

ZAGADNIENIE OCENY DOKŁADNOŚCI APROKSYMACJI POWIERZCHNI TERENU PRZY POMOCY METOD GEODEZYJNYCH

© Wysocki J., 2003

In the paper review of the methods of numerical approximation of the land surface are presented. The investigations prove that the methods of approximation which involve correlation between the terrain points having essential significance. Are presented also problem of estimation of the accuracy of approximation of the land surface based on DTM and method of estimation of accuracy. It follows from the investigations that the proposed in the paper method of estimation of the accuracy of approximation of the land surface, based on the grid of points, is simple and quick. The use of DTM methods allows fast incorporation of the data into the spatial information systems (LIS-GIS) and their wide application for the civil and environmental engineering.

WSTĘP

Rozwój interaktywnych metod w zakresie badań przestrzennych oraz planowania i projektowania z zastosowaniem komputerów, wymaga wykorzystywania oprócz łatwej do percepcji informacji w formie graficznej (w postaci map), również informacji w formie numerycznej - w postaci cyfrowego modelu terenu NMT (CMT-DTEM) wprowadzanego do pamięci komputera [23, 24]. Taki uniwersalny model cyfrowy przedstawiany jest najczęściej w postaci regularnej siatki aproksymującej powierzchnię terenu, uzyskiwanej na podstawie pomierzonych punktów odniesienia. Ta regularna siatka punktów może być tworzona już w trakcie pomiaru (najczęściej metodami

fotogrametrycznymi), stanowiąc jednocześnie punkty odniesienia, lub uzyskiwana na podstawie interpolacji powierzchniowej innych siatek metodami NMT-DTM [10, 11, 12, 19, 29, 30] uzyskiwanych przy pomocy tachimetrów elektronicznych, pomiarów GPS czy też lotniczego skanera laserowego

NMT stanowi w systemach informacji przestrzennej (SIT-GIS) najczęściej oddzielną warstwę, która jest wykorzystywana w badaniach przestrzennych, do analiz i obliczeń inżynierskich oraz prezentacji graficznych przez tworzenie rysunku warstwicowego, profili terenu, rysunków perspektywicznych itp.

W zagadnieniach badawczych i projektowych z zastosowaniem interaktywnych metod komputerowych, dokładność aproksymacji powierzchni terenu przy pomocy modeli numerycznych, będzie miała zasadnicze znaczenie. Użytkownicy tych modeli będą musieli mieć możliwość korzystania z metod pozwalających na prostą i szybką ocenę ich dokładności, podobnie jak dotychczas użytkownicy map warstwicowych. Jednak metody stosowane do oceny dokładności aproksymacji powierzchni terenu przy pomocy linii warstwicowych wykorzystują najczęściej jako podstawowy parametr tej oceny wartość zasadniczego cięcia warstwicowego na danej mapie. W metodach NMT ma miejsce inna geneza aproksymacji powierzchni terenu, i do niej w związku z tym, muszą być dostosowane metody oceny dokładności tej aproksymacji.

O METODACH NUMERYCZNEJ APROKSYMACJI POWIERZCHNI TERENU PRZY POMOCY NMT

Na podstawie pomierzonych punktów NMT dokonywana jest aproksymacja powierzchni terenu za pomocą zbioru (kombinacji) powierzchni odpowiedniego stopnia [5, 10, 11, 12, 16, 21].

Można przeprowadzić różne podziały proponowanych metod numerycznej aproksymacji powierzchni terenu. Najprostszy podział może wyróżnić metody bazujące na interpolacji liniowej i nieliniowej [10, 16, 19].

Na przykład oparta na interpolacji liniowej metoda komputerowa opracowana w SGGW [19] wykorzystuje dwie procedury - z zadaną topologią oraz taką, gdzie topologia cyfrowego modelu terenu jest generowana automatycznie przez komputer na podstawie punktów odniesienia.

Jedną z podstawowych metod opartych na interpolacji powierzchniowej jest metoda zaproponowana przez Krausa (1971). Przy obliczaniu interpolacji rozdziela on wielkości na trzy części:

1. trend w formie funkcji wielomianowej
2. część korelowaną w której wyszczególnia wariancje i kowariancje (korelacje pomiędzy sąsiednimi punktami terenu)
3. odchyłki (poprawki)

Wartość interpolacji u jest wyznaczana empirycznie:

$$u = c \cdot C^{-1} \cdot l \quad (1)$$

gdzie: l - wysokości w n punktach

c - wektor w którym zebrane są statystyczne zależności (kowariancje)

C - macierz zawierająca kowariancje między punktami odniesienia oraz wariancje v .

