

ACTA SCIENTIARUM POLONORUM

Czasopismo naukowe założone w 2001 roku przez polskie uczelnie rolnicze

Geodesia et Descriptio Terrarum

Geodezja i Kartografia

Geodesy and Cartography

8(2) 2009



Bydgoszcz Kraków Lublin Olsztyn
Poznań Siedlce Szczecin Warszawa Wrocław

Rada Programowa *Acta Scientiarum Polonorum*

Kazimierz Banasik (Warszawa), Janusz Falkowski (Olsztyn),
Florian Gambuś (Kraków), Franciszek Kluza (Lublin), Janusz Prusiński (Bydgoszcz),
Jerzy Sobota (Wrocław) – przewodniczący,
Stanisław Socha (Siedlce), Waldemar Uchman (Poznań)

Rada Naukowa serii *Geodesia et Descriptio Terrarum*

Bernard Kontny (Wrocław) – przewodniczący,
Hieronim Olenderek (Warszawa), Alojzy Wasilewski (Olsztyn),
Josef Weigel (Brno), Mirosław Żak (Kraków)

Sekretarz
Wojciech Dach
wojciech.dach@up.wroc.pl

Opracowanie redakcyjne i korekta:
Janina Szydłowska
Elżbieta Winiarska-Grabosz

Łamanie
Teresa Alicja Chmura

Projekt okładki
Daniel Morzyński

ISSN 1644–0668

*Wydanie publikacji dofinansowane ze środków Uniwersytetu Przyrodniczego
we Wrocławiu*

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu,
Wrocław 2009

Redaktor Naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki
ul. Sopocka 23, 50–344 Wrocław, tel./fax 71 328–12–77
e-mail: wyd@up.wroc.pl <http://www.up.wroc.pl>

Nakład 200 + 16 egz. Ark. wyd. 4,7. Ark. druk. 4,25
Druk i oprawa: EXPOL, P. Rybiński, J. Dąbek, Spółka Jawna
ul. Brzeska 4, 87–800 Włocławek

OPTYMALNY PRZYDZIAŁ GRUNTÓW DO GOSPODARSTW NA TLE STREF RÓŻNIC ODLEGŁOŚCI Z SIEDLISK DO DZIAŁEK

Stanisław Harasimowicz, Jarosław Janus

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W artykule przedstawiono podstawowe zasady przydziału działek do gospodarstw uwzględniające przebieg stref różnic odległości z siedlisk do działek i rozgraniczających je linii równych różnic odległości. Zarówno granice rozpatrywanych stref, jak i zasięgi ich obszarów stanowią istotną przesłankę do kształtowania właściwego przydziału gruntów do gospodarstw. Warunkiem poprawności przydziału działek do dwu wybranych gospodarstw jest występowanie ich tylko w jednej strefie różnic odległości, która oddziela działki należące do tych gospodarstw. Przez tę strefę oddzielającą przebiega również linia równych różnic odległości odgraniczająca działki obu gospodarstw w przypadku ich najkorzystniejszego położenia względem siedlisk. Wykorzystane w tym opracowaniu przykłady optymalizacji rozmieszczenia gruntów gospodarstw oraz przebiegu linii równych różnic odległości z siedlisk do działek i zasięgi stref odległości dotyczą dwóch gospodarstw położonych we wsi Wojków.

Słowa kluczowe: scalenia gruntów, struktura przestrzenna gruntów rolnych

WSTĘP

Odległość gruntów od siedlisk jest jedną z podstawowych cech rozłogu działki mającą znaczący wpływ na jej przydatność do uprawy rolnej. Przyjmuje się, że zwiększenie odległości do gruntów o jeden kilometr powoduje zmniejszenie dochodu uzyskiwanego z uprawy tych gruntów o 5 do 10% [Dębowska i Lachert 1974, Stelmach i in. 1975, Mantuffel 1979]. Przeciętna odległość działek od zabudowań gospodarczych zmienia się w dość dużym zakresie i może dochodzić nawet do kilku kilometrów. Zależy ona między innymi od takich czynników, jak: wielkość gospodarstwa i wsi, układ zabudowy i dróg dojazdowych do gruntów, jak również od występującego w danej wsi układu gruntowego. W przypadku osadnictwa skupionego odległość gruntów od siedlisk nie powinna przekraczać od 0,5 do 1,0 km [Woch 2001].

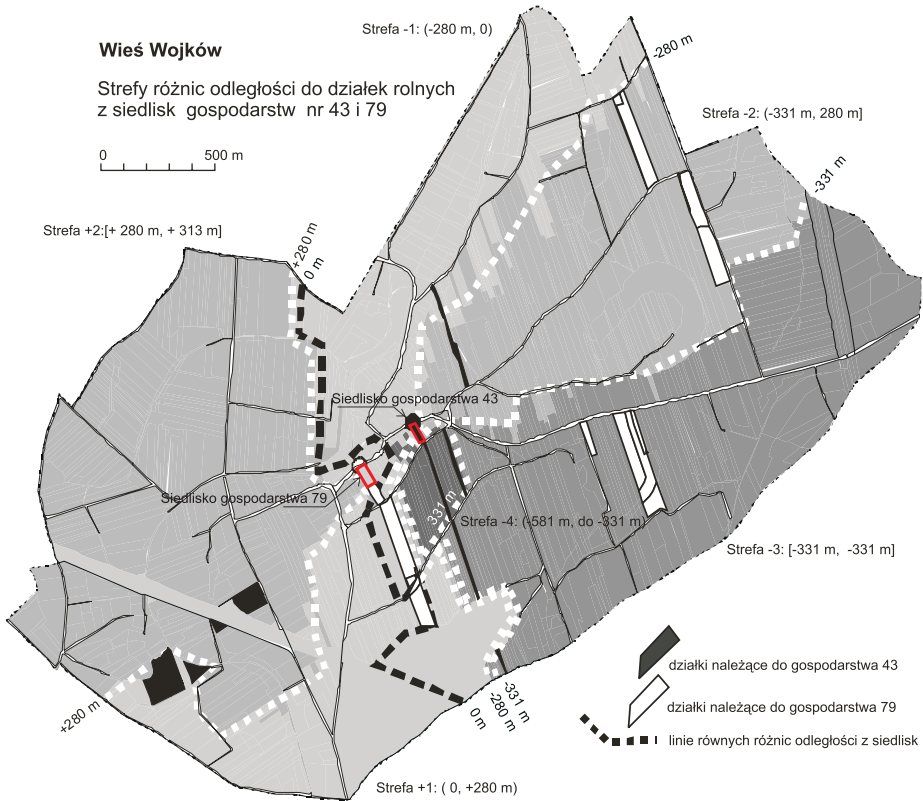
Odległość gruntów od siedlisk zależy w dużym stopniu od poprawności przydziału działek gruntowych do poszczególnych gospodarstw. Jednym z kryteriów oceny tej poprawności jest położenie działek rozpatrywanych gospodarstw w stosunku do linii i stref różnic odległości z siedlisk do tych działek [Harasimowicz 1986]. W artykule przedstawiono podstawowe zasady przydziału działek do gospodarstw uwzględniające przebieg stref różnic odległości z siedlisk do działek i rozgraniczających je linii równych różnic odległości. Wykorzystane w tym opracowaniu przykłady optymalizacji rozmieszczenia gruntów gospodarstw oraz przebiegi linii równych różnic odległości z siedlisk do działek i zasięgi stref odległości dotyczą dwóch gospodarstw (nr 43 i 79) położonych we wsi Wojków. Zostały one uzyskane przy użyciu mapy numerycznej oraz opracowanych dwóch programów komputerowych umożliwiających określenie macierzy odległości z siedlisk do działek [Harasimowicz i Janus 2006], a także optymalizację rozmieszczenia gruntów wybranych gospodarstw uwzględniającą minimalizację odległości z siedlisk do działek.

STREFY I LINIE RÓŻNIC ODLEGŁOŚCI ORAZ ICH WPLYW NA PRZEBIEG GRANIC GOSPODARSTW

Strefy różnic odległości z siedlisk gospodarstw 43 i 79 przedstawione na rycinie 1 uwzględniają pełną zmienność różnic odległości do wszystkich działek z obu siedlisk od -581 do +373 m. Granice między strefami różnic odległości do działek z siedlisk wybranych gospodarstw pokrywają się z liniami równych różnic odległości przebiegającymi z zasady przez niektóre skrzyżowania dróg lub wyjazdy z siedlisk, decydującymi o utworzeniu poszczególnych stref.

Poszczególne strefy obejmują obok charakteryzującej daną strefę różnicy odległości wspólną dla dużej grupy działek również te sąsiadujące przedziały różnic odległości, w których zmieniają się one w sposób miarę ciągły i są reprezentowane przez nieliczne działki. Wszystkie strefy różnic odległości z siedlisk przedstawione na rycinie 1 zawierają jedną lub kilka niewielkich różnic odległości (wspólna różnica odległości strefy), które dotyczą określonego skrzyżowania dróg albo siedliska i są uzyskiwane przez zdecydowaną większość działek tworzących daną strefę. Każda wyróżniona strefa różnic odległości posiada biegnącą przez nią drogę, której zbiornia zajmuje przeważającą część jej obszaru i obejmuje działki o jednakowej (wspólnej) różnicy odległości z siedlisk. Podstawowym warunkiem wyodrębnienia strefy odległości i wystąpienia większej grupy działek o wspólnej różnicy odległości z siedlisk jest pojawienie się odpowiednio usytuowanej drogi zapewniającej dojazd do tych działek. Działki o określonej różnicy odległości stanowią przeciętnie około 90% wszystkich działek należących do tych stref. Udział tych działek w poszczególnych strefach odległości zaznaczonych na rycinie 1 zmienia się od 60 do 100%. Ażeby zachować pełną zmienność różnic odległości do działek w poszczególnych strefach odległości, do odpowiednio dużej grupy działek o wspólnej różnicy odległości dołączane są nieliczne działki, uzyskując różnice odległości zmieniające się w przedziałach zawartych między wspólnymi odległościami sąsiadujących stref. Wyróżnione strefy różnic odległości z siedlisk należy traktować w pewnym sensie jako strefy wspólnych różnic odległości, mimo że formalnie obejmują czasem dość duże zmiany tych różnic odległości. Brak istotnych zmian różnic odległości w wydzielonych strefach

sprawa, że mogą być w nich wymieniane działki obu rozpatrywanych gospodarstw bez wpływu na średnią odległość do gruntów. Zmniejszenie średniej odległości z siedlisk może być uzyskane przez wymiany działek danego gospodarstwa z porównywanym ze stref o dużej do stref o mniejszej różnicy odległości z siedlisk.



Ryc. 1. Strefy różnic odległości do działek rolnych z siedlisk gospodarstw 43 i 79 oraz działki należące do tych gospodarstw przed optymalizacją rozmieszczenia gruntów

Fig. 1. Zones of differences in distances between agricultural parcels and homesteads of the farms No. 43 and No. 79 including parcels belonging to those farm prior to optimization of the lands layout

Analizę przydziałów gruntów do dwu rozpatrywanych gospodarstw znacznie ułatwiają zarówno zasięgi wyodrębnionych stref różnic odległości, jak i rozgraniczające te strefy linie równych odległości z siedlisk. Linie równych różnic odległości z siedlisk określają granice między gospodarstwami o przyjętej powierzchni, których grunty położone są najbliżej siedlisk tych gospodarstw [Harasimowicz 1986]. Zasada ta dotyczy zarówno wszystkich gruntów leżących w danej wsi, jak również wybranych działek. Optymalny przydział działek do gospodarstw ma miejsce wtedy, gdy istnieje taka linia równych różnic odległości, która rozdziela wszystkie działki jednego i drugiego gospodarstwa. Przedstawiona na rycinie 1 linia równych odległości do działek pokazuje podział wsi

między dwa rozpatrywane siedliska pozwalający na uzyskanie najmniejszej odległości do gruntów. Zwiększając obszar gruntów należących do gospodarstwa 79, granica między gospodarstwami przesuwając się będzie w kierunku gospodarstwa 43, przy czym będzie to nadal jakaś linia równych odległości. Linia równych różnic odległości wynoszących -280 m określa na przykład najkorzystniejszy podział wsi między brane pod uwagę gospodarstwa nawiązujący do odpowiedniej powierzchni tych gospodarstw. Na podobnej zasadzie można oceniać poprawność przydziału działek do gospodarstw. Przydział taki jest poprawny, jeżeli działki obu gospodarstw leżą po przeciwnej stronie jakiejś linii równych różnic odległości.

Pewna dowolność przebiegu granicy między gospodarstwami wiąże się z obszarami równych różnic odległości do działek, w które mogą przechodzić linie równych różnic odległości. Optymalny przebieg granicy między gospodarstwami na obszarze równych różnic odległości do działek jest nieoznaczony, dzięki czemu granica ta może być dowolnie kształtowana. Podobnie działki rozpatrywanych gospodarstw położone na obszarze równych różnic odległości mogą być wymieniane bez wpływu na przeciętną odległość gruntów od siedlisk.

Wydzielone strefy różnic odległości zawierają w zdecydowanej większości działki o identycznej różnicy odległości z siedlisk, dlatego mogą być traktowane jako obszary równych różnic odległości i taki jest między innymi cel tworzenia tych stref. Zarówno granice rozpatrywanych stref, jak i zasięgi ich obszarów stanowią istotną przesłankę dla kształtowania właściwego przydziału gruntów do gospodarstw. Przeciętna odległość gruntów od siedlisk ulega zmniejszeniu w przypadku wymiany działek, które prowadzą do przejmowania gruntów położonych w strefach o mniejszych różnicach odległości do działek z siedlisk branych pod uwagę gospodarstw. Warunkiem poprawności przydziału działek do gospodarstw jest występowanie działek obu gospodarstw tylko w jednej strefie różnic odległości, która oddziela działki należące do tych gospodarstw. Przez tę strefę oddzielającą przebiega również linia równych różnic odległości odgraniczająca działki obu gospodarstw w przypadku ich najkorzystniejszego położenia względem siedlisk.

ROZŁOGI ROZPATRYWANYCH GOSPODARSTW PRZED OPTYMALIZACJĄ

Na rycinie 1 przedstawiono rozłogi gospodarstw 43 i 79 przed optymalizacją rozmieszczenia ich gruntów na tle wydzielonych stref różnic odległości do działek z siedlisk tych gospodarstw. Siedliska rozpatrywanych gospodarstw leżą w pobliżu centrum wsi w niewielkiej odległości od siebie wynoszącej około 300 m. Ogranicza to wpływ przynależności działek do rozpatrywanych gospodarstw na przeciętną odległość tych działek od zabudowań gospodarczych. Najmniej korzystna przynależność działek do gospodarstw może spowodować przyrost średniej odległości do gruntów, co najwyżej o 300 m. Działki obu gospodarstw rozrzucone są po całym obszarze wsi w różnych odległościach od siedlisk. W każdym gospodarstwie występują działki położone w pobliżu zabudowań oraz działki leżące w dalszych od nich odległościach przy granicach wsi.

