. Wynikało to z potrzeby wzmocnionej kontroli procesu aerotriangulacji, oraz przewidywania, że część z tych punktów na etapie aerotriangulacji okaże się błędnie zidentyfikowana i zostanie odrzucona. To przewidywanie zostało potwierdzone. Odchyłki na niektórych punktach po wyrównaniu wskazywały na błędną identyfikację. Mogło to być spowodowane przebudową dachu, przebudową tarasu, czy przesunięciem studni,

szamba, słupa trakcji elektrycznej, itd. (minęło 19 lat !). Ostatecznie aerotriangulację oparto na 48 fotopunktach, dodatkowo 7 punktów potraktowano jako punkty kontrolne (punkty kontrolowane).

Wybór jako fotopunktów identyfikowanych narożników dachów spowodował trudności z pomiarem ich współrzędnych przestrzennych. Na takim narożniku nie można ustawić anteny GPS, czy lustra odblaskowego. Tą trudność rozwiązywano w ten sposób, że w sąsiedztwie takich punktów zakładano bazę dwupunktową, a z tej bazy „wcinano” przestrzennie fotopunkt z wykorzystaniem instrumentu typu TotalStation. Punkty bazy zakładano za pomocą pomiarów GPS, lub za pomocą klasycznych konstrukcji geodezyjnych i instrumentu typu TotalStation. Konstrukcje te opierano na osnowie geodezyjnej III klasy.

6. Aerotriangulacja

Wykorzystano cyfrową, półautomatyczną aerotriangulację na stacji cyfrowej ImageStation Z610 firmy Z/I Imaging, przy wykorzystaniu modułu Photo-T znajdującego się w pakiecie ImageStatin Digital Mensuration.

Wcześniej zdjęcia zeskanowano na fotogrametrycznym skanerze Photoscan 2000 firmy Z/I Imaging. Zdjęcia skanowano z pikselem $14 \mu\text{m}$ (tj. około 7 cm w terenie). Zastosowano kompresję JPEG, współczynnik $Q = 5$, format Intergraph, z „piramidą obrazów” (1 zdjęcie z „piramidą” zajmuje około 180 MB).

Orientacja wewnętrzna

Udało się dotrzeć do metryki kamery z datą 9.01.1981, tj. bliską okresowi wykonania zdjęć. Rekonstrukcję elementów orientacji wewnętrznej realizowano poprzez pomiar 4. znaczków tłowych każdego zdjęcia i następną transformację zdjęcia na nominalne położenie znaczków kamery (tj. wzięte z metryki) z wykorzystaniem 6-cio parametrowej transformacji afinicznej. Wybór takiej transformacji był podyktowany potrzebą wyeliminowania nieliniowych skurczów zdjęć, spowodowanych w pierwszym rzędzie ich „starzeniem się”. Analiza wyników orientacji wewnętrznej pokazuje, że średni błąd wpasowania pomiaru znaczków tłowych na zdjęciach w położenie nominalne (z metryki kamery), realizowane poprzez transformację afiniczną waha się dla poszczególnych zdjęć w zakresie: $m_0 = 0,3 \div 18,2 \mu\text{m}$, a średnio wynosi $m_0 = 8,1 \mu\text{m}$.

Dla porównania skuteczności transformacji afinicznej dla opracowywanych zdjęć wykonano również eksperymentalnie transformację konforemną (4-ro parametrową). Z porównania widać, że:

- Błędy wpasowania z pomocą transformacji afinicznej są na ogół mniejsze od wpasowania transformacją konforemną. Świadczy to o obecności w zdjęciach deformacji o afinicznym charakterze (różnicy skurczu filmu w kierunku podłużnym i poprzecznym). Jest to wynik deformacji zdjęć wynikający z procesu „starzenia” się.

- Są znaczne różnice jakości wpasowania dla poszczególnych zdjęć (duży rozrzut m_0). Świadczy to o tym, że deformacje są znaczące i różne dla poszczególnych zdjęć.

Wnioski powyższe potwierdzają słuszność wyboru transformacji afinicznej i oparcia się o metrykę kamery w procesie orientacji wewnętrznej zdjęć.