Postępowanie interpolacyjne służy do obliczania wysokości punktów cyfrowego modelu terenu stanowiących węzły dostatecznie gęstej siatki kwadratów.

Innego podziału metod modelowania powierzchni terenu funkcją interpolacyjną dokonał Schut (1976). Podzielił on je na sześć grup.

Pierwszą grupę nazwał metodami ruchomych powierzchni (*moving surface*). Wysokości punktów stanowiących węzły regularnej siatki są obliczane z powierzchni aproksymujących, tworzonych każdorazowo dla obliczanego punktu w oparciu o leżące w sąsiedztwie pomierzone punkty odniesienia. Kształt powierzchni może być określony pełnym równaniem wielomianowym np. stopnia drugiego

$$h = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 \quad (2)$$

lub równaniem zredukowanym w postaci płaszczyzny pochylonej czy też poziomej. Wysokościom punktów odniesienia (podparcia) przyporządkowane są odpowiednie wagi (funkcje wagowe)

Np. w drugiej grupie metod (*sumation of surface*-sumowanie powierzchni) zostało zastosowane rozwiązanie znane w matematyce w teorii korelacji. Wysokość punktu interpolowanego określana jest wzorem:

$$h = b^T \cdot B^{-1} \cdot z \quad (3)$$

Dla każdego interpolowanego punktu i -ty składnik wektora b jest funkcją odległości od punktu szukanego do i -tego punktu odniesienia, zaś z jest wektorem, którego składniki są wysokościami punktów odniesienia. Elementy macierzy B wynikają z funkcji odległości zwanej również funkcją korelacji.

Inną jeszcze w stosunku do poprzednich, systematykę podziału metod aproksymacji powierzchni terenu zaproponowali Sierbieniuk i inni (1990). Wybór funkcji aproksymującej powierzchnię terenu uzależnili od charakteru

danych źródłowych, w których zbiór pomierzonych punktów odniesienia może być regularny, półregularny (po izoliniach i profilach) i nieregularny.

ZAGADNIENIE OCENY DOKŁADNOŚCI APROKSYMACJI POWIERZCHNI TERENU PRZY POMOCY NMT

Jak wskazano wyżej, główne stosowane obecnie metody NMT zakładają statystyczny charakter informacji o wzajemnej zależności wysokości punktów terenowych położonych w pobliżu, to jest uwzględniają korelacje pomiędzy punktami modelu. Traktują aproksymację jako proces stochastyczny o charakterze stacjonarnym tzn. kowariancja zmiennych zależy tu od ich odległości. Na tej podstawie oraz w oparciu o prace [1, 3, 6] autor zaproponował [22, 23, 24, 25, 26, 27] metodę oceny dokładności aproksymacji powierzchni terenu przy pomocy siatki punktów NMT, która w postaci ogólnej została zapisana przy pomocy formuły:

$$m_h = p_1 A^2 + p_2 (D \operatorname{tg} \alpha / 2)^2 \quad (5)$$

gdzie:

m_h - średni błąd wysokości wyznaczanego (interpolowanego) punktu powierzchni terenu,

p_1 - współczynnik zależny od zastosowanej metody interpolacji powierzchniowej,

A - parametr charakteryzujący przy pomocy błędu średniego dokładność określenia (pomiaru) wysokości punktów odniesienia,

p_2 - współczynnik wynikający z wpływu kąta α , stanowiącego tutaj parametr wyrażający oddziaływanie warunków terenowych (chropowatość terenu),

D - przeciętna odległość punktów siatki odniesienia,

α - przeciętny kąt nachylenia terenu na opracowywanym obszarze.

Dalsze badania i analizy wykazały, że formuła (5) nie uwzględnia w dostatecznym stopniu istotnego wpływu chropowatości terenu przy małych (bliskich zera) kątach nachylenia terenu. W związku z tym opracowano rozszerzoną formułę w postaci:

$$m_h^2 = p_1 A^2 + p_2 (D \operatorname{tg} \alpha)^2 + (D t)^2 \quad (6)$$

gdzie:

$D t$ - charakteryzuje przy pomocy współczynnika t wpływ chropowatości terenu na dokładność aproksymacji jego powierzchni przy bliskich zera wartościach kąta nachylenia i różnych wielkościach D .