Mimo podobnego rozmieszczenia działek w rozpatrywanych gospodarstwach ich średnie odległości do gruntów różnią się dość wyraźnie. Gospodarstwo 43 uzyskało dość dużą średnią odległość do gruntów wynoszącą 2134 m (ryc. 1, tab. 1), ponieważ ma kilka działek położonych po lewej stronie wsi odciętych od zabudowań torem kolejowym, co

wyduża trasę dojazdu o blisko 50%. Średnia odległość do gruntów w gospodarstwie 79 jest znacznie mniejsza i wynosi 1392 m, mimo że część jego działek leży w podobnie dużych odległościach od jego siedliska jak w gospodarstwie 43. Działki te mają jednak dobre połączenia drogowe ze strefą zabudowy, dzięki czemu trasy dojazdu zbliżone są do linii prostych.

Tabela 1. Średnie odległości do działek z siedlisk gospodarstw 43 i 79 we wsi Wojków przed i po optymalizacji rozmieszczenia gruntów

Table 1. Average distances between lands and homesteads in the farms No. 43 and No. 79 in Wojków village prior to and after optimisation of lands layout

Oznaczenie gospodarstwa Farm No.	Średnia odległość z siedlisk do gruntów [m] Average distance between lands and homesteads [m]		Zmiana średniej odległości [m] Change of average distance [m]	Średnia odległość do wszystkich działek we wsi Average distance to all land plots in the Wojków village [m]
	przed optymalizacją prior to optimisation	po optymalizacji after optimisation		
	Gospodarstwo 43 Farm No. 43	2134		
Gospodarstwo 79 Farm No. 79	1392	1731	+339	1412
Razem gosp. 43 i 79 Summary: farm No. 43 and No 79	1630	1501	-130	1544

Siedlisko gospodarstwa 79 jest bardziej oddalone od centrum wsi niż siedlisko gospodarstwa 43, mimo to jego położenie komunikacyjne uwzględniające dojazdy do pól w całej wsi jest korzystniejsze. Średnia odległość do wszystkich działek we wsi Wojków od siedliska gospodarstwa 79 wynosi 1412 m (tab. 1) i jest o 265 m mniejsza niż w gospodarstwie 43 (1677 m). Wiąże się to z bliższym położeniem siedliska gospodarstwa 79, niż siedliska gospodarstwa 43, tej części wsi, która ma gorzej ukształtowaną sieć dróg dojazdowych do działek, ze względu na występowanie wielu przeszkód terenowych w postaci potoków, rowów odwadniających czy linii kolejowej. Konsekwencją okrężnych dojazdów do działek położonych w tej części wsi jest ich większa odległość od zabudowań rolnych, co wpływa na zmniejszenie średniej odległości siedlisk położonych w bliższych odległościach od rozpatrywanej części wsi.

Przedstawiona na rycinie 1 linia równych odległości do działek z siedlisk dwu rozpatrywanych gospodarstw (najbardziej zacerniona linia równych różnic odległości) oddziela działki położone bliżej jednego i drugiego siedliska. Linia ta wyodrębnia działki, które powinny należeć do poszczególnych gospodarstw, aby przeciętna odległość do gruntów była najmniejsza. Istniejący przydział działek do gospodarstw odbiega zupełnie od przydziału najkorzystniejszego minimalizującego odległości do ziemi. Jedynie dwie działki gospodarstwa 79 położone są bliżej siedliska tego gospodarstwa niż gospodarstwa 43. Podobnie niekorzystnie rozmieszczone są działki gospodarstwa 43. Przeważająca część gruntów tego gospodarstwa leży w strefie bardziej odległej od jego siedliska niż od siedliska drugiego gospodarstwa. Takie rozmieszczenie gruntów analizowanych gospodarstw daje duże możliwości wymiany ziemi między tymi gospodarstwami prowadzących do przybliżenia tych gruntów do siedlisk.

ROZŁOGI ROZPATRYWANYCH GOSPODARSTW PO OPTYMALIZACJI ROZMIESZCZENIA GRUNTÓW W STOSUNKU DO SIEDLISK

Optimalizacja przydziału gruntów do dwóch rozpatrywanych gospodarstw została przeprowadzona na podstawie trzech plików wyjściowych zawierających listę gospodarstw i listę działek z ich powierzchniami oraz przynależnością do gospodarstw, a także macierz odległości. Końcowym efektem procedury optymalizacyjnej jest w zasadzie jeden istotny plik wynikowy zawierający listę działek lub ich części wraz z ich przynależnością do gospodarstw umożliwiającą uzyskanie najmniejszej odległości gruntów od siedlisk, przy założonych obszarach gospodarstw.

Wyniki optymalizacji w odniesieniu do gospodarstwa 43 ujęte w formie graficznej przedstawia rycina 2, która jest tworzona w ramach poszerzonej procedury optymalizacyjnej, przy użyciu opracowanego programu oraz makropolecenia działającego w programie MicroStation. Podobne ryciny mogą być uzyskane dla pozostałych gospodarstw biorących udział w optymalizacji rozmieszczenia ich gruntów.



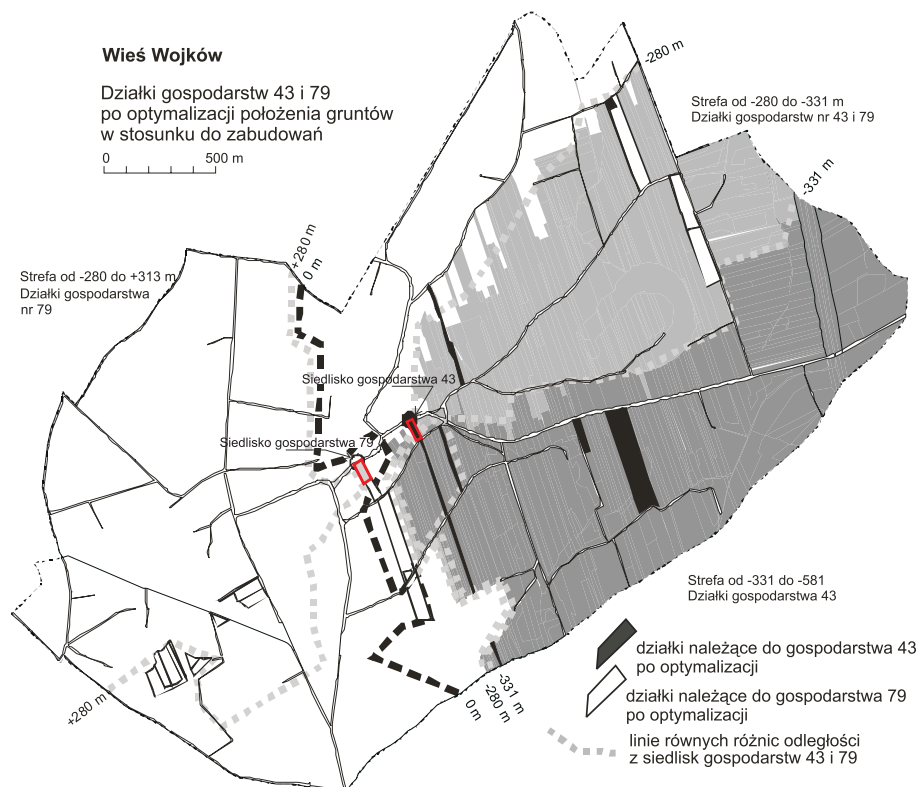
Ryc. 2. Działki gospodarstwa 43 po wymianie z gospodarstwem 79 pozwalającej na zbliżenie gruntów do siedlisk w obu gospodarstwach przeciętnie o około 150 m

Fig. 2. Parcels belonging to farm No. 43 after land exchange with farm No. 79, which resulted in shortening of the distance between agricultural parcels and homesteads in both farms on average by approximately 150 m

Na rycinie 2 zaznaczono działki należące do gospodarstwa 43 przed i po ich wymianie z gospodarstwem 79 mającej na celu zbliżenie gruntów do siedlisk w obu gospodarstwach. Obok każdej działki wpisano, jaka jej część należy do gospodarstwa 43 po wymianie z gospodarstwem 79 (na podstawie pliku zawierającego wyniki optymalizacji przydziału gruntów do gospodarstw). Wszystkie działki należące do gospodarstwa 43 położone dalej od siedliska tego gospodarstwa niż do siedliska gospodarstwa 79 (posiadające dodatnie różnice odległości z siedlisk gospodarstw zaznaczone na rycinie 2 bez wypełnienia) zostały wymienione z gospodarstwem 79 na działki leżące bliżej siedliska gospodarstwa 43 (mające ujemną różnicę odległości z siedlisk, zaznaczone szarością). W procesie optymalizacji wymiany te obejmowały kolejne działki leżące w strefach o największych różnicach odległości z siedlisk (różnice odległości nieco mniejsze i przekraczające 280 m) na działki położone w strefach o możliwie dużych ujemnych różnicach odległości (-331 oraz -280 m). Rozpatrywane wymiany dotyczące kolejnych całych działek zostały zakończone na małej działce, położonej w górnej części rysunku wsi w pobliżu linii równych różnic odległości wynoszących -280 m. Tylko trzecia część tej działki przejęta została przez gospodarstwo 43. Pozostałe dwie trzecie rozpatrywanej działki nadal należą do gospodarstwa 79, ponieważ wyczerpane zostały możliwości wymian gruntów między analizowanymi gospodarstwami zmniejszające odległość tych gruntów od siedlisk. Jedynie 5 działek należących do gospodarstwa 43 zaznaczonych na rycinie 2 czarnym kolorem pozostało w nim po wymianie gruntów z gospodarstwem 79. Są to działki położone w niewielkich odległościach od siedliska gospodarstwa 43 w strefach o najmniejszych różnicach odległości z siedlisk obu gospodarstw (różnice odległości równe -331 i mniejsze).

Na rycinie 3 przedstawiono rozłogi gospodarstw 43 i 79 po optymalizacji rozmieszczenia gruntów w stosunku do siedlisk. W stanie wyjściowym średnia odległość z siedlisk do gruntów w obu gospodarstwach wynosiła 1630 m (tab. 1) i uległa zmniejszeniu o 130 m w wyniku dokonanych wymian gruntów. Wymiany gruntów prowadzone w procesie optymalizacji odmiennie wpływały na średnie odległości do działek w poszczególnych gospodarstwach. W gospodarstwie 43 średnia odległość do gruntów zmniejszyła się o ponad 1100 m, czyli o nieco więcej niż połowę, natomiast w gospodarstwie 79 zwiększyła się o ponad 300 m (wzrost o 25%).

Położenie działek rozpatrywanych gospodarstw po optymalizacji rozmieszczenia ich gruntów w stosunku do przebiegu linii równych różnic odległości z siedlisk potwierdza poprawność tej optymalizacji. W strefie różnic odległości z siedlisk od -331 do -280 m zaznaczonej na rycinie 3 pierwszym stopniem szarości występują działki obu gospodarstw. W strefie tej, będącej w przeważającej części strefą różnic odległości określoną przez wyjazd z siedliska gospodarstwa 43, możliwe są wymiany działek należących do obu gospodarstw bez wpływu na średnią odległość gruntów od siedlisk obu gospodarstw. W rozwiązaniu optymalnym zachowana została w większości przypadków wyjściowa przynależność działek do gospodarstw, ponieważ wymiany gruntów w tej strefie nie były zbyt duże. Omawiana strefa różnic odległości dzieli wieś na części, w których występują działki jednego lub drugiego gospodarstwa. W jednej z tych stref obejmującej działki uzyskujące różnice odległości z siedlisk większe od -280 m występują jedynie działki należące do gospodarstwa 79. Druga strefa zaznaczona na rycinie 3 drugim stopniem szarości, do której należą działki o różnicy odległości z siedlisk mniejszej od -331 m, grupuje wyłącznie działki gospodarstwa 43 zaznaczone czarnym kolorem.



Ryc. 3. Działki gospodarstw 43 i 79 po optymalizacji rozmieszczenia gruntów pozwalającej na ich średnie zbliżenie do siedlisk o około 150 m

Fig. 3. Parcels belonging to farms No. 43 and No. 79 after optimization of lands layout, which resulted in average shortening of the distance to the homesteads by approximately 150 m

WNIOSKI

Przedstawiony proces optymalizacji dotyczył dwóch gospodarstw i dlatego mógł być dość dokładnie uzasadniony na podstawie przebiegu linii równych różnic odległości z siedlisk. Przebieg takich linii dla większej liczby gospodarstw jest bardziej złożony przez wzajemne nakładanie się i przecinanie, co zasadniczo utrudnia wyodrębnianie i interpretację tych linii. Przedstawione rozważania mogą być jednak do pewnego stopnia uogólnione, ponieważ w przypadku optymalnego przydziału gruntów do gospodarstw granice przebiegają zwykle wzdłuż jakichś linii równych odległości z sąsiednich siedlisk [Harasimowicz 1986]. Przebieg i wybór tej linii zależy zarówno od położenia siedlisk i układu dróg dojazdowych do gruntów we wsi, jak i od ujmowanej całościowo struktury obszarowej gospodarstwa. Ustalenie zasięgu obszarów i linii równych różnic odległości z siedlisk decydujących o przebiegu granic gospodarstw w rozwiązaniu optymalnym jest zagadnieniem złożonym, ale istotnym dla praktyki kształtowania układów gruntowych, dlatego że określa rozległe granice nieoznaczoności tego rozwiązania, czyli zakres jego modyfikacji nie wpływający na przeciętną odległość do gruntów.

PIŚMIENNICTWO

- Dembowska Z., Lachert Z., 1974. Zagospodarowanie przestrzenne wsi a warunki produkcji roślinnej w gospodarstwach chłopskich. PWN, Warszawa.
- Harasimowicz S., 1986. Optymalizacja podziału wsi na gospodarstwa ze względu na odległość gruntów od siedlisk. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, Rozprawa habilitacyjna nr 110.
- Harasimowicz S., Janus J., 2006. Określenie najkrótszej trasy między działką a siedliskiem za pomocą grafu sieci drogowej i przemieszczeń po granicach działek. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich nr 2/1, PAN Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi, 49–60.
- Manteuffel R., 1879, *Ekonomika i organizacja gospodarstwa rolnego*. PWiPiL, Warszawa.
- Stelmach M., Lasota T., Malina R., Sugalski A., 1975. Wpływ oddalenia pól od zabudowy na produkcję i dochody gospodarstw indywidualnych. III Sympozjum Naukowe nt. „Nowe tendencje w teorii i praktyce zarządzania terenów wiejskich”, AR we Wrocławiu, 126–135.
- Woch R., 2001. Optymalne parametry rozłogu gruntów gospodarstw rodzinnych dla terenów wyżynnych Polski. *Pamiętnik Puławski*, z. 127.

AN OPTIMUM LAND ALLOCATION TO FARM HOLDINGS BASED ON ZONES OF DISPARITIES CONCERNING DISTANCES BETWEEN HOMESTEAD AREAS AND LAND PLOTS

Abstract. The editorial describes basic rules of allocation of land plots to farm holdings that take under consideration a course of zones of disparities concerning distances between homestead areas and land plots. The borders of considered zones represent an important premise in a process of forming an appropriate allocation of land plots to farm holdings. Location of land plots belonging to two farm holdings within the same zone of distance disparities is a condition for correctness of allocation of plots to the two chosen farm holdings. The said zone divides land plots belonging to those farm holdings. Examples of optimization of farm holdings' lands as well as routes of lines defining equal disparities of distances showed in this elaboration concern two farm holdings situated in Wojków village.

Key words: land consolidation, spatial structure of farm land

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.06.2009

Do cytowania – For citation: Harasimowicz S., Janus J., 2009. Optymalny przydział gruntów do gospodarstw na tle stref różnic odległości z siedlisk do działek. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.*, 8(2), 3–12.

