

Z. Paszotta, M. Szumiło
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn, Polska

DOKŁADNOŚĆ NUMERYCZNEGO MODELU TERENU POZYSKANEGO METODAMI FOTOGRAMETRYCZNYMI.

© Paszotta Z., Szumiło M., 2007

Полное описание процедур построения цифровой модели рельефа является достаточно сложной проблемой. В течение последних лет появились новые возможности получения данных для построения ЦМР, на основе методов автоматической идентификации пунктов (matching). В статье описаны методы сбора данных для построения ЦМР на основе фотограмметрических технологий. Авторы проанализировали источники ошибок построения ЦМР методами цифровой фотограмметрии.

The generation of Digital Terrain Model is a process whose full formal description is difficult. In the last few years a lot of new possibilities for generating DTM were developed including automated image matching. This paper describes briefly the generation of DTM by photogrammetric methods. The analysis of the reason of the existing errors in computing the ground coordinates in DTM is also made.

Wstęp.

Numeryczny Model Terenu (NMT) jest zdefiniowany jako zbiór danych umożliwiających uzyskanie geometrycznego opisu powierzchni Ziemi. Posługując się odpowiednim, określonym dla danego zbioru, algorytmem interpolacyjnym użytkownik jest w stanie odtworzyć kształt powierzchni Ziemi w wybranym przez siebie obszarze. Koncepcja tworzenia NMT została przedstawiona po raz pierwszy przez Miller'a i Laflamma w latach pięćdziesiątych zeszłego stulecia (Ackerman 1996). NMT, początkowo stosowany jedynie w projektowaniu inżynierskim, obecnie stanowi jedną z warstw tematycznych Systemów Informacji Przestrzennej i jest szeroko wykorzystywany przez planistów przy tworzeniu planów zagospodarowania przestrzennego. W fotogrametrii cyfrowej NMT jest niezbędnym komponentem procesu tworzenia ortofotomapy i ortorektyfikacji obrazów satelitarnych.

Różnorodność sposobów pozyskiwania danych do budowy NMT sprawia, iż różnią się one dokładnością. Wiarygodność (jakość) NMT związana jest bezpośrednio z informacjami zawartymi w zbiorze wejściowym. Istotną rolę odgrywa tu dokładność pozyskania współrzędnych punktów do budowy NMT. W artykule autorzy przedstawiają źródła danych do generowania modeli powierzchni Ziemi, ze szczególnym zwróceniem uwagi na technologie fotogrametryczne. Autorzy zajmują się również źródłami błędów w technologii fotogrametrycznej, mających wpływ na „jakość” NMT.

Fotogrametryczne metody pozyskiwania danych.

Powierzchnia terenu jest zwykle reprezentowana przez regularny lub nieregularny rozkład punktów uzupełniony opisem form morfologicznych występujących na danym obszarze tj.: linii szkieletowych (grzbiety, ciekі), linii nieciągłości (granice skarp, urwiska), granic wyłączeń obszarów poziomych (np. jeziora), charakterystycznych punktów rzeźby terenu (lokalne ekstrema), itp.. Dopiero zbiór tych punktów i linii wraz z oznaczoną lokalnie interpolacją między nimi jest numerycznym modelem terenu. W większości przypadków NMT przedstawiany jest za pomocą regularnej siatki kwadratów (ang. GRID). Coraz większą popularność ma również wykorzystanie do tego celu nieregularnej siatki trójkątów (Triangular Irregular Networks TIN).

Głównym źródłem danych do tworzenia NMT pozostaje wciąż fotogrametria lotnicza. Podstawowym zadaniem w pracach fotogrametrycznych jest pomiar punktów homologicznych na dwóch lub więcej obrazach (zdjęciach), czyli wybór obiektu na jednym zdjęciu i odszukanie jego odpowiednika na drugim. W fotogrametrii analogowej i analitycznej odbywa się to przez manualny pomiar operatora. W fotogrametrii cyfrowej dąży się do rozwiązania problemu w sposób automatyczny. Proces ten nazywa się spasowaniem obrazów.