Wartości współczynników oraz parametrów w formule (6) wyznaczono w oparciu o badania na obiektach doświadczalnych. Temu zagadnieniu autor poświęcił oddzielne opracowanie [22, 23, 24]. Tutaj ograniczono się do podania końcowego zapisu opracowanej formuły, wyrażającej dokładność aproksymacji powierzchni terenu na podstawie siatki punktów NMT:

$$m_h^2 = 0,45 A^2 + 0,035 (D \operatorname{tg} \alpha)^2 + (D 0,0020)^2 \quad (7)$$

Przeprowadzone analizy proponowanej metody oceny dokładności aproksymacji powierzchni terenu na podstawie formuły (7) zilustrowano w Tabeli 1. Analizy wykazały, że proponowana metoda dobrze spełnia kryteria badań porównawczych przeprowadzonych na obiektach doświadczalnych. Należy jednak zauważyć, że badania eksperymentalne dotyczyły głównie terenów o przeciętnych spadkach rzędu kilku stopni. Dalsze badania w tym zakresie pozwolą na szerszą weryfikację proponowanej metody także przy większych nachyleniach terenu.

O DOKŁADNOŚCI APROKSYMACJI POWIERZCHNI TERENU PRZY POMOCY METOD GEODEZYJNYCH

Do głównych geodezyjnych metod aproksymacji powierzchni terenu należą opracowania tachimetryczne (pomiar punktowy) oraz opracowania fotogrametryczne.

Zagadnienie dokładności fotogrametrycznych opracowań wysokościowych szczegółowo analizował R. Finsterwalder (1957). Wydzielił on przedziały nachyleń terenu x_0 , x_1 , x_2 , dla których:

Fotogrametryczne opracowanie jest za mało dokładne	Odpowiednią dokładność można uzyskać na podstawie pomiarów punktowych	Odpowiednią dokładność można uzyskać poprzez bezpośrednie opracowanie warstwic na autografie	Warstwicę fotogrametryczne są „ściśle”
x_0	x_1	x_2	

Tabela 1

Dokładność aproksymacji powierzchni terenu według formuły (7)

Objects	α	D	m_h				
			A	A	A	A	A
			± 0.05	± 0.10	± 0.20	± 0.50	± 1.00
	deg	m	m	m	m	m	m
according to formula	0.5°	12.5	0.05	0.07	0.14	0.34	0.67
		25	0.07	0.09	0.15	0.34	0.67
		50	0.13	0.14	0.19	0.36	0.68
		100	0.26	0.27	0.29	0.42	0.72
	1°	12.5	0.06	0.08	0.14	0.34	0.67
		25	0.10	0.12	0.16	0.35	0.68
		50	0.19	0.20	0.23	0.39	0.70
		100	0.38	0.39	0.40	0.51	0.77
	2°	12.5	0.09	0.11	0.16	0.35	0.68
		25	0.17	0.18	0.22	0.38	0.69
		50	0.34	0.35	0.37	0.48	0.75
		100	0.68	0.69	0.70	0.76	0.96
	4°	5	0.07	0.09	0.15	0.34	0.67
		12.5	0.17	0.18	0.21	0.37	0.69
		25	0.33	0.34	0.36	0.47	0.75
		50	0.66	0.66	0.67	0.74	0.94
	6°	100	1.32	1.32	1.33	1.36	1.48
		5	0.10	0.12	0.17	0.35	0.68
		12.5	0.25	0.26	0.28	0.42	0.71
		25	0.49	0.50	0.51	0.60	0.83
	10°	50	0.99	0.99	1.00	1.04	1.19
		100	1.98	1.98	1.98	2.00	2.09
		5	0.17	0.18	0.21	0.37	0.69
		12.5	0.41	0.42	0.43	0.53	0.79
		25	0.82	0.83	0.84	0.89	1.06
		50	1.65	1.65	1.66	1.69	1.78
		100	3.30	3.30	3.31	3.32	3.37