MODELOWANIE PROCESU GENERALIZACJI^{1,2}

Izabela Karsznia

Uniwersytet Warszawski

Streszczenie. Automatyczna generalizacja danych przestrzennych była i jest celem badań wielu ośrodków naukowych na świecie. Niestety, ani obecny stan wiedzy, ani też istniejąca technologia nie pozwalają tego celu w pełni zrealizować. Jednym z czynników utrudniających automatyczną generalizację danych przestrzennych jest złożoność, kompleksowość samego procesu. W odpowiedzi na ten problem podejmowane są próby usystematyzowania czynności, składających się na proces generalizacji, w postaci modelu.

Autorka charakteryzuje istniejące typy modelowania procesu generalizacji, podejmuje próbę generalizacji wybranych elementów Bazy Danych Ogólnogeograficznych, w trybie półautomatycznym w środowisku DynaGEN oraz opisuje koncepcję modelowania warunkowego w środowisku Clarity.

Słowa kluczowe: automatyzacja generalizacji danych przestrzennych, Baza Danych Ogólnogeograficznych, modelowanie procesu generalizacji

WSTĘP

Na kompleksowość i potrzebę automatyzacji procesu generalizacji wskazywało wielu kartografów. Sydow zaliczył generalizację do jednego z najbardziej skomplikowanych zadań kartografii, umieszczając ją w gronie trzech „raf” obok przedstawiania na płaszczyźnie sferoidalnej powierzchni Ziemi oraz przedstawiania nierówności powierzchni Ziemi, a więc jej rzeźby [Pawlak 1971].

Jednym z czynników utrudniających automatyczną generalizację danych przestrzennych jest złożoność, kompleksowość samego procesu. W odpowiedzi na ten problem podejmowane są próby usystematyzowania czynności składających się na proces generalizacji w postaci modelu.

¹ Inspiracją do napisania artykułu był wykład prof. R. Weibla „Modelling the generalization process”, wygłoszony podczas warsztatów dotyczących automatyzacji generalizacji danych przestrzennych w Hiszpanii, w lipcu 2005 r.

² Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2009 jako projekt badawczy nr N N306 3005 33.

Modele generalizacji ujmują proces generalizacji w sposób ogólny, wskazując na jego podstawowe elementy oraz relacje między nimi [Iwaniak 1998]. Pierwsze modelowe ujęcia pojawiły się w latach 70. i 80. [Ratajski 1967, 1973, Morrison 1974], gdy nie było jeszcze potrzeby ujmowania tego procesu z punktu widzenia zastosowań komputerowych. W latach 80. opracowano kilka modeli uwzględniających potrzeby systemów komputerowych [Brassel 1985].

Opracowanie modelu generalizacji ma na celu rozłożenie procesu na szereg tzw. operatorów generalizacji (np. operator upraszczania czy agregacji), które implementowane są w postaci algorytmów, a kontrolowane przez kilka parametrów (np. minimalna powierzchnia czy maksymalna długość). Usystematyzowanie poszczególnych czynności generalizacyjnych w postaci modelu oraz przypisanie im odpowiednich operatorów generalizacji ma na celu kontrolę procesu.

Autorzy jednego z popularnych modeli generalizacji, wykorzystanego między innymi w systemie wspomagającym automatyzację generalizacji DynaGEN, profesorowie McMaster i Shea proponują sprowadzenie procesu generalizacji do odpowiedzi na trzy zasadnicze pytania:

- „Kiedy generalizować”? – W przypadku kiedy jednocześnie ze zmniejszaniem skali mapy zmniejsza się jej czytelność.
- „Po co generalizować”? – W celu zredukowania złożoności mapy oraz wziąć pod uwagę jej przeznaczenie.
- „Jak generalizować”? – A więc przypisanie czynności generalizacyjnej odpowiedniego algorytmu, ułożenie czynności generalizacyjnych w odpowiedniej sekwencji (w zależności od ich wagi), ustalenie odpowiednich wartości parametrów, przypisanych poszczególnym algorytmom generalizacji (na podstawie instrukcji generalizacji w danej skali, jeśli taka została opracowana lub za pomocą zasad metodycznych opisanych w literaturze) oraz ocena wyników generalizacji i ewentualnie kolejne przybliżenie (iteracja) procesu.

Można więc powiedzieć, że modelowanie procesu generalizacji jest tożsame z jego kontrolą.

Wyróżniamy trzy podstawowe sposoby modelowania procesu generalizacji:

- Interaktywny – proces generalizacji jest całkowicie pod kontrolą operatora.
- Półautomatyczny – te czynności generalizacyjne, które można wykonać automatycznie, są wykonywane w trybie automatycznym, a pozostałe elementy w trybie interaktywnym.
- Automatyczny – jeśli satysfakcjonujące rozwiązanie (efekt generalizacji) możemy osiągnąć bez udziału operatora.

W pewnych zadaniach generalizacyjnych system wspomagający automatyzację generalizacji jest niezbędny, gdyż działa szybciej i skuteczniej niż operator wykonujący te same zadania manualnie. W dalszym ciągu jednak pełna automatyzacja procesu generalizacji nie jest możliwa. Aby osiągnąć pełną automatyzację, należałoby wyposażyć system generalizacyjny w cechy właściwe tylko człowiekowi, jak zdolność abstrakcyjnego myślenia, przewidywania potrzeby generalizacji, dobór operatorów odpowiednio do danej czynności generalizacyjnej i ułożenie ich we właściwej, z punktu widzenia metodyki generalizacji, sekwencji oraz zdolność oceny poprawności wyniku generalizacji. System generalizacyjny musiałby więc zostać wyposażony w tzw. wiedzę strukturalną.

W związku z powyższym automatyzacja pewnych czynności generalizacyjnych jest możliwa tylko wówczas, gdy wiedza metodyczna potrzebna do kontrolowania procesu generalizacji może zostać sformalizowana. Jeśli nie jest to możliwe, kontrolę nad prowadzeniem procesu generalizacji musi przejąć kartograf.

CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem opracowania jest przypisanie odpowiedniej ilości informacji danemu poziomowi szczegółowości, a w rezultacie próba opracowania podstaw metodycznych generalizacji BDO. Realizowany eksperyment jest niezwykle istotny z punktu widzenia budowy infrastruktury danych przestrzennych w naszym kraju [Chybicka 2004]. Do przeprowadzenia eksperymentu wykorzystano system wspomagający automatyzację generalizacji DynaGEN.

Zakres opracowania obejmuje próbę automatyzacji generalizacji warstw tematycznych – sieci dróg oraz osadnictwa – dla obszaru województwa dolnośląskiego. Badania te są kontynuacją wcześniejszych prac generalizacyjnych związanych z określeniem możliwości generalizacji baz danych przestrzennych [Chybicka, Iwaniak, Ostrowski 2004].

METODY MODELOWANIA PROCESU GENERALIZACJI

Do połowy lat 80. próby automatycznej generalizacji wykonywano w trybie wsadowym. Proces generalizacji prowadzony był bez ingerencji operatora, a czynności generalizacyjne modelowane w postaci sekwencyjnie ułożonych łańcuchów operacji.

W końcu lat 80. zajęto się modelowaniem, stosując reguły „jeśli...to”. Ta metoda modelowania zostanie szczegółowo scharakteryzowana w dalszej części artykułu.

Żadna jednak z wymienionych metod modelowania nie pozwoliła na pełną automatyzację procesu generalizacji, w obu przypadkach niezbędne okazały się manualne poprawki operatora. Dlatego też na początku lat 90. skłaniano się raczej ku modelowaniu interaktywnemu prowadzonemu w środowisku komputerowym, z udziałem i pod kontrolą operatora. Modelowanie interaktywne stosowane jest do dziś – pomocniczo po wykonaniu generalizacji w trybie automatycznym.

Przełom w próbach automatyzacji generalizacji przyniosły późne lata 90. Pojawiły się wówczas próby automatycznej generalizacji danych przestrzennych za pomocą elementów sztucznej inteligencji, czyli tzw. modelowanie warunkowe.

Modelowanie procesu za pomocą reguł „jeśli...to”

W modelowaniu za pomocą reguł można wyróżnić dwa zasadnicze etapy:

- Rozpoznanie struktury danych, a więc klasyfikacja obiektów i relacji między nimi.
- Wykonanie czynności generalizacyjnej, zastosowanie poszczególnych algorytmów generalizacji do czynności generalizacyjnych.

Przed przystąpieniem do procesu generalizacji operator opracowuje tzw. bazę wiedzy, w której gromadzone są reguły dotyczące przebiegu poszczególnych czynności generalizacyjnych.

Omawianą metodę modelowania wykorzystywano do kontroli procesu generalizacji w systemach ekspertowych w latach 80. Przykładem implementacji jest system Nickersona [1988] czy Schylberga [1993].

Podstawę modelowania regułowego stanowi baza wiedzy składająca się z reguł rządzących procesem generalizacji, a opracowywana na podstawie wskazówek metodycznych zawartych w literaturze bądź instrukcjach redakcji map w odpowiednich skalach. Metodyka generalizacji jest więc przekładana na język komputera, a następnie implementowana w środowisku GIS, w systemie wspomagającym automatyczną generalizację danych przestrzennych.

Zalety modelowania regułowego obejmują:

- Możliwość kontroli wykonywanych czynności generalizacyjnych (definiowania reguł, a więc opracowywania bazy wiedzy).
- Możliwość wykonania wielu prób (iteracji) poszczególnych czynności generalizacyjnych.

Do ograniczeń tej metody zaliczyć można:

- Konieczność formalizacji zasad generalizacji w celu opracowania bazy wiedzy (zbioru reguł), co, zważywszy na niejednokrotnie intuicyjny charakter metodyki kartograficznej, może być zadaniem skomplikowanym.
- Ze względu na złożoność generalizacji opracowanie samych reguł jest niewystarczające, pozwalają one bowiem w pewnym stopniu kontrolować przebieg procesu, ale nie uwzględniają wagi poszczególnych czynności generalizacyjnych (a więc kolejności ich wykonywania) oraz oceny wyników generalizacji.

Modelowanie półautomatyczne

Modelowanie półautomatyczne polega na współdziałaniu operatora oraz systemu wspomagającego automatyczną generalizację danych przestrzennych. Czynności generalizacyjne, które mogą być w pełni sformalizowane, wykonywane są w środowisku komputerowym, w trybie automatycznym, zadaniem zaś operatora jest kontrola przebiegu procesu oraz manualne poprawki wyników generalizacji, wykonywane w trybie interaktywnym.

Przykładem komercyjnych, półautomatycznych systemów wspomagających automatyczną generalizację danych przestrzennych są: środowisko DynaGEN firmy Intergraph, ArcGIS firmy ESRI oraz LAMPS2 firmy ISpatial. W wymienionych systemach kartograf ma do dyspozycji szeroki zakres operatorów generalizacji, które może przypisywać odpowiednim czynnościom generalizacyjnym.

Wadą tego typu systemów jest jednak fakt, iż dostępne w nich operatory generalizacji służą do generalizacji pojedynczych obiektów, nie mają więc charakteru kontekstowego. Do zalet zaliczyć można interaktywną kontrolę wartości parametrów przypisywanych poszczególnym algorytmom generalizacji oraz możliwość sprawdzenia poprawności działania zaimplementowanej sekwencji operatorów i parametrów generalizacji na fragmencie danych, by następnie powtórzyć proces dla całego opracowania.

Modelowanie półautomatyczne z wykorzystaniem elementów wzmocnionej inteligencji

Koncepcję „wzmocnionej inteligencji” („amplified intelligence”) w środowisku wspomagającym generalizację danych przestrzennych zaproponował Weibel [1991]. Jest to strategia pośrednia między systemami ekspertowymi a algorytmicznymi. Kartograf ini-

cjuje, kontroluje i ocenia te funkcje systemu, które wykonywane są w trybie automatycznym. Interaktywny tryb pracy umożliwi akceptację lub rezygnację z danego rozwiązania oraz dobór innych operatorów czy parametrów do poszczególnych czynności generalizacyjnych. System wspomagający automatyzację generalizacji danych przestrzennych, w którym zaimplementowano podejście wzmocnionej inteligencji, umożliwi wykonywanie operacji na wysokim poziomie konceptualnym (np. „połącz wybrane budynki”), dzięki czemu praca kartografa polega raczej na kontroli procesu generalizacji i podejmowaniu decyzji niż szczegółowej redakcji mapy [Iwaniak 1997].

Zaletą tego typu modelowania jest fakt, że w systemie wzmocnionej inteligencji wychwycone zostają powstałe konflikty ze wskazaniem możliwych rozwiązań, nadal jednak ostateczną decyzję pozostawiając w rękach operatora. Do wad zaliczyć można brak algorytmów uwzględniających kontekst obiektów, metod automatycznego rozpoznawania ich struktury oraz fakt, że w dalszym ciągu poprawność wyników generalizacji uzależniona jest w dużej mierze od doświadczenia i umiejętności operatora systemu.

Modelowanie warunkowe

Autorzy modelowania warunkowego zakładają, że zgeneralizowana mapa powinna spełniać kilka warunków. Stanowią one pewnego rodzaju ograniczenia w procesie generalizacji, który powinien polegać na znalezieniu optymalnego rozwiązania przy jednoczesnym uwzględnieniu zadanych warunków w jak największym stopniu.

Dobłą ilustracją modelowania warunkowego są warunki (ograniczenia) dla budynków. Ruas [1999] wyróżnia cztery podstawowe warunki, które powinny spełniać budynki:

- Warunek minimalnej wielkości – tak aby budynek był czytelny. Warunek ten uzależniony jest od skali mapy po generalizacji oraz wielkości symboli, określonych w instrukcjach redakcji map.
- Warunek minimalnej szerokości budynku – zależny od czytelności.
- Warunek zachowania położenia budynku – po generalizacji położenie budynku powinno być zachowane na tyle, na ile to możliwe.
- Warunek zachowania orientacji budynku – orientacja budynku nie powinna po generalizacji ulec zmianie.
- Inne warunki.

Różnica między modelowaniem za pomocą reguł „jeśli...to” a modelowaniem warunkowym polega na tym, że w pierwszym typie modelowania reguły rządzą przebiegiem procesu, a w drugim warunki (ograniczenia) wskazują, jaki ma być jego rezultat. W modelowaniu regułowym każdy warunek przypisany jest określonej czynności generalizacyjnej („jeśli...to”), warunkowym przebiegiem procesu generalizacji rządzi zespół warunków, które mają być spełnione w jak największym stopniu, mniej istotna jest metoda, przy zastosowaniu której zostaną zrealizowane.

Użycie warunków (ograniczeń) w procesie generalizacji danych przestrzennych możliwe jest tylko wówczas, gdy można je sformalizować, a więc zmierzyć (np. wymiar budynku pod kątem jego powierzchni). Miary te natomiast muszą mieć określone wartości brzegowe, tak by możliwa była ocena poprawności wyniku generalizacji. Nałożenie na jedną warstwę obiektów (np. budynki) wielu warunków powoduje, że czasem mogą powstawać sytuacje konfliktowe. Wówczas zadaniem systemu wspomagającego proces generalizacji jest wybór i wskazanie operatorowi optymalnego rozwiązania. W kolejnych rozdziałach opisano metody optymalizacji generalizacji danych przestrzennych.