Mając współrzędne tłowe pary punktów homologicznych, dane do generowania NMT można otrzymać dwiema drogami:

1. Określając elementy orientacji wzajemnej zdjęć budowany jest model przestrzenny, który następnie transformowany jest do układu współrzędnych terenowych.
2. Po wyznaczeniu elementów orientacji zewnętrznej zdjęć pomierzone na stereogramie współrzędne tłowe punktów są bezpośrednio przeliczone na współrzędne X,Y,Z w układzie terenowym stosując wzór 1.

$$\begin{aligned} x - x_o &= -f \frac{a_{11}(X - X_o) + a_{21}(Y - Y_o) + a_{31}(Z - Z_o)}{a_{13}(X - X_o) + a_{23}(Y - Y_o) + a_{33}(Z - Z_o)} \\ y - y_o &= -f \frac{a_{12}(X - X_o) + a_{22}(Y - Y_o) + a_{32}(Z - Z_o)}{a_{13}(X - X_o) + a_{23}(Y - Y_o) + a_{33}(Z - Z_o)} \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

X, Y, Z - współrzędne punktu w układzie terenowym

X_o, Y_o, Z_o - współrzędne środka rzutów w układzie terenowym

$x, y, -c_k$ - współrzędne punktu w układzie zdjęcia

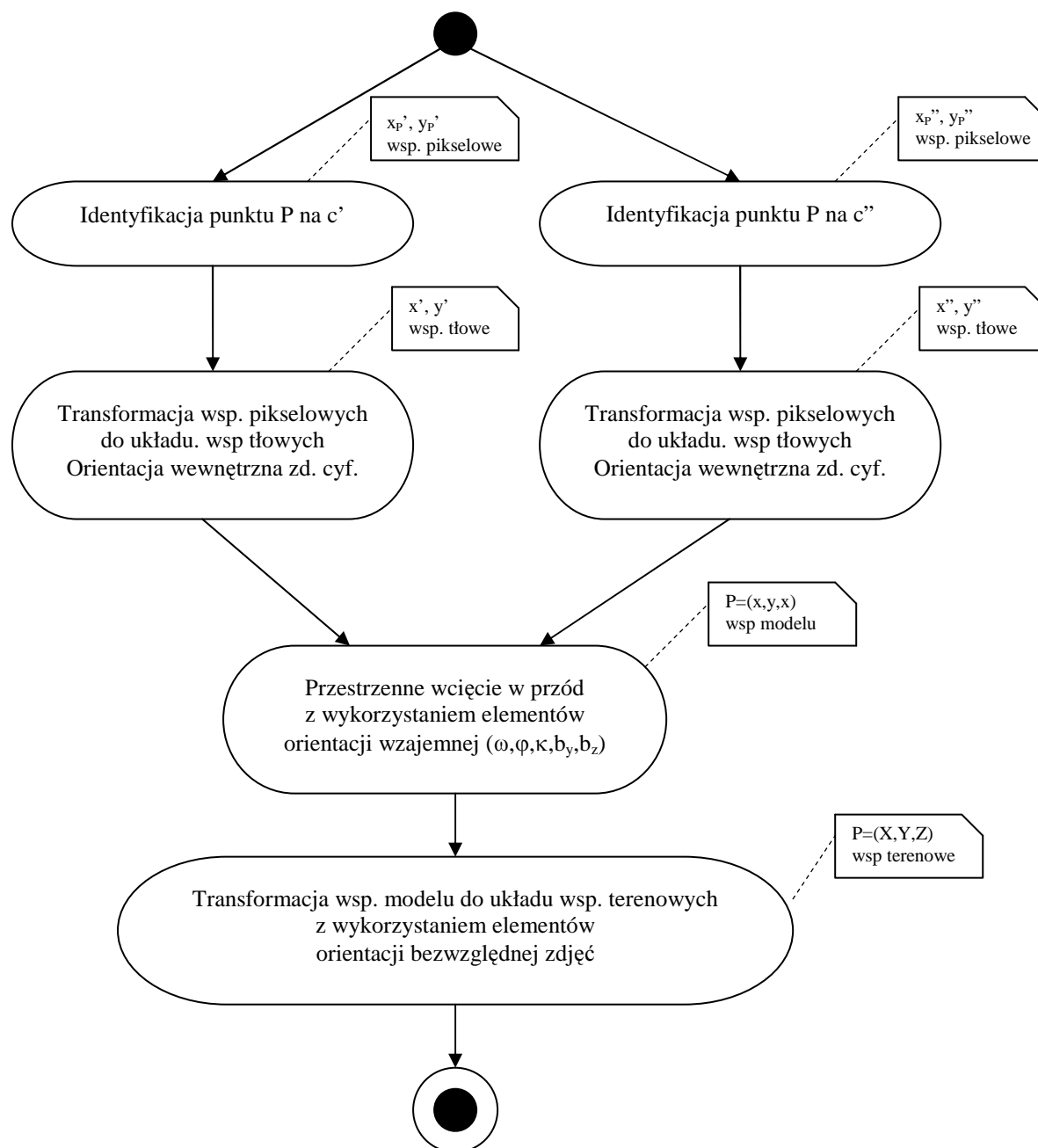
x_o, y_o - współrzędne punktu głównego, współrzędne środka rzutów w układzie zdjęcia