Wyrównanie aerotriangulacji

Punkty przejściowe w stereogramach wybierano manualnie (średnio 12 punktów na model), a przenoszono je na sąsiednie zdjęcia ze wspomaganiami automatycznym. W procesie aerotriangulacji wykorzystano wszystkie, tj. 148 zdjęć, 48 fotopunktów (typu XYZ) i 7 punktów kontrolnych (6 typu XYZ, 1 typu Z). Syntetyczne wyniki wyrównania:

średni błąd obserwacji na zdjęciu po wyrównaniu (Sigma):	4.8 μm ,		
	X	Y	Z
śr. odchyłka na F-punktach:	0.14 m (28 μm)	0.18 m (36 μm)	0.15 m (0.14‰ W),
maks. odchyłka na F-punktach:	0.38 m (76 μm)	0.35 m (70 μm)	0.30 m (0.28‰ W),
śr. odchyłka na p. kontrol:	0.12 m (24 μm)	0.10 m (20 μm)	0.22 m (0.21‰ W),
maks. odchyłka na p. kontrol:	0.17 m (34 μm)	0.16 m (32 μm)	0.36 m (0.34‰ W).

Średnie błędy obserwacji fotogrametrycznych na punktach aerotriangulacyjnych (tj. punktach przejściowych i F-punktach) są bardzo małe, poniżej 5 μm w skali zdjęcia. To świadczy o wysokiej spójności bloku, osiągniętej dzięki:

- dużej dokładności pomiaru zdjęć,
- dobremu skanowaniu zdjęć (mały piksel skanowania),
- dobrej geometrii bloku (duże pokrycia, szczególnie duże pokrycie poprzeczne zdjęć).

Średnie odchyłki terenowe na punktach połowej osnowy fotogrametrycznej (F-punktach) po wyrównaniu (tj. błędy wpasowania w osnowę połową), wyrażone w skali zdjęcia są na poziomie około 30 μm . Są to znaczne błędy, ale takich należało się spodziewać. Dla tak dużej skali zdjęć (1:5 000) fotogrametryczna osnowa połowa powinna być sygnalizowana przed nalotem. Dla takich sygnalizowanych F-punktów można byłoby oczekiwać odchyłek 2.5 – 3 razy mniejszych od otrzymanych. Dokładności uzyskane zostały zdegradowane głównie dużymi błędami identyfikacji punktów naturalnych identyfikowanych na starych zdjęciach, oraz trudnościami pomiaru geodezyjnego tych punktów.

Najbardziej miarodajną oceną rzeczywistej dokładności aerotriangulacji są błędy na punktach kontrolnych, F-punktach o znanych współrzędnych geodezyjnych, które nie weszły do wyrównania (zostały potraktowane jak punkty nieznanne – wyznaczone). Wyniki na tych punktach są zbliżone do otrzymanych na F-punktach. Potwierdza to wcześniejsze wyniki i świadczy o prawidłowym wyrównaniu, a w tym o prawidłowym wagiowaniu obserwacji fotogrametrycznych i geodezyjnych.

7. Numeryczny Model Terenu

Zastosowano dwie metody pomiaru NMT: pomiar „ręczny” i pomiar automatyczny. Na pomiar ręczny złożył się pomiar linii nieciągłości terenu (linie grzbietowe, linie ciekowe, załamania powierzchni), oraz przestrzenny pomiar międz (przestrzenna stereodigitalizacja 3-D na stacji fotogrametrycznej). Pomiar międz wykorzystano do stworzenia bazy danych granic działek. Wynikowy NMT wygenerowano w formie struktury TIN (sieć nieregularnych trójkątów opartych o punkty pomiarowe). Średni błąd wysokości tak otrzymanego NMT ocenia się na około 0.30 m (tj. 0.3 ‰ wysokości lotu). Jest to dokładność przekraczająca dokładność konieczną do prawidłowej ortorektyfikacji zdjęć.