Modelowanie za pomocą „agentów”

Obecnie najbardziej zaawansowanym systemem do wspomaganiania generalizacji map jest system Clarity, którego opracowanie jest rezultatem badań prowadzonych w ramach europejskiego projektu „AGENT”. Projekt ten był częścią programu badawczego ESPRIT. Badania nad prototypem systemu prowadzone były w latach 1997–2000 przez jednostki naukowe: Krajowy Instytut Geograficzny oraz Instytut Geograficzny Politechniki w Grenoble (Francja), Uniwersytet w Edynburgu, Uniwersytet w Zurychu oraz firmę komercyjną Laser-Scan [ISpatial] z Wielkiej Brytanii. Celem badań było opracowanie systemu GIS zawierającego szeroki wybór narzędzi i mechanizmów do automatycznej generalizacji danych przestrzennych.

Integralną częścią procesu generalizacji jest dobór treści do poszczególnych poziomów szczegółowości i sposób jej prezentacji, a więc redakcja mapy [Lamy i in. 1999]. Na proces redakcji składa się szereg decyzji podejmowanych przez kartografa.

Autorzy koncepcji projektu „AGENT” dzielą proces redakcji na trzy zasadnicze etapy:

- Analiza mapy.
- Synteza – projektowanie rozwiązań graficznych.
- Ocena – wybór i ocena rozwiązania.

Kartograf osiąga zamierzony efekt redakcyjny intuicyjnie, dzięki zdobytej wiedzy i doświadczeniu. W środowisku komputerowym ze względu na dużą liczbę możliwych rozwiązań, implementacji różnych narzędzi generalizacyjnych, różnej sekwencji czynności generalizacyjnych, które wywołują określone rezultaty, każda decyzja musi być kontrolowana przez kartografa, podporządkowana nadrzędemu celowi. Obok zachowania zależności topologicznych między obiektami celem generalizacji kartograficznej jest:

- Zachowanie odpowiedniej czytelności mapy w danej skali (zdefiniowanej jako minimalna odległość między obiektami, minimalna powierzchnia zajmowana przez obiekt lub sygnaturę).
- Zachowanie kształtów i położenia obiektów.
- Zachowanie poziomu szczegółowości odpowiadającego skali opracowania.
- Uwzględnienie kontekstu mapy – nie można generalizować pojedynczego obiektu w oderwaniu od pozostałych elementów mapy, należy brać pod uwagę grupy obiektów jako całość. Generalizacja wymaga kontekstowego (uwzględnienie sąsiedztwa i interakcji między obiektami) oraz kompleksowego podejścia.
- Podejście obiektowo-zorientowane – nie można zastosować jednej czynności generalizacyjnej do wszystkich obiektów lub całej ich klasy, należy dobrać konkretną czynność do konkretnego obiektu, w zależności od jego charakteru oraz otaczających go innych obiektów.
- Iteracyjny charakter generalizacji – system do automatycznej generalizacji danych przestrzennych musi pozwalać na logiczną ocenę uzyskanych wyników oraz dawać możliwość ich poprawy albo zmiany przez zastosowanie innej czynności generalizacyjnej lub innych wartości parametrów generalizacji [Bell i in. 2004].

Właśnie wyżej wymienione założenia dały początek koncepcji, a następnie próbom implementacji systemu „AGENT” w środowisku Clarity.

Optymalizacja z użyciem metod kombinatoryki

Metoda ta pozwala generować różne rozwiązania i rozwijać je w odniesieniu do przyjętych kryteriów. Możliwe opcje rozwiązań opracowywane są w postaci różnych kombi-

nacji (sekwencji) algorytmów lub/i parametrów im odpowiadających. Metody związane z kombinatoryką (np. metoda poszukiwania wartości gradientów, metoda symulacyjna „simulated annealing” czy algorytmy genetyczne) stosowane są od lat 80. np. w umieszczaniu tekstów na mapach [Ware, Jones 1998]. Najbardziej popularną, w odniesieniu do zadań kartograficznych, jest metoda „simulated annealing”.

Optymalizacja ciągła

Głównym założeniem tej metody jest znalezienie minimalnej lub maksymalnej wartości funkcji obiektywnej, zdefiniowanej w przestrzeni ciągłej. Wykorzystanie tej metody do generalizacji danych przestrzennych zakłada wykonanie pewnych kroków:

- Zdefiniowanie warunków (ograniczeń) generalizowanej mapy.
- Przełożenie tych warunków na funkcje (miary).
- Sformułowanie funkcji obiektywnej za pomocą miar.
- Znalezienie minimum funkcji obiektywnej przy użyciu technik matematycznych.
- Generalizacja mapy – optymalizacja zadania.

Metody optymalizacji ciągłej znane w literaturze kartograficznej to:

- Metoda najmniejszych kwadratów [Harrie 1999, Sester 2000].
- Metoda elementów skończonych [Hojholt 2000].
- Metoda „Snakes” [Burghardt, Meier 1997, Bader 2001, Borkowski 2006].
- Metoda „Elastic beams” [Bader 2001].

PRÓBA AUTOMATYZACJI GENERALIZACJI WYBRANYCH ELEMENTÓW BAZY DANYCH OGÓLNOGEOGRAFICZNYCH [BDO] W ŚRODOWISKU DYNAGEN

Badania dotyczące generalizacji opracowań w skalach dużych z wykorzystaniem systemu DynaGEN dają obiecujące rezultaty. Interesującym zadaniem wydaje się więc próba sprawdzenia, na ile poznane środowisko badawcze oraz zdobyte doświadczenia w zakresie generalizacji danych wielkoskalowych można przenieść na grunt generalizacji opracowań w skalach przeglądowych.

Podjęte badania mają na celu ocenę systemu DynaGEN, pod kątem jego wykorzystania do generalizacji danych przestrzennych małoskalowych oraz wskazanie ograniczeń, możliwości i potrzeb w zakresie rozbudowy systemu o dodatkowe narzędzia analiz przestrzennych.

Metodyka badań

Operacje wchodzące w skład procesu generalizacji można klasyfikować w różny sposób. Autorka podziela zasadność wyodrębnienia dwóch etapów procesu generalizacji: generalizację modelu danych oraz generalizację kartograficzną wg Bella i in. [2004].

Generalizacja modelu pozwala na redukcję ilości danych w stosunku do zakładanego poziomu szczegółowości. Obejmuje ona następujące czynności:

- selekcję całych klas obiektów;
- wybór podzbioru obiektów z danej klasy na podstawie warunków atrybutowych i przestrzennych;
- zmiany typu geometrii obiektu (sposobu ujęcia, a co za tym idzie, metody prezentacji obiektu);
- upraszczanie geometrii.

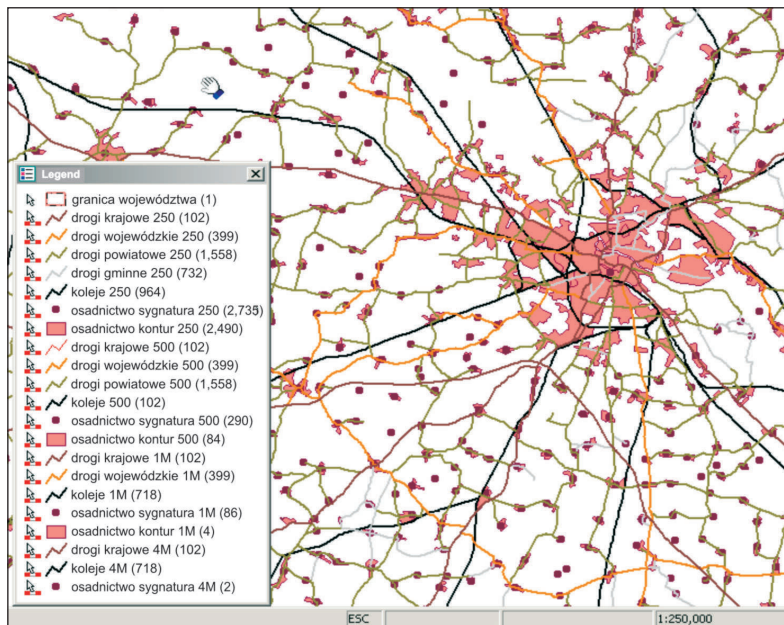
Rolą generalizacji kartograficznej jako kolejnego etapu po generalizacji modelu danych jest osiągnięcie optymalnej czytelności mapy w danej skali, z punktu widzenia celu jej opracowywania. Generalizacja kartograficzna obejmuje następujące procesy:

- Zastosowanie odpowiedniej symboliki dla danych.
- Przesuwanie obiektów, agregacja, zmiana wymiaru obiektów.

Badania dotyczyły przede wszystkim pierwszego etapie procesu generalizacji, związanego z generalizacją modelu danych. Dobór treści dla wizualizacji w poszczególnych stopniach szczegółowości wykonano na podstawie analizy istniejących map ogólnogeograficznych oraz wywiadów z ekspertami w zakresie generalizacji. Dobór treści do wizualizacji w każdej ze skal (1:500 000, 1:1000 000 oraz 1:4 000 000) obejmował wykonanie analiz przestrzennych i atrybutowych w systemie GeoMedia. Operacje związane z upraszczaniem i wygładzaniem obiektów wykonano w systemie DynaGEN. Proces ten obejmował wybór dróg, uproszczenie i wygładzenie ich przebiegu oraz agregację i uproszczenie konturów zabudowy. Dokładny opis tego eksperymentu znajduje się w artykule Chybickiej [2005].

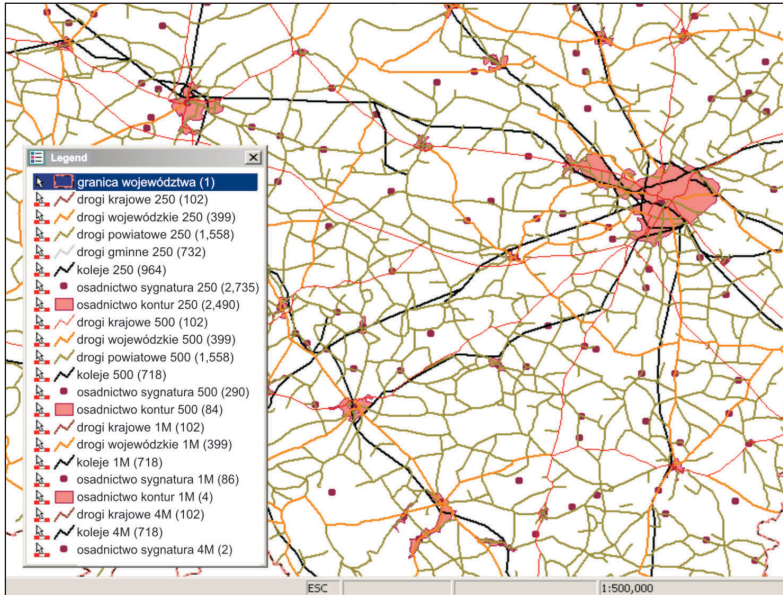
Wyniki generalizacji. Ograniczenia i problemy

Wizualizację zgeneralizowanych danych opracowano w systemie GeoMedia. Wyniki generalizacji dla poszczególnych poziomów szczegółowości widoczne są na rycinach 1 (BDO w skali 1:250 000), 2 (BDO w skali 1:500 000), 3 (skala 1:1000 000) oraz 4 (BDO w skali 1:4 000 000).



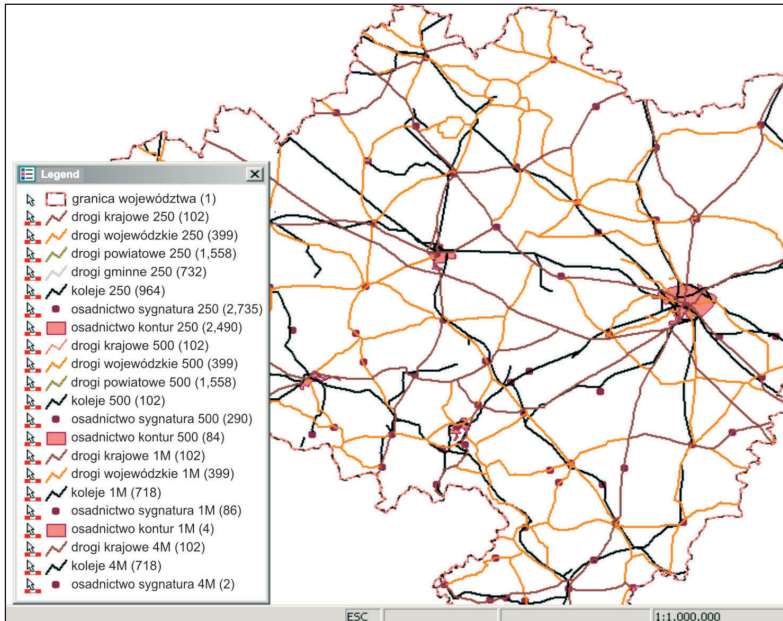
Ryc. 1. Baza Danych Ogólnogeograficznych [BDO] – poziom szczegółowości odpowiadający skali 1:250 000

Fig. 1. General Geographic Database [GGD] – level of details referred to the scale 1:250 000



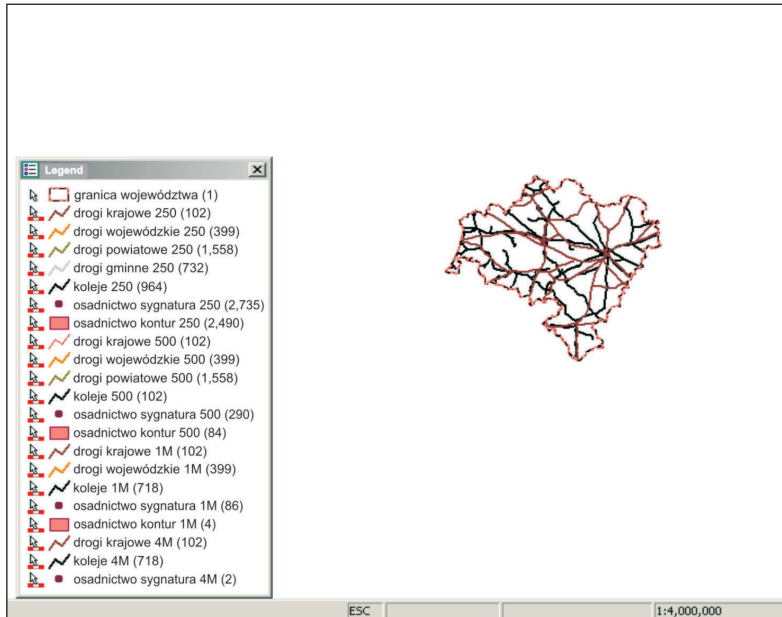
Ryc. 2. Baza Danych Ogólnogeograficznych [BDO] – poziom szczegółowości odpowiadający skali 1:500 000

Fig. 2. General Geographic Database [GGD] – level of details referred to the scale 1:500 000



Ryc. 3. Baza Danych Ogólnogeograficznych [BDO] – poziom szczegółowości odpowiadający skali 1:1000 000

Fig. 3. General Geographic Database [GGD] – level of details referred to the scale 1:1000 000



Ryc. 4. Baza Danych Ogólnogeograficznych [BDO] – poziom szczegółowości odpowiadający skali 1:4000 000

Fig. 4. General Geographic Database [GGD] – level of details referred to the scale 1:4000 000

Przeprowadzony eksperyment pozwala na wyciągnięcie kilku wniosków:

- Generalizacja w skalach małych – przeglądowych jest procesem subiektywnym, intuicyjnym. Decyzje w zakresie podstawowych czynności generalizacyjnych zależą w znacznej mierze od wiedzy i praktyki kartograficznej osoby wykonującej mapę. Ze względu na charakter tego procesu nie istnieją instrukcje redakcji czy generalizacji map przeglądowych w tak dokładnej i sformalizowanej formie jak dla skal większych, znacznie utrudnia to automatyzację procesu.
- Specyficzny charakter procesu generalizacji map w skalach małych wymaga niejednokrotnie różnych rozwiązań tego samego problemu, w zależności od otoczenia i kontekstu obiektów.
- Podczas wykonywania eksperymentu napotkano trudności w implementacji zasad generalizacji. Utrudnienia te związane były z brakiem wystarczająco precyzyjnych narzędzi analiz przestrzennych, co w przyszłości należałoby udoskonalić przez opracowywanie własnych narzędzi dostosowanych do konkretnych przypadków graficznych.