c_k - stała kamery

$a_{11}, a_{12}, \dots, a_{33}$ - parametry transformacji rzutowej, elementy macierzy obrotu.

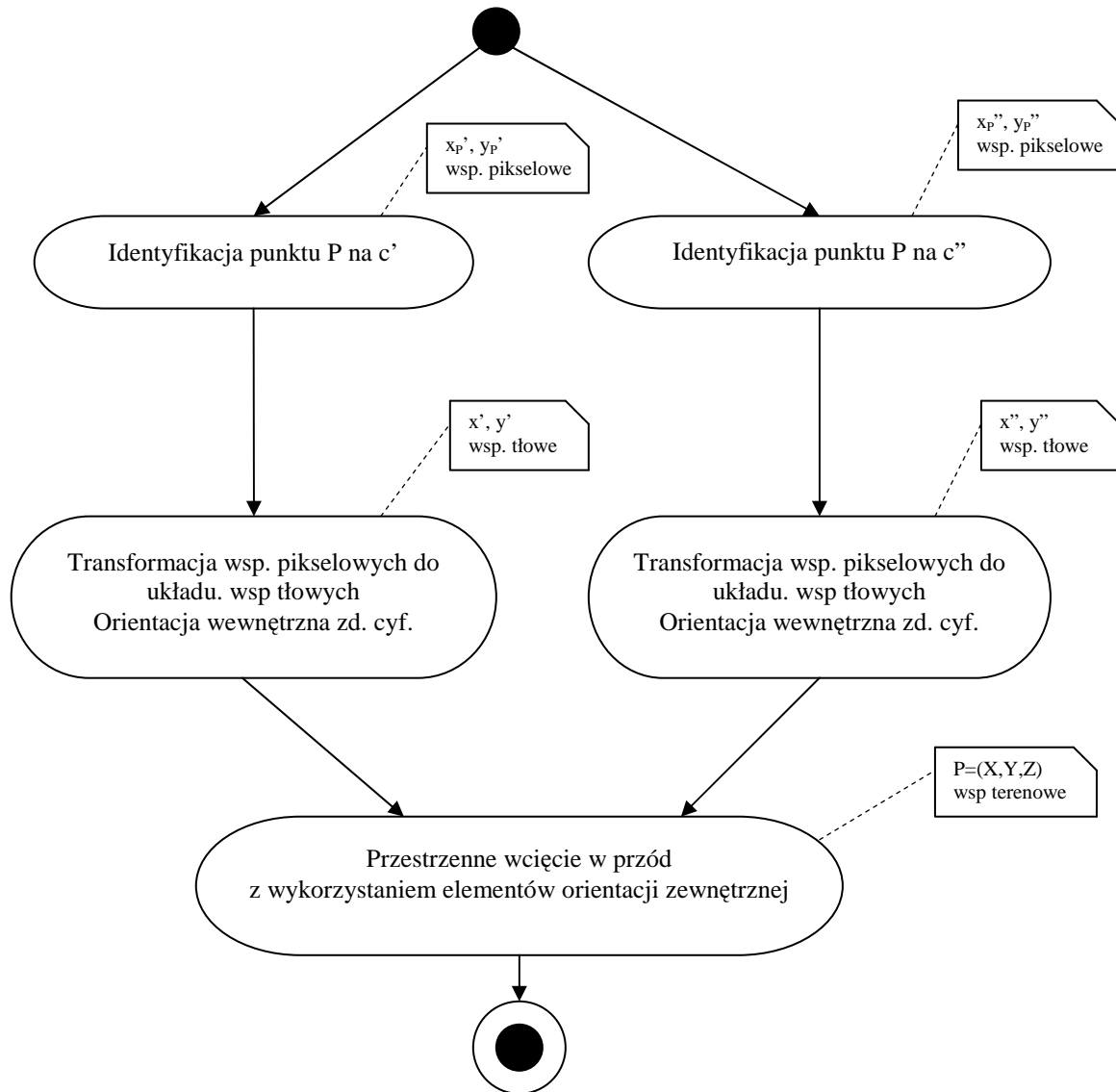
Kolejność obliczeń dla obu przypadków przedstawiają odpowiednio rysunki nr 1 i 2. Dane są zdjęcia lotnicze w postaci cyfrowej oznaczone jako c' – zdjęcie lewe, c'' – zdjęcie prawe. Rezultaty poszczególnych etapów obliczeń zaprezentowane są w postaci notatek.