W tym zakresie autor przeprowadził badania eksperymentalne na fotogrametrycznym polu doświadczalnym [14]. Na podstawie zdjęć lotniczych w skali 1:17000 wykonanych fotogrametryczną kamerą szerokokątną z wysokości $H = 2000\text{m}$ opracowano mapy warstwiczne o cięciu warstwicowym 1,25m w skali 1:5000, różnymi sposobami:

- na podstawie pomiaru punktowego wykonanego na autografie. Pomierzono wysokości punktów terenu w regularnej siatce o boku 50m, na podstawie których wyinterpolowano warstvice. Obliczono średni błąd opracowanych warstw $m_{hw} = 0,37\text{m}$ – przy przeciętnym kącie nachylenia terenu równym $2,5^\circ$,
- na podstawie numerycznego modelu terenu opracowanego fotogrametryczną metodą analityczną. Wyznaczono wysokości punktów terenu położonych w regularnej siatce co 45m. Błąd średni opracowanych warstw wyniósł; $m_{hw} = 0,39\text{m}$,
- mapę warstwicową opracowano bezpośrednio na autografie. Błąd średni opracowanych linii warstwicowych wyniósł; $m_{hw} = 0,32\text{m}$,
- dla celów porównawczych opracowano mapę warstwicową klasyczną metodą tachymetryczną. Błąd średni opracowanych warstw wyniósł; $m_{hw} = 0,31\text{m}$.

Według Finsterwaldera granica x_2 oznacza kąt nachylenia terenu przy którym opracowane bezpośrednio na autografie warstvice są „bez błędne”, zaś granica x_1 oznacza kąt nachylenia terenu, poczynając od którego, celowe jest bezpośrednio opracowywanie linii warstwicowych. Poniżej granicy x_1 warstvice powinny być opracowywane w oparciu o pomiary punktowe.

W celu przeprowadzenia bardziej szczegółowych analiz wykorzystano proponowaną wyżej metodę oceny dokładności aproksymacji powierzchni terenu za pomocą siatki punktów NMT (formuła 6,7).

Do analiz przyjęto dla pomierzonych punktów tachimetrycznych $D = 50\text{m}$, zaś $A = \pm 0,05\text{m}$. Dla przedstawionych wyżej zdjęć obiektu doświadczalnego wykonanych z wysokości 2000m przyjęto średnio $m_{hw} = \pm 0,018\%$ H, czyli $A = \pm 0,36\text{m}$. Dla warstwic fotogrametrycznych opracowanych bezpośrednio przyjęto w warunkach przedstawionych wyżej opracowań $D = 12,5\text{m}$. Przyjmując to założenie starano się uwzględnić efekt „błądzenia znacznika pomiarowego” podczas trasowania linii warstwicowych przez obserwatora na modelu stereoskopowym [4].

Skorzystamy teraz z tabeli 1, gdzie dla $A = \pm 0,36\text{m}$, $D = 12,5\text{m}$ i przeciętnego kąta nachylenia terenu na opracowanym obszarze obiektu doświadczalnego $2,5^\circ$ ($2,3^\circ$) znajdziemy $m_h = \pm 0,26\text{m}$. Z tabeli znajdziemy również, że przy $D = 50\text{m}$, $A = \pm 0,05\text{m}$, dokładność $m_h = \pm 0,26\text{m}$ możemy uzyskać z pomiaru punktowego, przy kącie nachylenia terenu $\alpha = 1,3^\circ$ ($1,5^\circ$). Wynik przeprowadzonej analizy zinterpretujemy w ten sposób, że przy tym kącie nachylenia terenu dokładność aproksymacji powierzchni terenu za pomocą opracowanych bezpośrednio warstwic fotogrametrycznych odpowiada dokładności aproksymacji powierzchni terenu za pomocą siatki punktów o gęstości $D=50\text{m}$ i dokładności $A = \pm 0,05\text{m}$. Podobny wniosek wynika z analizy mapy warstwicowej wykonanej bezpośrednio na autografie oraz mapy warstwicowej tego samego wycinka terenu opracowanej klasyczną metodą tachimetryczną. Wynika stąd, że poczynając od kąta nachylenia terenu α_1 równego $1,5^\circ$ ($1,3^\circ$) należy dążyć do przedstawiania rzeźby terenu przy pomocy warstwic fotogrametrycznych opracowanych bezpośrednio.