KONCEPCJA AUTOMATYZACJI GENERALIZACJI WYBRANYCH ELEMENTÓW BAZY DANYCH OGÓLNOGEOGRAFICZNYCH W ŚRODOWISKU CLARITY

Jak już wspomniano, najbardziej zaawansowanym systemem wspomagającym prowadzenie procesu generalizacji jest system Clarity. W środowisku tym obiekty znajdujące się na mapie (np. drogi, budynki, miasta) modelowane są w postaci autonomicznych agentów, które potrafią komunikować się z innymi agentami, ocenić swój stan (efekt) po generalizacji oraz podejmować decyzje, dotyczące poszczególnych czynności generalizacyjnych. Struktura modelu agentowego jest hierarchiczna. Pojedyncze obiekty (np. budynki) modelowane są w postaci mikroagentów, a grupy obiektów w postaci mezoagentów (np. miasta).

Oczywiście takie autonomiczne obiekty muszą skądś czerpać wiedzę metodyczną, potrzebną do poprawnego prowadzenia procesu generalizacji. Dlatego operator systemu dostarcza tzw. wiedzy strukturalnej, implementując w środowisku Clarity instrukcje redakcji lub wiedzę metodyczną, potrzebną do poprawnego wykonania poszczególnych czynności generalizacyjnych, w postaci tzw. celów agentów [Ruas 1999]. Dodatkowo operator implementuje w środowisku wspomagającym generalizację, tzw. warunki (ograniczenia). Są to funkcje opisujące wymagane wartości charakteryzujące obiekt (np. wymiar, powierzchnia), zależności między dwoma obiektami (np. odległość) lub dotyczące grupy obiektów (np. gęstość). Jeżeli agent nie spełnił swojego zadania (celu), system proponuje inne jego rozwiązanie (np. zmiana zastosowanego do danej czynności generalizacyjnej algorytmu).

Do zalet tego typu modelowania zaliczyć można fakt, że grupy obiektów modelowane są w postaci specyficznych agentów (mezoagentów), możliwe jest więc wykonywanie operacji kontekstowych (np. przemieszczenie, usunięcie obiektu). Traktowanie obiektów jako autonomicznych jednostek (agentów) pozwala na przeprowadzenie generalizacji wariantowej z uwzględnieniem specyfiki poszczególnych obiektów, jak również otaczającego je środowiska. Było to możliwe dzięki zastosowaniu unikalnej technologii obiektowej, w której sposób generalizacji każdego obiektu rozpatrywany jest indywidualnie, w zależności od jego sąsiedztwa i sytuacji graficznej [Chybicka 2002]. Pojawiające się zaś sytuacje konfliktowe rozwiązywane są lokalnie. Co więcej, środowisko Clarity stanowi system otwarty, mamy więc możliwość implementacji własnych narzędzi analiz przestrzennych oraz nowych algorytmów generalizacyjnych.

Dotychczasowe badania możliwości automatycznej generalizacji danych przestrzennych, prowadzone przez wiele jednostek naukowych na świecie, dotyczyły głównie opracowań wielkoskalowych. Przyczyny takiego stanu rzeczy należy upatrywać w tym, iż większość krajowych baz danych przestrzennych opracowywana jest w skalach dużych, dla których istnieją sformalizowane instrukcje redakcji map. Prowadzone przez autorkę badania, dotyczące automatyzacji generalizacji map wielkoskalowych [Chybicka, Iwaniak, Ostrowski 2004, Chybicka, Iwaniak, Ostrowski, Paluszyński 2004, Chybicka, Iwaniak, Ostrowski 2005] i małoskalowych [Chybicka 2005, Chybicka, Iwaniak 2005] w systemie DynaGEN, dawały rezultaty zadowalające, aczkolwiek wykazały pewne ograniczenia istniejących systemów geoinformatycznych, powodujące konieczność wykonywania procesu w trybie interaktywnym na niewielkich obszarach albo w trybie automatycznym, lecz z koniecznością wykonywania poprawek manualnych.

Ze względu na nowe możliwości generalizacyjne środowiska Clarity, w stosunku do systemu DynaGEN, interesującym zadaniem badawczym wydaje się podjęcie próby automatycznej generalizacji elementów Bazy Danych Ogólnogeograficznych w tym systemie. Autorka zamierza przeprowadzić praktyczną weryfikację zasad generalizacji, przyjętych w trakcie studiów poznawczych BDO, w środowisku Clarity. Korzystając z zaawansowanych funkcji tego systemu, wykonanych zostanie szereg praktycznych eksperymentów, których kluczowym zadaniem będzie sprawdzenie poprawności przyjętego zbioru reguł i algorytmów stanowiących treść tzw. „bazy wiedzy” oraz możliwości generalizacji opracowań małoskalowych w środowisku *Clarity*.

PODSUMOWANIE

W artykule scharakteryzowano najpopularniejsze metody modelowania procesu generalizacji danych przestrzennych, wskazując ich podstawowe założenia oraz możliwości zastosowania do zadań generalizacyjnych. Szczegółowo przedstawiono metodę modelowania półautomatycznego na przykładzie próby generalizacji wybranych elementów BDO w środowisku DynaGEN. Opisano również koncepcję określenia możliwości automatycznej generalizacji BDO w trybie warunkowym, w środowisku Clarity.

Przeprowadzone eksperymenty oraz studia literatury dotyczące automatyzacji generalizacji wskazują na coraz rzadsze stosowanie modelowania za pomocą reguł („jeśli... to”), ze względu na jego ograniczenia. Systemy „regułowe” są mało elastyczne, nie obejmują generalizacji w sposób całościowy, kompleksowy.

Modelowanie półautomatyczne jest obecnie stosowane i daje zadowalające rezultaty, jednakże zasadniczą jego wadą jest fakt, że dostępne w nich operatory służą do generalizacji pojedynczych obiektów, nie mają więc charakteru kontekstowego, a poprawność wyników generalizacji w dużej mierze uzależniona jest od wiedzy i doświadczenia operatora.

Optymalizacja przy użyciu metod kombinatoryki oraz optymalizacja ciągła również wykazuje wiele ograniczeń w zastosowaniach automatycznej generalizacji danych przestrzennych.

Przyszłość automatycznej generalizacji wydaje się więc należeć do modelowania warunkowego jako najbardziej uniwersalnego i dostosowanego do charakteru procesu. Wymaga ono jednak dalszego usprawniania i rozwoju w zakresie:

- formalizacji wiedzy kartograficznej.
- doskonalenia metod ewaluacji i oceny wyników generalizacji.
- rozwoju usług i aplikacji internetowych.
- poprawy jakości danych przestrzennych.
- dostosowania istniejących systemów generalizacyjnych do potrzeb generalizacji danych małoskalowych.

PIŚMIENNICTWO

- Bader M., 2001. Energy Minimization Methods for Feature Displacement in Map Generalization. Ph. D thesis, Department of Geography, University of Zurich, Switzerland.
- Bell M., Neuffer D., Woodsford P., 2004. Agent-based generalization – an update on progress. „Kartographische Nachrichten”, Vol. 54, Nr. 4, 170–177.

- Borkowski A., 2006. Realizacja operatora odsunięcia kartograficznego za pomocą aktywnych funkcji sklepanych – test metody. *Acta Scientiarum Polonorum. Geodesia et Descriptio Terrarum*, 5(1–2), 3–15.
- Brassel K., 1985. Strategies for data models for computer-aided generalization. "Intern. Yearb. of Cartography", Vol. 25, 11–29.
- Burghardt D., Meier S., 1997. Cartographic Displacement Using the Snakes Concept, [in:] Foerster, W. and L. Pluemer [eds.], *Semantic Modelin for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps*. Birkhaeuser Verlag, 59–71.
- Chybicka I., 2004. O uzupełnieniu Bazy Danych Ogólnogeograficznych w celu poprawnej generalizacji osadnictwa. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, T. 22, nr 500, 89–96.
- Chybicka I., Iwaniak A., Ostrowski W., 2004. "Generalization of the Topographic Database to the Vector Map Level 2 – the components of the Polish National Geographic Information System". <http://ica.ign.fr/Leicester/paper/Chybicka-v2-ICAWorkshop.pdf>
- Chybicka I., Iwaniak A., Ostrowski W., Paluszyński W., 2004. Generalizacja danych topograficznych o szczegółowości 1:10 000 do skali 1:50 000. Cz. II, „Polski Przegląd Kartograficzny”, T. 36, nr 4, 266–273.
- Chybicka I., 2005. Próba automatyzacji procesu generalizacji wybranych elementów Bazy Danych Ogólnogeograficznych. *Roczniki Geomatyki*, T. 3, z. 2, 27–34.
- Chybicka I., Iwaniak A., 2005. Generalization of the General Geographic Database Proceedings of the XXII International Cartographic Conference, La Coruna, Hiszpania.
- Chybicka I., Iwaniak A., Ostrowski W., 2005. Narzędzia do automatycznej generalizacji, [w:] System informacji topograficznej kraju. Teoretyczne i metodyczne opracowanie koncepcyjne, pod red. prof. dr. hab. Andrzeja Makowskiego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 376–380.
- Harrie L., 1999. The Constraint Method for Solving Spatial Conflicts in Cartographic Generalization. *Cartography and Geographic Information Science*, Vol. 26, nr 1, 55–69.
- Hojholt P., 2000. Solving Space Conflicts in Map Generalization: Using the Finite Element Method. *Cartography and Geographic Information Science*, Vol. 27, nr 1, 67–73.
- Iwaniak A., 1997. Systemy ekspertowe w kartografii i systemach informacji geograficznej. *Polski Przegląd Kartograficzny*, T. 29, nr 1, 3–11.
- Iwaniak A., Paluszyński W., Żyszkowska W., 1998. Generalizacja map numerycznych – koncepcje i narzędzia. *Polski Przegląd Kartograficzny*, T. 30, nr 2, 79–88.
- Lamy S., Ruas A., Demazeau Y., Jackson M., Mackaness W., Weibel R., 1999 The application of Agents in automated map generalisation, Proceedings of the 19st. International Cartographic Conference, Ottawa.
- Morrison J., 1974. A theoretical framework for cartographic generalization with emphasis on the process of symbolization. "Intern. Yearb. of Cartography", Vol. 14, 15–127.
- Nickerson B.G., 1988. Automated Cartographic Generalization for Linear Feature. *Cartographica*, T. 25, No. 3, 15–66.
- Pawlak W., 1971. Charakter zniekształceń wybranych elementów treści mapy powstałych w procesie generalizacji. „*Studia Geograficzne*”, T. 15, nr 133, 14–33.
- Ratajski L., 1967. Phenomenes des points de generalisation, Intern. "Yearb. of Cartography", Vol. 7, 143–151.
- Ratajski L., 1973. Rozważania o generalizacji kartograficznej. *Polski Przegląd Kartograficzny*, T. 5, nr 2, 103–110.
- Ruas A., 1999. Modele de generalisation de donnes geographiques a base de contraintes et d'autonomie. Ph. D thesis, University of Marne la Vallee, <ftp://ftp.ign.fr/ign/COGIT/THESES>
- Schylberg L., 1993. Computational Methods for Generalization of Cartographic Data in a Raster Environment. Ph. D thesis, Department of Geodesy and Photogrametry, Royal Institute of Technology, Stockholm, TRITA-FMI Report 1993:7.

- Sester M., 2000. Generalization Based on Least-squares Adjustments. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII, Part B4, Amsterdam, 931–938.
- Ware J. M., Jones C.B., 1998. Conflict Reduction in Map Generalization Using Interactive Improvement. *Geoinformatica*, Vol. 2, nr. 4, 383–407.
- Weibel R., 1991. Amplified intelligence and rule-based systems, [w:] *Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation*, Ed. B. Buttenfield, R. McMaster, London, Longman, 172–186.

MODELLING GENERALIZATION PROCESS

Abstract. Automatic generalization of the spatial data has been a goal of many international researches carried out in scientific centers worldwide. Unfortunately, neither current state of art nor the existing technology makes it possible to achieve it. One of the main factors making the automated generalization of spatial data difficult is a complexity of the process. The answer to this problem is trying to test systematizing of activities being a part of the generalization tasks considered as a model.

The author characterizes existing model types of the generalization process as well as she describes some experiments concerning generalization of selected elements of the General Geographic Database (GGD) in an interactive mode (performed in the DynaGEN environment). Furthermore, she proposes an idea of a constraint-based modeling in the Clarity software.

Key words: automatic generalization of spatial data, General Geographic Databas, modeling generalization process

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.06.2009

Do cytowania – for citation: Karsznia I., 2009. Modelowanie procesu generalizacji. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.*, 8(2), 13–26.

ANALIZA WYBRANYCH METOD MODELOWANIA WARTOŚCI KATASTRALNYCH NIERUCHOMOŚCI

Edward Sawiłow

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. W artykule przeprowadzono analizę porównawczą wybranych metod ustalania wartości katastralnych na potrzeby podatku od wartości nieruchomości. Pierwszą z analizowanych metod ustalania wartości katastralnych jest metoda opisana szczegółowo w wytycznych przeprowadzania powszechnej taksacji nieruchomości. Druga to metoda korygowania ceny średniej. W artykule przedstawiono również propozycje modyfikacji tych metod. Ustalono wartości katastralne dla testowego obiektu oraz porównano wyniki ustalania wartości katastralnych nieruchomości tymi metodami.

Słowa kluczowe: nieruchomość, model, taksacja, podatek od wartości

WSTĘP

Powszechna taksacja nieruchomości ma na celu ustalenie wartości katastralnej nieruchomości na potrzeby podatku od wartości nieruchomości. W celu ustalenia wartości katastralnej nieruchomości przeprowadzona zostanie wycena masowa nieruchomości, według jednolitych standardów dla całego kraju. Podstawą funkcjonowania przyszłego systemu opodatkowania nieruchomości będzie kataster nieruchomości. W Polsce od kilku lat trwa dyskusja na wprowadzeniem podatku od wartości nieruchomości i metodyki ustalania wartości katastralnych na potrzeby tego podatku.

Problematyka powszechnej taksacji nieruchomości została uregulowana w przepisach prawa: ustawą z dnia 21 sierpnia 1997 r. o gospodarce nieruchomościami oraz w rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 29 czerwca 2005 r. w sprawie powszechnej taksacji nieruchomości.