W obu przypadkach niezbędna do obliczeń jest wiedza o parametrach kamery oraz określenie parametrów transformacji z układu współrzędnych pikselowych do układu współrzędnych tłowych. Ważną rolę odgrywa również precyzja identyfikacji fotopunktów na obu zdjęciach i dokładność pomiaru ich współrzędnych. Wszystkie wyżej wymienione elementy wpływają bezpośrednio na dokładność określenia współrzędnych terenowych punktów tj. na dokładność NMT generowanego z nich. Problem czynników wpływających na dokładność określenia współrzędnych punktu metodami fotogrametrycznymi zostanie szerzej opisany w dalszej części artykułu.



Rys. 1 Etapy określenia współrzędnych punktu w układzie terenowym z jednego stereogramu.

Algorytmy automatycznej budowy NMT z danych rastrowych (zdjęć lotniczych, obrazów satelitarnych) opierają się głównie na metodach korelacji. Podstawową miarą podobieństwa (funkcją celu) przy spasowaniu obrazów jest współczynnik korelacji. Dla zdefiniowanego otoczenia piksela na zdjęciu lewym (otoczenie punktu węzłowego siatki na zdjęciu lewym) i tegoż otoczenia na zdjęciu prawym liczony jest wielokrotnie współczynnik korelacji. Obszar uważa się za spasowany dla maksymalnej wartości współczynnika i gdy jego wartość jest większa od wartości progowej (Paszotta, 2000). Jeżeli jako funkcję celu przyjmiemy $f(c', c'') = 1 - r(c', c'')$ gdzie r jest współczynnikiem korelacji to diagram opisujący proces automatycznego spasowania obszarów będzie miał postać jak na rysunku 3. Tak przedstawiona procedura jest powtarzana na kolejnych, wcześniej określonych, punktach węzłowych siatki. Rezultatem spasowania jest zbiór, który zawiera współrzędne pikselowe środków obszarów spasowywanych na lewym zdjęciu, różnice między współrzędnymi na prawym i na lewym zdjęciu oraz minimum funkcji celu. (Paszotta, 2005)



Rys 2. Etapy prac obliczenia współrzędnych terenowych punktu przy zastosowaniu transformacji rzutowej.