Natomiast gdzie leży granica α_2 , dla której opracowane bezpośrednio warstwice fotogrametryczne są „ściśle”? Jako kryterium „ściślności” wykorzystamy stosowaną nieraz w geodezji 3σ błędu średniego, czyli przyjmujemy 3σ wyższą dokładność aproksymacji powierzchni terenu za pomocą warstwic fotogrametrycznych w stosunku do dokładności takiej aproksymacji przy pomocy siatki punktów o podanej wyżej charakterystyce ($D = 50\text{m}$, $A = \pm 0,05\text{m}$). Na podstawie tabeli 1 możemy znaleźć, że przyjęte założenia powinny być zrealizowane przy kącie nachylenia terenu około 4° . Ponieważ jednak autor nie dysponuje odpowiednimi badaniami eksperymentalnymi w tym zakresie, wniosek ten należy przyjąć z pewną rezerwą. Nie mniej jednak wynika stąd, że przy kątach nachylenia terenu rzędu 4° opracowanie aproksymacji powierzchni terenu powinno być wykonywane metodami fotogrametrycznymi lub za pomocą lotniczego skanera laserowego. Z tabeli 1 wynika również oczywisty wniosek, że możemy zwiększać dokładność aproksymacji powierzchni terenu zmniejszając odległości mierzonych punktów siatki NMT. Jednak wtedy opłacalność takiego opracowania będzie się zmniejszać w stosunku do opracowania aproksymacji powierzchni terenu metodami fotogrametrycznymi.

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz można przyjąć, że w miarę zwiększania się kąta nachylenia terenu powyżej $1,5^\circ$ ($1,3^\circ$), do aproksymacji jego powierzchni powinny być coraz szerzej stosowane metody fotogrametryczne lub pomiary za pomocą lotniczego skanera laserowego. Natomiast w terenach równinnych i płaskich lepsze wyniki w zakresie dokładności aproksymacji powierzchni można uzyskać na podstawie odpowiednio dokładnych geodezyjnych pomiarów metodą tachimetryczną lub metodami GPS. Mierzone punkty NMT powinny być wybierane bezpośrednio w terenie pod kątem jak najlepszej poprawności aproksymacji jego powierzchni. Postęp w tym zakresie może przynieść proponowana metoda „elektronicznego stolika” [22, 23, 24].

Do prowadzenia analiz w zakresie dokładności aproksymacji powierzchni terenu może być pomocna proponowana przez autora metoda oceny dokładności aproksymacji powierzchni terenu za pomocą przedstawionej wyżej formuły.

Literatura

1. ACKERMANN F., 1980: *The accuracy of digital terrain models*. Proc. of 37th Photogrammetric Week, University of Stuttgart. Stuttgart, 1980, nr 234.
2. CLAUS S., 1963: *Untersuchungen über Bodenrauigkeit und Kleinstformen*. Vermesst., 1963, nr 10
3. FREDRIKSEN P., JACOBI O., KUBIK K., 1986: *Optimum sampling spacing in digital terrain models*. Ibid., 1986, N 23.
4. FINSTERWALDER R., 1957: *Photogrammetrische Hohenschichtlinien*. Z. Vermessungswesen 1957, nr 10
5. GAŻDZICKI J., 1975: *Informatyka w geodezji i kartografii*. PPWK, Warszawa 1975.
6. GAŻDZICKI J., 1990: *Systemy informacji przestrzennej*. PPWK, Warszawa 1990.
7. KRAUS K., 1971: *Automatische Berechnung des digitale Höhenlinien*. Z. Vermessungsw. nr 6, 1971
8. KURCZYŃSKI Z., PREUSS R., 2000: *Podstawy fotogrametrii*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.