Jedną z metod ustalania wartości katastralnych jest metoda przeprowadzania powszechnej taksacji nieruchomości, stosowana w ramach systemu Integrującej Platformy Elektronicznej (IPE), w module wspomagającym Powszechną Taksację Nieruchomości (PTN). Drugą jest metoda korygowania ceny średniej, szeroko stosowana przy wycenie

nieruchomości w podejściu porównawczym. W artykule zaprezentowano również autorские propozycje modyfikacji tych metod. Wykorzystując proponowane modele, ustalono wartości katastralne dla testowego obiektu oraz przeprowadzono analizę dokładności otrzymanych wyników ustalania wartości katastralnych nieruchomości tymi metodami. Do oceny przydatności tych metod na potrzeby ustalenia wartości katastralnych, jako miarę dokładności określenia jednostkowej wartości nieruchomości, przyjęto błąd standardowy.

MODEL POWSZECHNEJ TAKSACJI NIERUCHOMOŚCI

Podstawą ustalenia wartości katastralnej nieruchomości w Polsce ma być określenie wartości nieruchomości reprezentatywnych, dla poszczególnych rodzajów nieruchomości, na obszarze danej jednostki ewidencyjnej, w granicach obrębów ewidencyjnych. Jedną z podstawowych czynności w procedurze powszechnej taksacji nieruchomości jest wyodrębnienie stref taksacyjnych. Strefy taksacyjne powinny być wyodrębnione w oparciu o cechy cenotwórcze nieruchomości. Do podstawowych cech należy zaliczyć funkcję w planie zagospodarowania przestrzennego. Nieruchomości reprezentatywne to typowe nieruchomości, charakteryzujące się jednorodnością cech cenotwórczych. Przed przystąpieniem do wyboru nieruchomości kandydujących do wyznaczenia reprezentatywnych należy określić zbiór cech opisujących lokalny rynek nieruchomości. Ilość cech nie powinna być zbyt duża i nie przekraczać ośmiu.

Mogą to być cechy: jakościowe i ilościowe. W modelowaniu wartości nieruchomości, na potrzeby powszechnej taksacji nieruchomości, wszystkie cechy muszą być cechami ilościowymi. Cechy nieruchomości powinny być uporządkowane w kolejności odpowiednio rozumianej ich dobroci, czyli muszą być nadane im odpowiednie rangi. Rangowanie polega na nadaniu każdej spośród s cech, liczby całkowitej od jeden do k . W artykule przyjęto jednolitą skalę dla wszystkich cech i maksymalną wartość k równą 5.

Jeśli w danej strefie taksacyjnej znajduje się wystarczająco liczny zbiór nieruchomości, to model powszechnej taksacji nieruchomości buduje się oddzielnie w każdej strefie taksacyjnej. W przeciwnym wypadku do budowy modelu musimy wykorzystać informacje spoza danej strefy taksacyjnej. W każdej strefie taksacyjnej wybieramy zbiór nieruchomości kandydujących do wyznaczenia nieruchomości reprezentatywnej. Niech

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad \mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

oznaczają odpowiednio macierz wartości cech oraz wektor jednostkowych wartości nieruchomości kandydujących do wyznaczenia nieruchomości reprezentatywnej w danej strefie taksacyjnej.

Na podstawie danych zawartych w macierzy \mathbf{X} wyznacza się wartości cech nieruchomości reprezentatywnej. Analizowany w tym rozdziale model powszechnej taksacji nieruchomości przedstawiono na podstawie pracy Telegi i in. [2002]. Wartości cech nieruchomości reprezentatywnej można obliczyć jako średnie arytmetyczne, według wzoru:

$$Xr_j = n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (2)$$

Natomiast wartość jednostkową nieruchomości reprezentatywnej można wyznaczyć dla danych wektora \mathbf{W} jako średnią arytmetyczną ze wzoru:

$$Wr = n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n w_i \quad (3)$$

Z przedstawionej wyżej metody ustalania wartości cech nieruchomości reprezentatywnej wynika, że jest to – z prawdopodobieństwem bliskim jedności – nieruchomości wirtualna.

Przyjęte cechy nieruchomości mogą mieć różny wpływ na wartość tych nieruchomości. Wpływ tych cech określa się na podstawie współczynników zwanych dalej wagami. Wagi cech nieruchomości można ustalić arbitralnie w oparciu o informacje rynkowe, bądź korzystając ze wzorów podanych w pracach Adamczewskiego [2002], Czai [2001] i Sawiłowa [2004]. Poniżej podano modyfikację wag według propozycji podanej przez Adamczewskiego [2002]. Wagi cech nieruchomości zostały znormalizowane do jedności. Ogólna formuła pozwalająca na ustalenie wag cech rynkowych może być zapisana w postaci:

$$p_j = r_j \cdot \left(\sum_{j=1}^m r_j \right)^{-1} \quad (4)$$

Jeśli wartości cech nieruchomości reprezentatywnych ustalone zostały według wzorów (2) i (3), to współczynniki r_j można wyznaczyć ze wzoru:

$$r_j = \left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot x_{ij} \right)^2 \cdot \left(\sum_{i=1}^n w_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n x_{ij}^2 - \left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot x_{ij} \right)^2 \right)^{-1} \quad (5)$$

Wartość jednostkową WJ nieruchomości w danej strefie taksacyjnej proponuje się obliczać według funkcji liniowej wielu zmiennych w postaci wzoru:

$$WJ = \sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot x_j \quad (6)$$

W równaniu tym nie ma wyrazu wolnego. Brak wyrazu wolnego może mieć istotne znaczenia dla dokładności ustalania wartości katastralnych, o czym mowa w dalszej części artykułu. Do estymacji parametrów α_j proponuje się zastosować bardzo prostą formułę:

$$\alpha_j = p_j \cdot Wr \cdot (Xr_j)^{-1} \quad (7)$$

Z powyższego wzoru wynika, że możliwe jest wyznaczenie parametrów α_j nawet w przypadku, kiedy w zbiorze nieruchomości kandydujących do wyznaczenia nieruchomości reprezentatywnej będzie tylko jedna nieruchomość. Oczywiście, nie będzie wtedy możliwa weryfikacja statystyczna modelu.

Ze wzorów (5) i (7) nietrudno wykazać, że zachodzi równość $WJ = Wr$. Wynika stąd, że wartość jednostkowa nieruchomości reprezentatywnej Wr , obliczona jako średnia arytmetyczna wartości jednostkowych, nieruchomości kandydujących do wyznaczenia nieruchomości reprezentatywnej, jest równa wartości jednostkowej nieruchomości reprezentatywnej WJ obliczonej według wzoru (5).

Wartość katastralną i -tej nieruchomości WK_i , w danej strefie taksacyjnej, stanowi iloczyn jednostkowej wartości nieruchomości reprezentatywnej Wr i sumy współczynników korygujących, co można zapisać wzorem:

$$WK_i = Wr \cdot \sum_{j=1}^m k_{ij} \quad (8)$$

Współczynniki korygujące k_{ij} dla poszczególnych nieruchomości w danej strefie taksacyjnej można obliczyć ze wzoru:

$$k_{ij} = kr_j \cdot x_{ij} \cdot (Xr_j)^{-1} \quad (9)$$

gdzie:

$$kr_j = \alpha_j \cdot Xr_j \cdot (Wr)^{-1} \quad (10)$$

Podstawiając wzór (7) do (10), łatwo można wykazać, że dla każdej cechy współczynniki korygujące nieruchomości reprezentatywnej kr_j są równe wagom p_j . Stąd wynika, że suma współczynników korygujących jest równa jedności. Wobec powyższego, wzór na obliczenie współczynników korygujących k_{ij} dla poszczególnych nieruchomości w danej strefie taksacyjnej można również obliczyć według wzoru:

$$k_{ij} = p_j \cdot x_{ij} \cdot (Xr_j)^{-1} \quad (11)$$

Z powyższego wynika, że nie musimy obliczać współczynników kr_j dla nieruchomości reprezentatywnej, wystarczy ustalić wagi dla poszczególnych cech i podstawić do wzoru (11). Wagi te będą równocześnie współczynnikami korygującymi dla cech nieruchomości reprezentatywnej. Do oceny poprawności modelu powszechnej taksacji nieruchomości zaproponowano obliczenie procentowych odchyleń jednostkowych wartości nieruchomości kandydujących do wyznaczenia nieruchomości reprezentatywnej od ich wartości estymowanych na podstawie wzoru:

$$\Delta_i = \frac{w_i - \hat{w}_i}{w_i} \cdot 100\% \quad (12)$$

Jeśli $\Delta_i > 50\%$, to odrzucamy i -tą nieruchomość ze zbioru nieruchomości kandydujących do wyznaczenia nieruchomości reprezentatywnej i powtarzamy obliczenia. Jeśli $\Delta_i \leq 50\%$, to obliczamy odchylenie S według wzoru:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^s \Delta_i^2}{m}} \quad (13)$$

Model uważamy za poprawny, jeżeli $S < 30\%$. Po pozytywnej weryfikacji modelu możemy przystąpić do ustalania wartości katastralnych nieruchomości w danej strefie taksacyjnej.

ZMODYFIKOWANY MODEL POWSZECHNEJ TAKSACJI NIERUCHOMOŚCI

W tym rozdziale przedstawiono propozycje modyfikacji modelu powszechnej taksacji zapisanego w wytycznych w sprawie powszechnej taksacji. Podstawiając do wzoru (8) współczynniki korygujące k_{ij} , dane wzorem (9), otrzymamy wzór na ustalenie wartości katastralnych w postaci:

$$WK_i = Wr \cdot \sum_{j=1}^m \frac{x_{ij}}{Xr_j} \cdot p_j \quad (14)$$

We wzorze tym nie występują już współczynniki korygujące a jedynie wejściowe wartości cech nieruchomości będących przedmiotem ustalania wartości katastralnych, wartości cech nieruchomości reprezentatywnej oraz wagi.

Z analizy wzoru (14) nietrudno zauważyć, że wartości katastralne nieruchomości w tej samej strefie taksacyjnej, w skrajnych przypadkach, mogą się różnić nawet pięciokrotnie, co nie jest właściwe. Dlatego też zaproponowano inny wzór na określenie wartości nieruchomości, poprzez wprowadzenie do modelu (14) wyrazu wolnego. Jednostkową wartość katastralną i -tej nieruchomości WK_i , w strefie taksacyjnej, obliczamy według wzoru:

$$WK_i = \alpha_o + (Wr - \alpha_o) \cdot \sum_{j=1}^m \frac{x_{ij}}{Xr_j} \cdot p_j \quad (15)$$

gdzie:

$$\alpha_o = \min_i \{w_i\} - \frac{\max_i \{w_i\} - \min_i \{w_i\}}{s-1} \quad (16)$$

W przypadku kiedy wartości cech nieruchomości, dla której ustalamy wartości katastralne, są identyczne z cechami nieruchomości reprezentacyjnej, to ze wzoru (13) wynika, że wartość wycenianej nieruchomości jest równa wartości nieruchomości reprezentatywnej, co potwierdza poprawność wzoru.

Przy ustalaniu wartości katastralnych, według wzoru (13), nie zachodzi potrzeba obliczania współczynników korygujących dla nieruchomości reprezentatywnej i nieruchomości, dla których ustalamy wartości katastralne. Wymagana jest jedynie znajomość wartości cech opisujących nieruchomości, dla których ustalamy wartości katastralne. Wzór (13) możemy zapisać w nieco innej postaci:

$$WK_i = \alpha_o + \sum_{j=1}^m \frac{(Wr - \alpha_o) \cdot p_j}{Xr_j} \cdot x_{ij} \quad (17)$$

Wprowadźmy oznaczenie:

$$\alpha_j = \frac{(Wr - \alpha_o) \cdot p_j}{Xr_j} \quad (18)$$

Po podstawieniu wzoru (18) do (17) otrzymamy końcową postać modelu wartości katastralnej, w której uwzględniony został wyraz wolny, w postaci:

$$WK_i = \alpha_o + \sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot x_{ij} \quad (19)$$

Powyższy wzór, będący modyfikacją wzoru podanego w wytycznych w sprawie przeprowadzania powszechnej taksacji nieruchomości, jest funkcją wielu zmiennych stopnia pierwszego z wyrazem wolnym. Analityczna postać modelu jest identyczna z modelem regresji liniowej wielokrotnej. Parametrów modelu (19) nie obliczamy metodą najmniejszych kwadratów, lecz według wzorów (16) i (18). Przy szacowaniu parametrów tego modelu nie jest wymagane spełnienie założeń metody najmniejszych kwadratów.

Przy ustalaniu wartości katastralnych, według wzoru (19), nie zachodzi potrzeba obliczania współczynników korygujących dla nieruchomości reprezentatywnej i nieruchomości, dla których ustalamy wartości katastralne. Wymagana jest jedynie znajomość wartości cech opisujących atrybuty nieruchomości.

ZMODYFIKOWANA METODA KORYGOWANIA CENY ŚREDNIEJ

Opisana w poprzednich rozdziałach procedura przeprowadzenia powszechnej taksacji nieruchomości w Polsce nie jest jedyną możliwością. W pracy Prystupy, Brodaczewskiego [1998] przedstawiono propozycję ustalania wartości katastralnych z wykorzystaniem metody korygowania ceny średniej. W dalszej części artykułu zaprezentowana zostanie zmodyfikowana postać tej metody.

Według Standardów zawodowych rzeczoznawców majątkowych [Powszechne Krajowe... 2008], standard III.7, wzór na określenie wartości jednostkowej nieruchomości, metodą korygowania ceny średniej można zapisać w postaci:

$$WK_i = w_{sr} \cdot \sum_{j=1}^m k_{ij} \quad (20)$$

gdzie:

w_{sr} – średnia arytmetyczna cen w przyjętej próbie,

k_{ij} – współczynniki korygujące.

W pracy Sawiłowa [2004] wykazano, że wzór (20) można zapisać w innej równoważnej postaci:

$$WK_i = \min_i \{w_i\} + \sum_{j=1}^m \frac{(\max_i \{w_i\} - \min_i \{w_i\}) \cdot p_j}{n_j - 1} \cdot (x_{ij} - 1) \quad (21)$$

gdzie:

- x_{ij} – wartość j -tej cechy,
- n_j – maksymalna wartość j -tej cechy.

Po wykonaniu prostych przekształceń wzoru (21) otrzymano wzór na określenie jednostkowej wartości nieruchomości, metodą korygowania ceny średniej, w postaci funkcji liniowej wielu zmiennych, danej równaniem:

$$WK_i = \beta_o + \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot x_{ij} \quad (22)$$

Postać analityczna powyższego równania jest identyczna z równaniem funkcji liniowej regresji wielu zmiennych. Parametry równania (22) obliczymy według wzorów:

$$\beta_j = \frac{(\max_i \{w_i\} - \min_i \{w_i\}) \cdot p_j}{n_j - 1} \quad (23)$$

$$\beta_o = \min_i \{w_i\} - \sum_{j=1}^m \beta_j \quad (24)$$

Nasuwa się pytanie, która z tych metod jest dokładniejsza do ustalania wartości katastralnych? Do oceny tych metod, jako miarę dokładności, przyjęto błąd standardowy oceny w postaci:

$$m_o = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i - \hat{w}_i)^2}{n}} \quad (25)$$

Miara ta jest najczęściej stosowanym wskaźnikiem dokładności dopasowania estymowanych wartości do ich wartości rzeczywistych. Zastosowanie tej miary pozwoli na wskazanie metody o najmniejszym błędzie i tym samym bardziej przydatnej na potrzeby powszechnej taksacji nieruchomości.