Wynikiem wyżej opisanego algorytmu jest Numeryczny Model Terenu, którego wizualizacja jest przedstawiona na rysunku nr 4. Dane do tego przykładu pochodzą z projektu EuroSDR kierowanego przez prof. Joachima Hoehle (Hoehle 2004)

Trzeba teraz odpowiedzieć na pytanie, z jaką dokładnością został wyznaczony prezentowany NMT i od czego ta dokładność zależy. Według Ackermana (Ackerman 1996) dokładność NMT scharakteryzowana jest przez średni błąd wysokości wyinterpolowanej z wynikowego Modelu i zależy od: błędów danych źródłowych, wielkości oczka siatki i charakteru rzeźby terenu. Czynniki te ujmuje empiryczny wzór, w którym pierwszy człon określa błąd pozyskania danych do generowania NMT, drugi człon uwzględnia błędy związane z interpolacją wysokości.

$$m_{NMT}^2 = m_Z^2 + (\alpha d)^2 \quad (2)$$

gdzie:

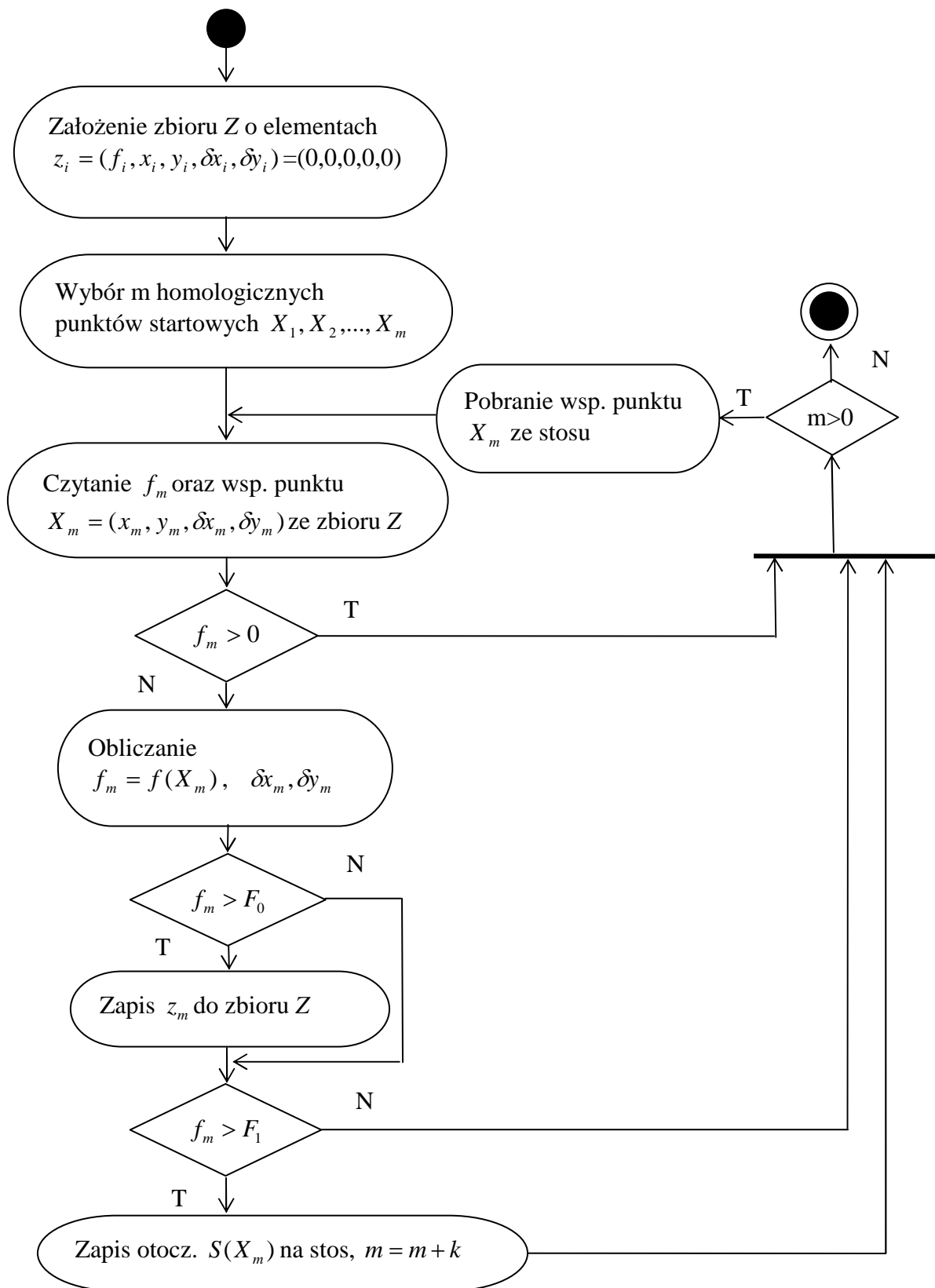
m_{NMT} - średni błąd wyinterpolowanej wysokości NMT