Pomiar manualny jest dość czasochłonny i absorbuje bardzo drogie stanowisko pomiarowe (fotogrametryczna stacja pomiarowa i wysokokwalifikowany operator tej stacji). W docelowej technologii pomiar granic działek można prowadzić poprzez digitalizację ortoobrazu. Jest to opcja ekonomicznie uzasadniona, wymaga bowiem użycia znacznie tańszej stacji kartograficznej. W takim przypadku proponuje się generowanie NMT oprzeć na automatycznej korelacji obrazu (ang.: matching).

Dla części obiektu zbudowano taki NMT. Do procesu automatycznego pomiaru włączono wcześniej pomierzone linie nieciągłości terenu, pomierzone „ręcznie”. Praktyka pokazuje, że takie linie wzmacniają wynikowy NMT, szczególnie w obszarach o urozmaiconej rzeźbie terenu (a taki właśnie charakter ma rzeźba obiektu pilotowego). Różnice obu pomiarów mieszczą się w błędach każdego z nich. To potwierdza możliwość automatycznego generowania NMT dla potrzeb ortorektyfikacji zdjęć wykorzystywanych w procesie modernizacji ewidencji gruntów.

8. Ortorektyfikacja

Z prowadzonych prac na obiekcie pilotowym i doświadczenia w ich realizacji wyłania się propozycja oparcia zadania modernizacji ewidencji gruntów na ortorektyfikowanych zdjęciach - ortoobrazach . Przeprowadzone eksperymenty jednoznacznie wskazują, że do postawionego zadania nie jest potrzebna ortofotomapa. Wystarczą ortoobrazy. Doświadczenie pokazało, że ortoobrazy mają nawet pewną przewagę nad ortofotomapą, dają bowiem nakładające się obrazy tego samego obszaru, co może w niektórych przypadkach pomóc w interpretacji przebiegu międz.

Należy zauważyć, że:

- ortoobrazy są produktem tańszym od ortofotomap,
- ortoobrazy nie są samoistnym produktem finalnym, ich przydatność jest ograniczona do etapu tworzenia geometrycznej bazy danych ewidencyjnych,
- cyfrowa ortofotomapa nie jest konieczna z punktu widzenia potrzeb modernizacji ewidencji. Wytworzenie takiego produktu może być jednak uzasadnione, jeśli wskazują na to inne potrzeby. Miałoby to sens w przypadku opracowania nowych

zdjęć i byłoby całkowicie nieuzasadnione w przypadku opracowania starych zdjęć (po co komu stare ortofotomapy?).

Na bazie zeskanowanych zdjęć i wygenerowanego NMT, zdjęcia poddano ortorektyfikacji i wytworzono ortoobrazy. Ortoobrazy wytworzono z pikselem 0.10 m (tj. 0.05 mm w skali mapy 1:2000). Stosowano bilinearną interpolację wartości radiometrycznych. Komentarz:

1. Piksel wynikowego ortoobrazu koresponduje z rozdzielczością skanowania zdjęć (piksel skanowania był 14 μm , tj. około 0.07 m).
2. Rozdzielczość ortoobrazów jest duża, znacznie większa od zalecanej w Wytycznych Technicznych K-2.8. Wynika to z potrzeb zadania:
 - celem nie jest wyplot, czy druk ortofotomapy, a wykorzystanie ortoobrazu w wersji komputerowej na stacjach kartograficznych do procesu ekranowej wektoryzacji elementów treści mapy ewidencyjnej; doświadczenie pokazuje, że w takim przypadku przydatna jest wyższa rozdzielczość,
 - wyższa rozdzielczość oznacza większe zbiory danych, przy obecnej technice komputerowej nie stanowi to zasadniczego problemu,
 - doświadczenie produkcyjne wskazuje, że jeżeli zachodzi potrzeba operowania mniejszymi zbiorami, to korzystniejsze jest „dobre” zeskanowanie (z mniejszym pikselem) i silniejsza kompresja, niż odwrotnie.
3. Doświadczenia wskazały, że zastosowanie bikubicznej interpolacji radiometrii powoduje pewne „rozmycie” ostrych konturów. Nie jest to efekt wskazany przy identyfikacji międz. Zalecana stąd jest interpolacja bilinearna.