BADANIA WŁASNE

W celu oceny przydatności analizowanych wyżej metod ustalania wartości katastralnych wygenerowano dane testowe wartości cech nieruchomości kandydujących do wyznaczenia nieruchomości reprezentatywnych, w danej strefie taksacyjnej.

Jako wartości cech przyjęto zbiór liczb całkowitych $\{x_{ij}\}$ należący do przedziału $\langle 1,5 \rangle$. Dla tak ustalonych wartości cech przyjęto wartości parametrów poszczególnych cech $\{b_j\}$, a następnie, wykonując mnożenie tych parametrów przez wartości poszczególnych cech, otrzymano wartości jednostkowe poszczególnych nieruchomości $\{w_{ij}\}$. Przyjęcie takiego sposobu generowania danych testowych pozwala na ustalenie ścisłego związku pomiędzy cechami nieruchomości i wartościami jednostkowymi w testowanym zbiorze. Dla tak wygenerowanych danych testowych przeprowadzono ustalenie wartości katastralnej nieruchomości trzema opisanymi wyżej metodami. Pierwsza to metoda powszechnej taksacji nieruchomości (*MPTN*) opisana w wytycznych. Metoda ta, zapisana wzorem (8), nie uwzględnia w modelu wyrazu wolnego. Drugą metodą jest zmodyfikowana metoda powszechnej taksacji (*ZMPTN*), w której wprowadzono w modelu wyraz wolny i dana jest wzorem (19). Ostatnią trzecią metodą jest zmodyfikowana metoda korygowania ceny średniej (*ZMKCS*) zapisana w postaci wzoru (22).

Zbiór cech opisujących nieruchomości kandydujące do wyznaczenia nieruchomości reprezentatywnych w strefie taksacyjnej podano w tabeli 1.

Tabela 1. Lista cech nieruchomości
Table 1. List of real property characteristics

Oznaczenie cech Denomination of characteristics	Cechy Characteristics
x_1	Położenie Position
x_2	Przeznaczenie w planie Destination according to plan
x_3	Infrastruktura techniczna Technical infrastructure
x_4	Stan zagospodarowania Management state
x_5	Intensywność zabudowy Intensity of building development
x_6	Dostępność Accessibility
x_7	Sąsiedztwo Neighbourhood

W tabeli 2 podano równania funkcji generujących teoretyczne ceny nieruchomości. Ceny tych nieruchomości posłużyły do modelowania wartości katastralnych dla analizowanych modeli.

Dla zbioru $\{N_i, i=1,2,\dots,12\}$ nieruchomości wygenerowano ich cechy. W tabeli 3 podano wartości cech nieruchomości kandydujących do wyznaczenia nieruchomości reprezentatywnych w danej strefie taksacyjnej. Ceny nieruchomości wygenerowano w czterech wariantach z wykorzystaniem podanych w tabeli 2 funkcji.

Ceny tych nieruchomości zostały scharakteryzowane za pomocą trzech miar statystycznych: ceny średniej, odchylenia standardowego i współczynnika zmienności. W tabeli 4 podano charakterystykę statystyczną cen nieruchomości dla analizowanych czterech wariantów.

Tabela 2. Funkcje generujące wartości nieruchomości

Table 2. Functions generating real property values

Wariant I Version I	$w_i = \sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot b_j$
Wariant II Version II	$w_i = b_o + \sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot b_j$
Wariant III Version III	$w_i = \sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot b_j \pm c_i$
Wariant IV Version IV	$w_i = b_o + \sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot b_j \pm c_i$

Tabela 3. Charakterystyka nieruchomości

Table 3. Characteristic of real property

Nieruchomość Property	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	Wariant Version I Cena Price [zł/m ²]	Wariant Version II Cena Price [zł/m ²]	Wariant Version III Cena Price [zł/m ²]	Wariant Version IV Cena Price [zł/m ²]
N ₁	3	4	2	3	3	3	4	178,2	378,2	188,2	388,2
N ₂	4	2	4	3	2	5	3	184,4	384,4	179,4	379,4
N ₃	1	2	3	1	2	3	1	99,7	299,7	109,7	309,7
N ₄	3	1	2	3	2	3	4	147,4	347,4	157,4	357,4
N ₅	3	4	2	5	5	2	2	205,3	405,3	210,3	410,3
N ₆	2	4	4	4	2	3	4	183,1	383,1	173,1	373,1
N ₇	2	5	4	3	3	4	4	194,9	394,9	189,9	389,9
N ₈	3	3	2	3	3	4	3	176,2	376,2	191,2	391,2
N ₉	3	5	4	5	5	3	5	243,9	443,9	238,9	438,9
N ₁₀	3	3	4	3	4	3	5	191,4	391,4	201,4	401,4
N ₁₁	3	2	5	2	3	2	4	149,2	349,2	150,2	350,2
N ₁₂	4	2	3	5	2	4	3	199,9	399,9	184,9	384,9

Tabela 4. Charakterystyka statystyczna cen nieruchomości

Table 4. Statistical characteristic of real property prices

Wyszczególnienie Specification	Cena średnia Average price [zł/m ²]	Standardowy błąd oceny Standard estimation error	Współczynnik zmienności Change coefficient
Wariant I Version I	179,47	35,64	0,1986
Wariant II Version II	379,47	35,64	0,0939
Wariant III Version III	181,22	32,38	0,1787
Wariant IV Version IV	381,22	32,38	0,0849

Wagi cech zostały obliczone według wzoru (5). Wygenerowany w powyższy sposób zbiór cech i cen nieruchomości wykorzystano jako zbiór testowy do analizy dokładności ustalania wartości katastralnych. Wyniki obliczenia dokładności ustalania wartości katastralnych w poszczególnych i tym samym ich przydatności na potrzeby powszechnej taksacji nieruchomości przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Zestawienie dokładności określenia wartości
Table 5. Comparison of value determination accuracy

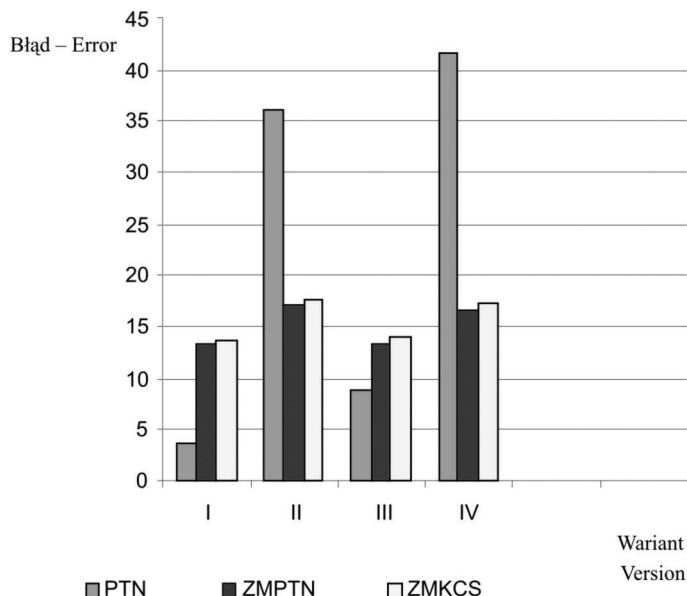
Wyszczególnienie Specification	MPTN		ZMPTN		ZMKCS	
	Suma reszt Sum of the rests [zł/m ²]	Błąd standardowy Standard error [zł/m ²]	Suma reszt Sum of the rests [zł/m ²]	Błąd standardowy Standard error [zł/m ²]	Suma reszt Sum of the rests [zł/m ²]	Błąd standardowy Standard error [zł/m ²]
Wariant I Version I	0	3,75	0	13,24	12,56	13,69
Wariant II Version II	0	36,07	0	17,06	16,55	17,71
Wariant III Version III	0	8,79	0	13,19	16,79	13,99
Wariant IV Version IV	0	41,68	0	16,52	16,56	17,26

Analizując wyniki zamieszczone w tabeli 5, zauważymy, że w metodzie podanej w wytycznych w sprawie powszechnej taksacji nieruchomości oraz modyfikacji tej metody suma reszt jest równa zeru. W metodzie korygowania ceny średniej suma reszt, w każdym wariantcie, jest różna od zera. Najmniejszy błąd standardowy otrzymano w metodzie podanej w wytycznych, dla wariantu I, a więc w przypadku kiedy nie występuje wyraz wolny. Wprowadzenie do zbioru danych wyrazu wolnego obniża dokładność oszacowania wartości w metodzie *MPTN*. Metoda *ZMPTN* daje wyniki nieco dokładniejsze niż metoda *NMKCS*.

Na rycinie 1 przedstawiono graficzny obraz dokładności oszacowania wartości katastralnych nieruchomości.

Model *MPTN* zaproponowany w wytycznych charakteryzuje się największym rozrzutem błędu standardowego. Proponowana modyfikacja modelu *ZMPTN* zapewnia zdecydowanie większą stabilność wyników ustalenia wartości katastralnych. Model *ZMPTN* jest nieco dokładniejszy od modelu *ZMKCS*. Model *MPTN* charakteryzuje się najmniejszym błędem standardowym w wariantcie I i III. W pewnych warunkach wyniki uzyskane w oparciu o ten model mogą dawać największe błędy określenia wartości katastralnych. Ma to miejsce w wariantcie II i IV dla danych testowych, a więc w przypadkach kiedy równanie liniowe hiperpłaszczyzny opisujące dane nie przechodzi przez początek układu.

Mamy wówczas do czynienia z problemem decyzyjnym, który model wybrać, nie znając wartości atrybutów nieruchomości dla danej strefy taksacyjnej. Optymalna odpowiedź wymaga przeprowadzenia szczegółowych analiz danych cen transakcyjnych nieruchomości.



Ryc. 1. Błędy standardowe analizowanych modeli
 Fig. 1. Standard errors of analysed models

PODSUMOWANIE

Wdrażany projekt systemu powszechnej taksacji nieruchomości, w oparciu o algorytm zaprezentowany w wytycznych, spełnia warunki wyceny masowej. Przy wycenie nieruchomości na potrzeby powszechnej taksacji nieruchomości nie można wykluczyć – w uzasadnionych przypadkach – stosowania innych metod wyceny nieruchomości.

Zaprezentowana w pracy modyfikacja modelu upraszcza obliczenia, ułatwia interpretację cząstkowych rezultatów, a uzyskane wyniki charakteryzują się mniejszym rozrzutem błędu standardowego. W opracowanym modelu nie ma potrzeby obliczania współczynników korygujących dla nieruchomości reprezentatywnej, wystarczy ustalić wagi dla poszczególnych cech. Nie zachodzi również konieczność obliczania współczynników korygujących dla nieruchomości, dla których ustalamy wartości katastralne. Brak wyrazu wolnego w modelu powszechnej taksacji nieruchomości może mieć istotne znaczenie dla ustalania wartości katastralnych. Zmiana wartości cechy o jednostkę, w przyjętej pięciopunktowej skali, może spowodować dużą zmianę wartości wagi.

Metoda *ZMPTN* daje wyniki nieco dokładniejsze od metody *ZMKCS*. Najmniejszym błędem standardowym charakteryzuje się metoda *MPTN* w wariancie I oraz w wariancie III. Metoda *MPTN*, w szczególnych przypadkach danych z rynku nieruchomości, może dawać największy błąd standardowy, co spowodowane jest nieuwzględnieniem w modelu wyrazu wolnego.

PIŚMIENNICTWO

- Adamczewski Z., 2002. Algorytm wektorowej średniej ważonej zastosowany do realizacji metody porównawczej wyceny nieruchomości. *Przegląd Geodezyjny*, nr 1.
- Czaja J., 2001. Metody szacowania wartości rynkowej i katastralnej, KOMP-SYSTEM, Kraków.
- Prystupa M., Brodaczewski Z., 1998. Problemy z taksacją nieruchomości, *Rzeczoznawca Majątkowy*, nr 3.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 29 czerwca 2005 r. w sprawie powszechnej taksacji nieruchomości. (Dz. U. Nr 131, poz. 1092).
- Sawiłow E., 2004. Analiza metod ustalania wpływu atrybutów na wartość nieruchomości. *Studia i Materiały Towarzystwa Naukowego Nieruchomości*, Vol. 12, nr 1.
- Sawiłow E., 2004. Ocena stabilności wartości katastralnych w modelu powszechnej taksacji nieruchomości. *Acta Scientiarum Polonorum, Administratio Locorum*, 3 (2), Olsztyn.
- Powszechne Krajowe Zasady Wyceny, PFSRM, 2008. Warszawa.
- Telega T., Bojar Z., Adamczewski Z., 2002. Wytuczne przeprowadzenia powszechnej taksacji nieruchomości, *Przegląd Geodezyjny*, nr 6.
- Ustawa z dnia 21 sierpnia 1997 r. o gospodarce nieruchomościami (tekst jednolity: Dz. U. z 2004 r. Nr 261, poz. 2603, ze zm.).

ANALYSIS OF SELECTED METHODS OF FIXING CADASTRAL VALUE

Abstract. In the article one passed the comparative analysis of chosen methods settlements of cadastral values for needs of the tax from the value real property. First from analysed methods of the settlement of cadastral values is the method circumstantiated in guidelines of passing of the general valuation of real property. Second with of analysis a method is the method of correcting of the average price. In the article one introduced also proposals of the modification of these methods. One fixed cadastral values for the test-object and one compared results of the settlement of the value of cadastral real property with these methods.

Key words: real property, model, taxation, tax on values

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.06.2009

Do cytowania – For citation: Sawiłow E., 2009. Analiza wybranych metod modelowania wartości katastralnych nieruchomości. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.*, 8(2), 27–38.

MODELOWANIE 3^D NA PODSTAWIE FOTOGRAFII AMATORSKICH*

Edward Nowak¹, Joanna Nowak²

¹ Politechnika Warszawska

² European Commission Joint Research Centre

Streszczenie. Fotogrametryczne opracowanie zdjęć amatorskich, niemetrycznych zobrażeń cyfrowych, jest utrudnione ze względu na niemożność przeprowadzenia laboratoryjnej kalibracji użytych aparatów fotograficznych czy zastosowania samokalibracji za pomocą znanej ogólnej metody DLT – Direct Linear Transformation (brak fotopunktów o znanych współrzędnych terenowych). W praktyce zazwyczaj dysponujemy tylko zdjęciami pozyskiwanymi często z kilku różnych źródeł i nierzadko są to zdjęcia wykonane z wykorzystaniem obiektywu zmiennoogniskowego (zoom).

W pracy przeprowadzono analizę matematycznych podstaw rzutu środkowego, w szczególności wykazano możliwość uzyskania pełnej orientacji wewnętrznej na podstawie perspektywicznych punktów zbiegu oraz opracowano nowe sposoby wyznaczenia tych punktów. Przedstawione rozwiązanie pozwala na metryczne opracowanie niemetrycznych zobrażeń cyfrowych, w tym zdjęć kadrowanych lub wykonanych z wykorzystaniem obiektywu zmiennoogniskowego. Zaproponowano również autonomiczną metodę wyznaczenia dystorsji radialnej na podstawie efektu beczkowatości (poduszkowatości). Metoda umożliwia uniknięcie negatywnych skutków silnego skorelowania parametrów dystorsji z odległością obrazową.