m_Z - średni błąd określenia wysokości

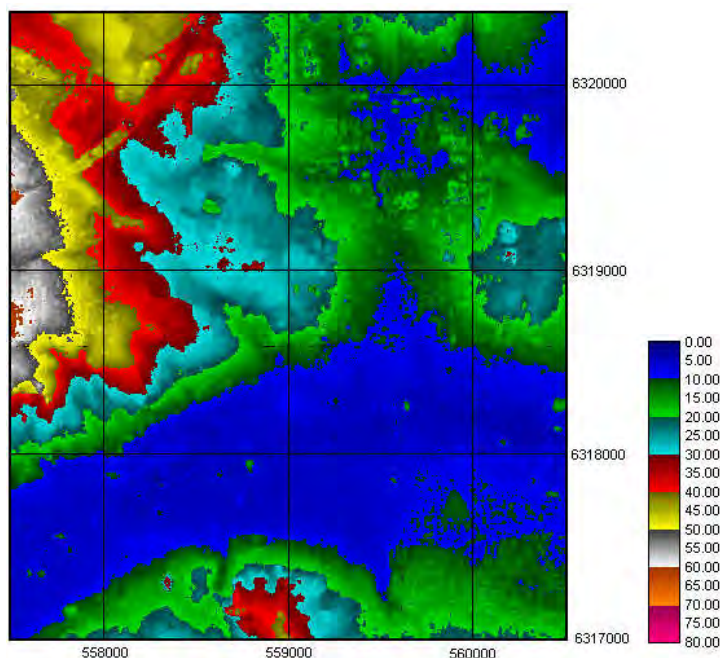
α - współczynnik opisujący charakter rzeźby terenu

d - średnia odległość punktów pomiarowych

Na podstawie wzoru (2) widać jak duży wpływ na dokładność generowania Numerycznego Modelu Terenu mają dane wejściowe (dane źródłowe).



Rys.3. Algorytm spasowania obrazów.



Rys. 4 Wynik automatycznej budowy Numerycznego Modelu Terenu

Błąd określenia współrzędnych X,Y,Z punktu wyznaczanego metodami fotogrametrycznymi.

Do wyznaczenia wielkości błędów współrzędnych punktu wyznaczonych metodami fotogrametrycznymi autorzy opracowania przeanalizowali przypadek, kiedy wykorzystuje się orientację wzajemną i bezwzględną do obliczenia tychże współrzędnych. Użyte zostały formuły:

$$X - X_0 = -Z \left(\frac{x_1^o}{c_k} \right) = B \left(\frac{x_1^o}{p^o} \right) \quad (3)$$

$$Y - Y_0 = -Z \left(\frac{y_1^o}{c_k} \right) = B \left(\frac{y_1^o}{c_k} \right) \quad (4)$$

$$Z - Z_0 = B \left(\frac{c_k}{p^o} \right) \quad (5)$$

gdzie:

X, Y, Z - współrzędne terenowe punktu

X_0, Y_0, Z_0 - wektor translacji

x_1^o, y_1^o - współrzędne tłowe punktu na pionowym zdjęciu lewym

$p^o = x_1^o - x_2^o$ - różnica odciętych tłowych punktu na pionowym lewym i prawym zdjęciu

c_k - stała kamery

B - długość bazy fotografowania w systemie współrzędnych terenowych

Długość bazy fotografowania można określić jako iloczyn współczynnika zmiany skali λ i długości bazy modelu stereoskopowego b , przy czym rozpisując liniowe składowe orientacji wzajemnej otrzymujemy formułę:

$$B = b * \lambda = \lambda \sqrt{1 + b_y^2 + b_z^2} \quad (6)$$

Wielkość p^o można zapisać w postaci równania 7. Pozwala ono określić różnice odciętych na obrazach pionowych przy znajomości współrzędnych tłowych i elementów orientacji wzajemnej zdjęć.