9. Transformacja układu katastralnego do układu „1965”

Transformacja papierowej mapy ewidencyjnej w skali 1:2 880 do docelowego układu numerycznej mapy ewidencyjnej w układzie „1965” przebiegała kilkietapowo:

1. Skanowanie map papierowych (400 dpi), „uszlachetnianie” rastrów.
2. Rektyfikacja rastrów w oparciu o wyloty siatki kartograficznej. Do rektyfikacji wykorzystano również styki sąsiednich arkuszy map katastralnych.
3. Transformacja układu katastralnego do układu „1965” w oparciu o punkty dostosowania (Etap I). Punktami dostosowania były „trójmiejsze” i inne punkty dające się jednoznacznie zidentyfikować na mapie. Współrzędne pochodziły z operatów jednostkowych i pomiarów terenowych. Stosowano transformację konforemna. Średnie odchyłki po transformacji: $m_x=2,60\text{ m}$ $m_y=3,40\text{ m}$ $m_p=4,29\text{ m}$
4. Transformacja z wykorzystaniem ortoobrazów zdjęć lotniczych (Etap II). Stosowano transformację wielomianową II stopnia. Średnie odchyłki po transformacji: $m_x=1,76\text{ m}$ $m_y=2,01\text{ m}$ $m_p=2,68\text{ m}$.
5. W przypadku stwierdzenia enklaw rozbieżności rastra z ortoobrazem, stosowano dodatkowo wpasowanie metodą elementów skończonych FE (FE oferowane przez narzędzie I/RAS C).

10. Fotogrametryczny pomiar danych geometrycznych ewidencji

Elementami geometrycznymi mapy ewidencyjnej są granice działek, granice klasoużytków, położenie budynków i inne elementy sytuacyjne. Te elementy pozyskiwano poprzez digitalizację (wektoryzację) ortoobrazów na stacji kartograficznej, oraz stereodigitalizację modelu przestrzennego na fotogrametrycznej stacji cyfrowej.

Granice działek

Granice działek uzyskiwano opcjonalnie poprzez :

- stereodigitalizację przebiegu miedz na cyfrowej stacji fotogrametrycznej, lub
- digitalizację miedz na ortoobrazie na stacji kartograficznej.

Należy zauważyć, że na zdjęciu lotniczym nie są widoczne granice działek. Są natomiast widoczne miedze dzięki zróżnicowaniu tonalnemu obrazu fotograficznego sąsiadujących upraw. Mierząc miedze zakłada się wstępnie, że stanowią one granice działek. Mogą być jednak sytuacje, że:

- granica działki nie jest widoczna, bo nie jest widoczna różnica tonalna sąsiadujących działek,
- na tej samej działce są dwie uprawy, z widoczną granicą tonalną, która zostanie zinterpretowana jako miedza i zamierzona.

Widać więc, że fotogrametria może dać przebieg miedz widocznych na zdjęciu o ile dają one kontrast tonalny. Wynik takiego pomiaru wymaga dalszej analizy z wykorzystaniem istniejącej mapy ewidencyjnej dla prawidłowego zinterpretowania przebiegu granic działek.

Z przedstawionych i realizowanych dwóch metod pomiaru granic działek jako docelowy proponuje się pomiar na stacji kartograficznej poprzez digitalizację miedz na ortoobrazie. Potwierdzono, że pomiar taki daje wystarczającą dokładność i jest uzasadniony ekonomicznie (wymaga tańszego stanowiska pomiarowego). Pomocny staje się tu obraz mapy ewidencyjnej przetransformowany do układu docelowej mapy i nałożony na ortoobraz. Oparcie pomiaru na digitalizacji ortoobrazów pozwala wykorzystać pokrywające się obszary ortoobrazów do „wykrycia” i interpretacji miedzy tam, gdzie jest ona słabo widoczna ze względu na mały kontrast tonalny. Doświadczenie wykazało, że ta sama miedza może być łatwiej identyfikowalna na sąsiednim ortoobrazie.