9. LI ZNILIN., 1993: *Mathematical models of the accuracy of digital terrain model surface lineary constructed from square gridded data*. Photogrammetric Record, 1993, Nr 14 (82).
10. PIASEK Z., MILBERT S., PIERZCHAŁA H., 1981: *Przegląd numerycznych modeli terenu*. Zesz. Nauk. AGH, Geodez., z. 62, Kraków 1981
11. SCHUT G.H., 1976: *Review of interpolation methods for digital terrain models*. XIIth Congress of the International Society for Photogrammetry. Helsinki, 1976.
12. SIERBIENIUK G.H., i inni, 1990 : *Metody modelowania geopoliej po danych w nieregularno rozłożonych punktach*. Geodezja i Kartografia, nr 11, Moskwa 1990.
13. SUNKEL K., 1980: *General Surface representation Model Design for Geodesy*. The Ohio State University, Raport No 292, 1980.
14. WYSOCKI J., 1977 : *Ocena dokładności fotogrametrycznych opracowań wysokościowych i analiza możliwości ich wykorzystania dla potrzeb wodnomelioracyjnych*. Zeszyty Naukowe SGGW-AR, Melioracje Rolne, 16, Warszawa 1977.
15. WYSOCKI J., 1979: *Analiza dokładności opracowań warstwicznych do projektowania drenowania użytków rolnych*. Zesz. Nauk. SGGW-AR, Melioracje Rolne, 1979, nr 18.
16. WYSOCKI J., 1981: *Comparative analysis of chosen methods of testing contour lines*. Ann. Wars. Agricult. Univ. SGGW, Land Reclam. 19, 1981.
17. WYSOCKI J., 1984 : *Wykorzystanie zdjęć lotniczych i metod stereofotogrametrycznych dla potrzeb wodnomelioracyjnych*. Przegląd Geodezyjny nr 5, Warszawa 1984.
18. WYSOCKI J., 1985: *O dokładności map warstwicznych przy cięciu równym 0,25m*. Przegl. Geodez., nr 4-5, Warszawa 1985
19. WYSOCKI J., 1987: *Problemy dokładności nowoczesnych technik opracowania wielkoskalowych map warstwicznych pod kątem potrzeb wodnomelioracyjnych*. Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa 1987
20. WYSOCKI J., 1995: *Porównanie dokładności wybranych metod komputerowych i analogowych wielkoskalowych opracowań warstwicznych*. Przegląd Geodezyjny 1995, nr 5.
21. WYSOCKI J., 1997: *On the approximation of the land surface in the computerised methods of working out contour lines*. Ann. Wars. Agricult. Univ. SGGW, Land Reclam 28, 1997.
22. WYSOCKI J., 1998: *Numeryczny model terenu (NMT) jako baza danych dla przestrzennego urządzania zlewni i potrzeb konstrukcji inżynierskich*. Mat. Konf. PAN, SGGW, Warszawa 1998.
23. WYSOCKI J., 1998: *Zagadnienie dokładności numerycznej aproksymacji powierzchni terenu przy pomocy (CMT) NMT*. Przegląd Geodezyjny nr 3, Warszawa 1998.
24. WYSOCKI J., 1998 : *Koncepcja metody „elektronicznego stolika” dla tworzenia in situ numerycznego modelu terenu oraz map warstwicznych*. Przegl. Nauk. Wydziału Inż. i KŚ, z. 14, Warszawa 1998.
25. WYSOCKI J., 1999: *Ocena dokładności numerycznego (cyfrowego) modelu powierzchni terenu (równinnego)*. Mat. XIV Konf. KiZG na Wydz. Nieg. Mielno 1999.
26. WYSOCKI J., 1999 : *Metody GPS i możliwości ich zastosowania do tworzenia numerycznego modelu terenu (NMT) dla inżynierii środowiska*. Przegląd Naukowy Wydziału Inż. i KŚ, z. 17, Warszawa 1999.
27. WYSOCKI J., 1999 : *Zagadnienie dokładności fotogrametrycznych opracowań wysokościowych*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 9, Kraków 1999.
28. WYSOCKI J., 2000: *Geodezja z fotogrametrią dla inżynierii środowiska i budownictwa*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2000 (podręcznik dotowany przez MEN)
29. WYSOCKI J., 2000 : *Zagadnienie oceny dokładności aproksymacji powierzchni terenu przy pomocy modelu numerycznego (cyfrowego)*. Przegląd Geodezyjny nr 11, Warszawa 2000.
30. WYSOCKI J., 2000 : *O metodach numerycznego modelu terenu dla budownictwa, inżynierii i kształtowania środowiska*. Mat. konf. PAN, SGGW nt. „Metody geodezji, fotogrametrii i teledetekcji dla inżynierii środowiska i budownictwa”. SGGW, Warszawa 2000.