$$p_0 = p + c_k \Delta \varphi - \frac{p^2}{c_k} \varphi_1 + \frac{x_2^2}{c_k} \Delta \varphi - \frac{x_2 y_2}{c_k} \Delta \omega + y_2 \left(\Delta \kappa + \frac{p}{c_k} \omega_1 \right) - x_2 \left(\frac{\Delta H}{H} + 2 \frac{p}{c_k} \varphi_1 \right) \quad (7)$$

gdzie: $\Delta H = b_z \lambda$, $H = c_k \lambda$

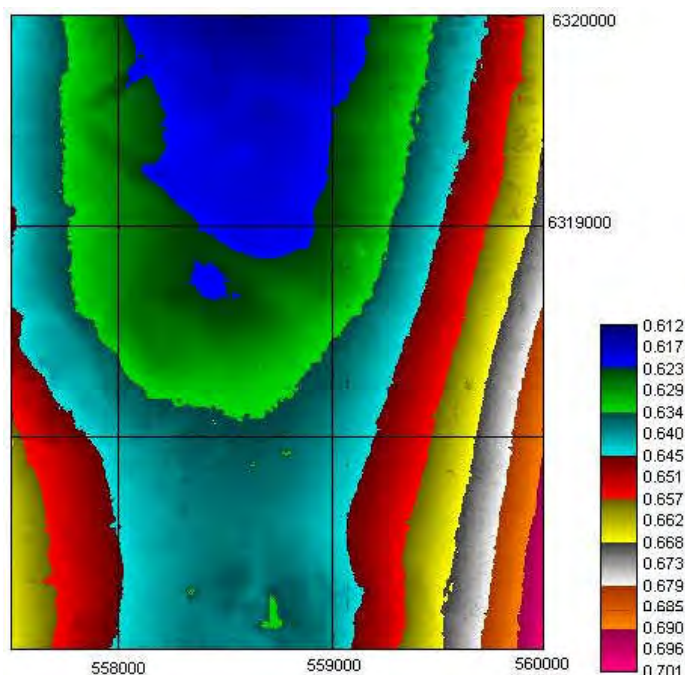
Średni błąd określenia współrzędnych X,Y,Z można wyznaczyć poprzez obliczenie różniczek równań nr 3, 4,5 I tak pochodna po Z ma postać (Lobanow, 1984)

$$dZ = Z \left(\frac{d\lambda}{\lambda} + \frac{dc_k}{c_k} + \frac{db}{b} - \frac{dp_0}{p_0} \right) \quad (8)$$

Po przekształceniu wzoru 8 i uwzględnieniu wpływu błędów przejścia z układu współrzędnych pikselowych do tłowych dla zdjęć cyfrowych otrzymujemy:

$$m_z^2 = \left(\frac{1}{\lambda}\right)^2 m_\lambda^2 + \left(\frac{1}{c_k}\right)^2 m_{c_k}^2 + \left(\frac{1}{p}\right)^2 m_{A_1}^2 + \left(\frac{1}{p}\right)^2 m_{A_2}^2 + \left(\frac{x_1 y_1}{fp}\right)^2 m_\omega^2 + \left(\frac{f}{p} + \frac{x_1^2}{fp}\right)^2 m_\varphi^2 + \left(\frac{y_1}{p}\right)^2 m_\kappa^2 + \left(\frac{b_y}{b^2} - \frac{(x_1 - b)b_z b_y}{fb^3}\right)^2 m_{b_y}^2 + \left(\frac{b_z}{b^2} + \frac{(x_1 - b)(b^2 - b_z^2)}{fb^3}\right)^2 m_{b_z}^2$$

Z powyższych równań wydać, w jaki sposób błędy pomiarów oraz błędy estymacji elementów orientacji zdjęć wpływają na błąd współrzędnej Z. Przyjmijmy, że występujące tu elementy orientacji wzajemnej a przez to i błędy można wyznaczyć z orientacji zewnętrznej, przez co nie ograniczamy rozważań do wybranych typów orientacji. Okazuje się wtedy, że błąd średni wysokości Z dla naszego stereogramu zmienia się w granicach 0.7-0.9 m co przedstawione zostało na rysunku 5.