Budynki

Na zdjęciach widać dachy budynków i niektóre „przyziemia”. Na ortoobrazach prawidłowe położenie mają obiekty na powierzchni terenu. To co „wystaje” ponad teren pozostaje odwzorowane w rzucie środkowym. Oznacza to, że dachy na ortoobrazach są „przesunięte”. Nie można więc dokonywać pomiaru budynków poprzez digitalizację dachów na ortoobrazie. Konieczna jest stereodigitalizacja na stacji fotogrametrycznej. Dodatkowym problemem stają się okapy dachów wystające poza obrys przyziemia budynków.

11. Wnioski z przeprowadzonych eksperymentów

1. W toku realizacji projektu sprawdzono eksperymentalnie różne scenariusze technologiczne modernizacji ewidencji gruntów z wykorzystaniem metod fotogrametrii cyfrowej. Mając na względzie potrzebę stworzenia metody nie tylko poprawnej technicznie, ale również szybkiej i taniej, proponuje się oparcie tworzenia numerycznej mapy ewidencyjnej w zakresie granic działek na digitalizacji ekranowej ortoobrazów zdjęć lotniczych z nałożonym skalibrowanym rastrem istniejącej mapy ewidencyjnej. Proces ten przeprowadza się na stacji kartograficznej. Za takim rozwiązaniem przemawiają względy ekonomiczne: proces odbywa się na względnie tanim stanowisku pomiarowym, nie wymagającym wysokokwalifikowanego operatora. W warunkach produkcyjnych pozwala to rozłożyć prace na małą liczbę drogiej stacji fotogrametrycznych i większą liczbę tanich stacji kartograficznych. Warstwę budynków proponuje się pozyskiwać poprzez stereodigitalizację modelu na fotogrametrycznej stacji cyfrowej.
2. Proponowana technologia jest w wysokim stopniu zautomatyzowana. Obecnie automatycznie realizuje się proces aerotriangulacji, generowania NMT i ortorektyfikacji. Ciężar prac skupia się na wektoryzacji granic działek poprzez digitalizację ortoobrazu. Ten etap można rozłożyć na tanie stacje kartograficzne.
3. Do prac wykorzystano zdjęcia archiwalne. Analiza ekonomiczna wykazała, że wykorzystanie „już gotowych” zdjęć lotniczych nie stanowi argumentu przemawiającego za takim rozwiązaniem. Wykorzystanie zdjęć archiwalnych napotyka na trudności i dodatkowe koszty ich opracowania. Korzystniejsze jest oparcie ewidencji na aktualnych zdjęciach wykonanych kamerami „nowej generacji”, o dobranej optymalnej skali, z sygnalizacją polowej osnowy fotogrametrycznej przed nalotem i pomiarze środków rzutów w locie. Takie rozwiązanie proponuje się przy pracach ewidencyjnych prowadzonych na większą skalę. Wykorzystanie zdjęć archiwalnych byłoby uzasadnione tylko w incydentalnych przypadkach na małych obiektach.
4. Projekt dotyczył modernizacji ewidencji na terenach gdzie funkcjonuje kataster austriacki. Jednak większość wniosków z przeprowadzonych prac można przenieść na modernizację ewidencji również na innych obszarach.

12. Wybrane elementy z projektu Wytycznych Technicznych „Modernizacja ewidencji gruntów i budynków na terenach gdzie funkcjonują mapy ewidencyjne w skali 1:2880 z wykorzystaniem metod fotogrametrii cyfrowej”

Na bazie przeprowadzonych prac powstał projekt Wytycznych Technicznych. W zakresie dotyczącym prac fotogrametrycznych projekt ten przewiduje m.in.(wybrane zapisy):

1. Dla modernizacji ewidencji gruntów i ewidencji budynków na terenach gdzie funkcjonują mapy ewidencyjne w skali 1:2 880 z wykorzystaniem metod fotogrametrii cyfrowej zalecaną skalą fotogrametrycznych zdjęć lotniczych jest

skala około 1:8 000. Dopuszcza się wykonanie zdjęć w skali mniejszej, w zakresie od 1:8 000 do 1:10 000.