Rys. 5 Średni błąd wyznaczenia wysokości punktów metodą fotogrametryczną.

Wnioski

Celem artykułu nie była odpowiedź wprost na pytanie: jaką dokładność ma Numeryczny Model Terenu pozyskanego metodami fotogrametrycznymi? Autorzy starali się przedstawić dyskusję na temat źródeł błędów wpływających na „jakość” NMT. Przedstawione w opracowaniu równania na błąd fotogrametrycznego wyznaczenia wysokości punktu uwzględniają wpływ błędów estymacji elementów orientacji zdjęć oraz pomiarów współrzędnych punktów homologicznych. Badania będą kontynuowane. Należy określić, które z wymienionych czynników mają decydujące znaczenie na wynik końcowy (NMT), a których wpływ można uznać za zaniedbywany. Przedstawiany i analizowany będzie rozkład

tych teoretycznych błędów w obszarze NMT oraz ich wpływ na błędy ortofotomapy. Teoretyczne błędy będą też porównywane z różnicami między modelami terenu uzyskanymi różnymi metodami.

1. ACKERMANN, F., 1996, *Technique and strategies for DEM generation. Digital photogrammetry: an addendum to the manual photogrammetry. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 135-141. 2. LOBANOW, A., 1984, *Fotogrammetria, Niedra, Moskwa*, pp 456-458. 3. PASZOTTA Z., 2000, *Teoretyczne podstawy metody spasowania obszarów obrazów cyfrowych, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol. 10 Kraków - Kalwaria Zebrzydowska*, ISBN 83-906804-4-0. 4. PASZOTTA, Z., 2005, *Java i fotogrametryczne aplikacje internetowe. Geodezja, kartografija i aerofotoznimanija. ISSN 0130-1039*. 5. Höhle J., Potuckova, 2004, *Automated quality control for Orthoimage and Digital Terrain Model*, <http://www.plan.auc.dk/~jh/articles/QualityControl.pdf>

Recenzowała: prof. dr hab. inż. Khrystyna Burhstynska

J. Pijanowski¹⁾, J. Hernik²⁾

¹⁾Marshall Office of the Małopolskie Voivodeship, Kraków

²⁾Agricultural University in Krakow

CULTURAL LANDSCAPE PROTECTION AND DEVELOPMENT

©Pijanowski J., Hernik J., 2007

European cultural landscapes are endangered. Numerous initiatives, supported by the Council of Europe, have been recently undertaken aimed at the implementation of the European Landscape Convention, which has been drawn up to protect not only the most valuable landscapes of our continent but also the landscapes of our everyday life which reflect our contemporary culture. The authors of this work outline a possible approach to cultural landscape protection, which can then form the basis for their active protection.

1 INTRODUCTION

Landscape constitutes the outer image of the surface of the earth in a particular place resulting from the interaction of natural and human factors. Whereas, cultural landscape is a narrower term and can be defined as an area historically shaped by human activity, combining the products of civilisation and natural elements.

This work discusses chosen issues related to cultural landscape protection and development. Practical examples drawn from countries which are more advanced in that respect reveal that protecting and developing such landscapes should be an active process. Moreover, modern methods of cultural landscape protection and development require a comprehensive approach. Preparatory activities are very important here, as they should mainly help to characterize general natural and cultural values of the landscape and describe the elements which constitute its identity.

The authors present chosen methodological approaches to comprehensive cultural landscape protection and development.

2 STUDYING A LANDSCAPE UNIT

In order to set up a comprehensive programme of cultural landscape protection and development it is necessary to determine first to what landscape unit (LU) it belongs. The starting point will be then a