2. Zdjęcia lotnicze powinny być realizowane nowoczesnymi kamerami pomiarowymi, tj. kamerami z kompensacją rozmazania (typu FMC, np.: RC 20, RC 30, RMK Top, LMK).
3. Zaleca się wykorzystanie obiektywu „normalnokątnego” ($c_k \approx 305$ mm), lub „półnormalnokątnego” ($c_k \approx 210$ mm).
4. Pożądany jest precyzyjny pomiar położenia kamery w locie (technika dGPS). Wyznaczenie położenia środków rzutów kamery pozwala na bardzo znaczące ograniczenie polowej osnowy fotogrametrycznej z wynikającymi stąd efektami ekonomicznymi.
5. Zalecaną porą wykonywania zdjęć dla odkrytych terenów rolniczych jest pora po żniwach. Na zdjęciach wykonanych w tej porze występuje największe zróżnicowanie tonalne (i barwne) pól, co ułatwia interpretację i pomiar miedz. Dla terenów zakrytych (dużo drzew) najodpowiedniejszą porą fotografowania byłaby pora wiosenna, przed rozwojem liści na drzewach.
6. Punkty polowej osnowy fotogrametrycznej (tzw. fotopunkty) powinny być zasygnalizowane przed nalotem, w sposób umożliwiający ich jednoznaczną identyfikację i pomiar na zdjęciach. Ich współrzędne powinny charakteryzować się błędem położenia względem osnów wyższych klas:
 - $m_{xy} \leq 0,10$ m,
 - $m_z \leq 0,10$ m.

7. Wielkość piksela skanowania

Przy skanowaniu czarno-białych zdjęć lotniczych dla modernizacji ewidencji gruntów i budynków zaleca się rozdzielczość skanowania w przedziale: $1\ 400 \div 1\ 800$ dpi, co odpowiada wymiarowi piksela na zdjęciu odpowiednio w przedziale: $18 \div 14$ μ m (dla zdjęć lotniczych w skali 1:8 000 odpowiada to terenowej wielkości piksela w przedziale $14,4 \div 11,2$ cm).

Komentarz: Proponowana rozdzielczość skanowania zdjęć jest dość wysoka, wyższa od powszechnie stosowanej. Wynika to z potrzeby wykorzystania potencjału pomiarowego współczesnych zdjęć lotniczych, oraz oparcia procesu tworzenia mapy ewidencyjnej na digitalizacji ortoobrazu. To stawia wyższe wymagania przed zdolnością rozdzielczą takiego ortoobrazu.

8. Terenowy wymiar piksela ortoobrazu przyjmuje się w zakresie: $0,12 \div 0,16$ m, co w skali 1:2 000 odpowiada wymiarom: $0,06 \div 0,08$ mm.
9. Średni błąd położenia ortoobrazu ustala się na: 1,5 wielkości piksela ortoobrazu (tj. w przedziale: $0,18 \div 0,24$ m dla skali 1:2 000).

10. Ortoobrazy otrzymuje się poprzez ortorektyfikację kolejnych zdjęć w szeregu. Oznacza to, że kolejne ortoobrazy pokrywają się. Występują pokrycia podłużne między sąsiednimi ortoobrazami w szeregu i pokrycia poprzeczne między ortoobrazami z sąsiednich szeregów. W dalszych pracach modernizacji ewidencji wykorzystuje się „środkowe”, użyteczne partie ortoobrazów. Dla formatu 23 x 23 cm i typowego pokrycia zdjęć ($p=60\%$ i $q=30\%$) oznacza to, że „użyteczne” partie ortoobrazu, wyrażone w skali oryginalnych zdjęć, mają wymiary:
- w kierunku podłużnym: około 90 mm,
 - w kierunku poprzecznym: około 160 mm,
- a odległość środka zdjęcia do rogu części użytecznej wynosi około 90 mm.
11. Dokładność NMT warunkuje jakość procesu ortorektyfikacji, a błędy NMT są głównym źródłem błędów ortoobrazów, a w konsekwencji i ortofotomapy cyfrowej. Zakładając, że błąd ortoobrazu spowodowany błędem NMT w narożnej partii użytecznej części ortoobrazu nie może przekroczyć przyjętej dokładności (tj. 1,5 pikela) otrzymamy następujące wymagania dokładności NMT (średni błąd wysokości m_z):

Tabela 1

Wymagania dokładności wysokościowej NMT dla ortorektyfikacji

Odległość od środka zdjęcia	Ogniskowa kamery c_k		
	$c_k = 152 \text{ mm}$	$c_k = 210 \text{ mm}$	$c_k = 305 \text{ mm}$
$r = 90 \text{ mm}$	$m_z=0,38 \text{ m}$	$m_z=0,52 \text{ m}$	$m_z=0,76 \text{ m}$
$r = 120 \text{ mm}$	$m_z=0,28 \text{ m}$	$m_z=0,39 \text{ m}$	$m_z=0,57 \text{ m}$

Powyższa tabela stanowi rekomendację dokładności NMT dla procesu ortorektyfikacji.

12. Dla ortorektyfikacji wszystkich zdjęć w szeregu (co odpowiada odległości środka zdjęcia do rogów użytecznej części równej $r = 90 \text{ mm}$) wymagana dokładność wysokościowa NMT wynosi około 0,3‰ wysokości lotu z której wykonano zdjęcia (bez względu na użyty obiekt). Taką dokładność NMT można uzyskać na drodze automatycznego generowania NMT, poprzedzonego dla terenu o urozmaiconej rzeźbie pomiarem linii strukturalnych form terenowych (linii ciekowych, linii grzbietowych).
13. Podstawowym źródłem pozyskiwania danych geometrycznych o przebiegu granic działek, oraz granic użytków jest ich pomiar fotogrametryczny.
14. Pomiar granic działek i granic użytków realizuje się poprzez ekranową digitalizację ortoobrazu (lub ortofotomapy).
15. Przebieg granic działek interpretuje się na bazie ortoobrazu dzięki widocznym miedzom i różnicom tonalnym (lub barwnym) sąsiadujących działek. Oznacza to,

że pomiar fotogrametryczny umożliwia pomiar widocznych na ortoobrazie międz. Pomiar ten, na dalszym etapie opracowania, konfrontuje się z istniejącą mapą ewidencyjną (w formie zeskanowanej), co umożliwia interpretację i edycję pomiaru fotogrametrycznego i redakcję numerycznej mapy ewidencyjnej w zakresie przebiegu granic działek.

16. Przy słabej widoczności przebiegu między (mały kontrast) zaleca się – dla pewniejszej interpretacji przebiegu – jej ogląd na sąsiednich ortoobrazach.
17. Pomiar współrzędnych załamania granic poprzez digitalizację ortoobrazu realizowany według przedstawionej technologii powinien umożliwić pomiar granic ze średnim błędem położenia równym 0,20 m.
18. Pomiar budynków realizuje się poprzez stereodigitalizację przestrzennego modelu na cyfrowej stacji fotogrametrycznej.
19. Pomiarowi podlegają załamania krawędzi dachów budynków, co daje w rezultacie rzut budynku po obrysie dach (a nie po obrysie „przyziemia”).

Komentarz: Pomiaru budynków nie można realizować poprzez prostą i tanią stereodigitalizację ortoobrazu (jak to ma miejsce w przypadku granic), ponieważ linia przyziemia budynków nie jest widoczna na ortoobrazie a położenie dachu – jako elementu „wystającego” ponad powierzchnię terenu – jest na ortoobrazach przesunięte, zgodnie z rzutem środkowy.

13. Zakończenie

Przedstawione prace i projekt Wytycznych Technicznych zostały zaprezentowane na zamkniętym seminarium zorganizowanym przez Wojewódzkiego Inspektora Nadzoru Geodezyjnego i Kartograficznego w Małopolskim Urzędzie Wojewódzkim w Krakowie. Na spotkaniu byli obecni przedstawiciele geodezyjnych władz wojewódzkich i centralnych. Podkreślano wagę podjętych prac w kontekście rozpoczynających się działań związanych z budową Systemu Identyfikacji Działek Rolnych (LPIS) dla Zintegrowanego Systemu Zarządzania i Kontroli (IACS).

Recenzowała: prof. dr hab. Aleksandra Bujakiewicz