Doświadczenia z ogólnie dostępnego oprogramowania do modelowania zdjęć amatorskich (wizualizacji geometrycznych 3^D) wskazują, że wybrane własności perspektywicznych punktów zbiegu są już wykorzystane w praktyce. W szczególności przetestowano, udostępnione przez Google, narzędzie Photo Match umożliwiające budowę nieskomplikowanego modelu 3^D ze zdjęć obrazujących dwie prostopadłe płaszczyzny danego obiektu, np. ściany budynku.

Słowa kluczowe: cyfrowe zdjęcia amatorskie, modelowanie 3^D, samokalibracja zdjęć, dystorsja radialna, perspektywiczne punkty zbiegu

* Opracowanie wykonano w ramach projektu badawczego 4T12E00827.

SAMOKALIBRACJA W PARAMETRYZACJI DLT

Opracowanie zdjęć amatorskich (np. w celu dokonania trójwymiarowych wizualizacji geometrycznych) wymaga rozwiązania problemu braku parametrów orientacji wewnętrznej kamery. Odtworzenie wiązki rzutu środkowego na podstawie zdjęć wykonywanych z zastosowaniem obiektywów zmiennoogniskowych (zoom) jest dodatkowo utrudnione i wymaga zastosowania odpowiednich procedur samokalibracyjnych [Kraus 1992, 1997, Tokarczyk i Stanios 2004].

Fotogrametria bliskiego zasięgu często posługuje się ogólną metodą parametryzacji DLT (Direct Linear Transformation) [Abdel-Aziz i Karara 1971, Hbrouk i in. 1996]:

$$x = \frac{d_{1,1}X + d_{1,2}Y + d_{1,3}Z + b_1}{d_{3,1}X + d_{3,2}Y + d_{3,3}Z + b_3}, \quad y = \frac{d_{2,1}X + d_{2,2}Y + d_{2,3}Z + b_1}{d_{3,1}X + d_{3,2}Y + d_{3,3}Z + b_3}, \quad (1)$$

która wymaga wyznaczenia 11 parametrów (dla jednoznaczności przyjmujemy $d_{33} = 1$).

Można wykazać ich równoważność z parametrami [Nowak i Nowak 2000]:

- orientacji zewnętrznej $X_s, Y_s, Z_s, \varpi, \varphi, \kappa$,
- orientacji wewnętrznej x_g, y_g, c_k ,
- układu pomiarowego μ, τ .

Samokalibracja w parametryzacji DLT wymaga fotopunktów o znanych współrzędnych terenowych [Kraus 1992, Nowak i Nowak 2001, Happach i in. 2003], czym w praktyce zdjęć amatorskich nie dysponujemy.

DYSTORSJA OBIEKTYWU

Model parametryczny rzeczywistych zdjęć cyfrowych powinien uwzględniać wpływ fizycznej realizacji rzutu przez obiektyw kamery. Najczęściej stosuje się w tym celu parametry dystorsji radialnej określonej wzorem:

$$t_i = t_i(1 + R_3 \cdot r^2 + R_5 \cdot r^4) \quad (2)$$

gdzie: R_3, R_5 – współczynniki dystorsji radialnej.

Wyżej wymieniony model dystorsji, nazywany również parametrami dodatkowymi, jest stosowany w aerotriangulacji [Kraus 1997, Nowak 2002]. Wykryto tam zjawisko silnej korelacji tych parametrów. Takie niekorzystne zjawisko występuje również w zagadnieniach fotogrametrii bliskiego zasięgu [Nowak i Nowak 2005], gdzie korelacja z odległością obrazową przekracza nawet 90%.

Proponujemy specjalne rozwiązanie dla aparatów amatorskich, aby uniknąć negatywnych skutków wspomnianej korelacji:

1. Model ograniczamy do jednego współczynnika, odniesionego do promienia maksymalnego (połowa przekątnej zdjęcia) $t_i = t_i(1 + R_3 \cdot (r_i / r_{\max.})^2)$ (3)

$$\text{gdzie } t_i^T = [x_i, y_i], \quad r_i = |t_i| = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$$

2. Estymację prowadzimy na podstawie obserwacji 3 punktów na odcinkach prostoliniowych w pobliżu ramki zdjęcia przed wyznaczeniem innych parametrów.

Uzyskane wyniki dystorsji możemy stosować do innych zdjęć wykonanych tym samym obiektywem, przy czym uwzględniamy zmianę odległości obrazowej tak, aby tym samym kątom środkowym odpowiadała ta sama wartość dystorsji. Taką zależność potwierdzają doświadczenia Al-Ajlouni i Fraser [2006]. Można do tego celu wykorzystać zapis ogniskowej w plikach obrazowych (najczęściej jest to przybliżona wartość podana w milimetrach).

$$t_i = t_i(1 + r_3 \cdot (r_i / r_{\max.})^2 \cdot c^2 / c_1^2). \quad (4)$$

Do wyznaczeń powinniśmy wykorzystać możliwie małą ogniskową $c < c_1$.

Algorytm określenia współczynnika dystorsji na podstawie obserwacji współrzędnych tłowych 3 punktów odcinka prostej przedstawia się następująco:

- obracamy układ tłowy tak, aby odcinek 1-2 był równoległy do osi Ox $t' = At$

$$\text{gdzie } A = \frac{1}{d_{12}} \begin{bmatrix} p & q \\ -q & p \end{bmatrix}, \quad p = x_2 - x_1, \quad q = y_2 - y_1, \quad d_{12} = \sqrt{p^2 + q^2} \quad (5)$$

- wyznaczamy rzut punktu 3 na odcinek 1-2

$$t_4 = \frac{d_{13}}{d_{12}} t_1 + \frac{d_{23}}{d_{12}} t_2 \quad (6)$$

- uwzględniamy warunek prostoliniowości obrazu odcinka

$$y_4 = y_3 \quad (7)$$

- uwzględniamy kąty między odcinkiem 12 a promieniami wodzącymi punktów (zmiana współczynnika dystorsji działa wzdłuż promienia)

$$y_i = y_i(1 + R_3 \cdot f_i)$$

$$\text{gdzie } f_i = (r_i / r_{\max.})^2 \cdot s_i, \quad s_i = ((x_2 - x_1) \cdot y_i - (y_2 - y_1) \cdot x_i) / r_i / d_{12} \quad (8)$$

- wówczas warunek (7) przybiera postać

$$y_1(1 + R_3 \cdot f_1) \cdot d_{13} + y_2(1 + R_3 \cdot f_2) \cdot d_{23} = y_3(1 + R_3 \cdot f_3) \cdot d_{12} \quad (9)$$

$$\text{stąd ostatecznie } R_3 = \frac{y_1 \cdot d_{13} + y_2 \cdot d_{23} - y_3 \cdot d_{12}}{f_1 \cdot d_{13} f_2 \cdot d_{23} - f_3 \cdot d_{12}}. \quad (10)$$

Znając cechy rzutu środkowego oraz dysponując obrazami linii prostych na badanych zdjęciach, można uzyskać również inne współczynniki (obok omówionej wyżej dystorsji). Kanadyjscy badacze [Habib i in. 2004] poszukując prostego rozwiązania kalibracji amatorskich aparatów cyfrowych (w zastosowaniu do trójwymiarowego modelowania obiektów cennych historycznie), proponują właśnie wykorzystanie obrazów linii prostych.

PARAMETRYZACJA METRYCZNA CYFROWEGO APARATU FOTOGRAFICZNEGO

Między układami oryginału i obrazu zachodzi kolinearność:

$$r = \lambda A(R - R_S) \quad (11)$$

gdzie: punkt obrazu $r^T = [x, y, c]$
 punkt oryginału $c R^T = [X, Y, Z]$
 środek rzutów $R_S^T = [X_S, Y_S, Z_S]$

Macierz obrotu jest ortogonalna $A^T A = I$ i może być określona za pomocą trzech kątów obrotu Eulera, np. k_3 dookoła osi Oz , k_2 dookoła osi Oy , k_1 dookoła osi Ox .

$$\begin{aligned} a_{1,1} &= \cos(k_2) \cdot \cos(k_3) & a_{1,2} &= -\cos(k_2) \cdot \sin(k_3) & a_{1,3} &= \sin(k_2) \\ a_{2,1} &= \sin(k_1) \cdot \sin(k_2) \cdot \cos(k_3) + \cos(k_1) \cdot \sin(k_3) \\ a_{2,2} &= \cos(k_1) \cdot \cos(k_3) - \sin(k_1) \cdot \sin(k_2) \cdot \sin(k_3) \\ a_{2,3} &= -\cos(k_2) \cdot \sin(k_1) \\ a_{3,1} &= \sin(k_1) \cdot \sin(k_3) - \cos(k_1) \cdot \sin(k_2) \cdot \cos(k_3) \\ a_{3,2} &= \sin(k_1) \cdot \cos(k_3) + \cos(k_1) \cdot \sin(k_2) \cdot \sin(k_3) \\ a_{3,3} &= \cos(k_1) \cdot \cos(k_2) \end{aligned} \quad (12)$$

Eliminując z (1) parametr λ , otrzymamy jawne wzory rzutu środkowego o 7 parametrach:

$$\begin{aligned} x &= \frac{a_{1,1}(X - X_S) + a_{1,2}(Y - Y_S) + a_{1,3}(Z - Z_S)}{a_{3,1}(X - X_S) + a_{3,2}(Y - Y_S) + a_{3,3}(Z - Z_S)} c \\ y &= \frac{a_{2,1}(X - X_S) + a_{2,2}(Y - Y_S) + a_{2,3}(Z - Z_S)}{a_{3,1}(X - X_S) + a_{3,2}(Y - Y_S) + a_{3,3}(Z - Z_S)} c \end{aligned} \quad (13)$$

gdzie $X_S, Y_S, Z_S, c, k_1, k_2, k_3$ to odpowiednio współrzędne środka rzutów, odległość obrazowa oraz współczynniki dystorsji.

Łatwo zauważyć, że odległość obrazowa c jest wyrażona w jednostkach współrzędnych tłowych, a w przypadku aparatów cyfrowych są nimi piksele.

WYZNACZENIE PARAMETRÓW ORIENTACJI ZDJĘCIA

Obrazy perspektywiczne mają tę własność, że obrazy linii równoległych oryginału przecinają się w punktach zbiegu. Interesujące są punkty zbiegu osi układu terenowego:

$$\begin{array}{l} \text{punkt zbiegu osi } OX \\ \lim_{X \rightarrow \infty} x = \frac{a_{1,1}}{a_{3,1}} c = x_X \quad \lim_{X \rightarrow \infty} y = \frac{a_{2,1}}{a_{3,1}} c = y_X \end{array} \quad (14)$$

$$\begin{array}{l} \text{punkt zbiegu osi } OY \\ \lim_{Z \rightarrow \infty} x = \frac{a_{1,2}}{a_{3,2}} c = x_Y \quad \lim_{Z \rightarrow \infty} y = \frac{a_{2,2}}{a_{3,2}} c = y_Y \end{array} \quad (15)$$

$$\begin{array}{l} \text{punkt zbiegu osi } OZ \\ \lim_{Z \rightarrow \infty} x = \frac{a_{1,3}}{a_{3,3}} c = x_Z \quad \lim_{Z \rightarrow \infty} y = \frac{a_{2,3}}{a_{3,3}} c = y_Z \end{array} \quad (16)$$

Wykorzystując ortogonalność kolumn macierzy obrotu, otrzymamy iloczyny skalarne wektorów punktów zbiegu:

$$x_X \cdot x_Y + y_X \cdot y_Y = x_X \cdot x_Z + y_X \cdot y_Z = x_Y \cdot x_Z + y_Y \cdot y_Z = -c^2 \quad (17)$$

To zasadnicze twierdzenie o punktach zbiegu (17) prowadzi do dwóch ważnych w zastosowaniach wniosków:

1. dwa dowolne, właściwe punkty zbiegu pozwalają na wyznaczenie odległości obrazowej – czyli najważniejszego atrybutu zdjęć wykonywanych obiektywem zmiennoogniskowym (zoom);
2. trzy punkty zbiegu tworzą trójkąt, dla którego wektory punktów zbiegu są prostopadłe do boków, np. $x_X \cdot (x_Y - x_Z) + y_X \cdot (y_Y - y_Z) = 0$, czyli punkt przecięcia wysokości (ortocentrum) jest punktem głównym zdjęcia, co prowadzi do pełnej orientacji wewnętrznej i pozwala na metryczne wykorzystanie zdjęć kadrowanych.

Obydwa wnioski zostały uwzględnione w autorskim systemie komputerowym FOTO [Happach 2003] już w 2003 (wersja *foto_3d2003.exe* i wszystkie następne), umożliwiając obróbkę zdjęć wykonanych obiektywem zmiennoogniskowym lub kadrowanych. Można zauważyć, że wniosek nr 1 wykorzystuje koncern Google w narzędziu Photo-Match wspomagającym modelowanie 3D (w aplikacji SketchUp) bezpośrednio na fotografii obiektu [www.sketchup.com].

Współrzędne tłowe punktów zbiegu osi pozwalają również na wyznaczenie kątów obrotu, np. z dwóch zbiegów poziomych otrzymamy:

$$k_1 = -\arctan\left(\frac{y_Z}{c}\right), \quad k_2 = \arctan\left(\frac{x_Z}{c \cdot \cos(k_1)}\right)$$

$$k_3 = \arctan\left(\frac{y_X \cdot \cos(k_1) + c \cdot \sin(k_1)}{y_X \cdot \sin(k_1) - c \cdot \cos(k_1)} \sin(k_2)\right). \quad (18)$$

Można również wyznaczyć elementy macierzy obrotu bezpośrednio ze związków algebraicznych:

- wynikających z ortogonalności wierszy i kolumn macierzy A , np.

$$(x_X^2 + y_X^2) \cdot c^2 = \frac{a_{11}^2 + a_{21}^2}{a_{31}^2} = \frac{1 - a_{31}^2}{a_{31}^2} \quad (19)$$

Z założenia dotyczącego małych kątów obrotu wynika, iż $a_{11} > 0$ (oraz pozostałe elementy przekątne), stąd znaki określa reguła $\text{sign}(a_{31}) = \text{sign}(x_X)$;

- wynikających z wyznaczenia odwrotności za pomocą dopełnień algebraicznych $A^T = A^{-1}$, np.

$$a_{23} = -(a_{11} \cdot a_{32} - a_{31} \cdot a_{12}). \quad (20)$$

Trzeba zaznaczyć, że wyznaczenie orientacji jest niemożliwe, gdy dwa punkty zbiegu są niewłaściwe (płaszczyzna zdjęcia równoległa do dwóch osi układu terenowego). Taki przypadek jest mało prawdopodobny w zdjęciach amatorskich.

WYZNACZENIE ŚRODKA RZUTÓW

Do wyznaczenia współrzędnych środka rzutów wykorzystamy obrazy dwóch szczególnych punktów oryginału: początek układu współrzędnych terenowych O oraz punkt H leżący na osi OY . Wówczas

- podstawiając $R = 0$ do wzoru (11), mamy $r_O = [x_O, y_O, c]^T = -\lambda_O A R_S$.
Macierz A jest ortogonalna, to mnożąc przez A^T otrzymamy:

$$-\lambda_O R_S = U$$

gdzie znany wektor $U = A^T r_O = [U_1, U_2, U_3]^T$.

$$\text{Eliminując parametr } \lambda_O, \text{ otrzymamy } X_S = \frac{U_1}{U_3} Z_S, \quad Y_S = \frac{U_2}{U_3} Z_S \quad (21)$$

- Kładąc $R = R_H = [0, Y_H, 0]$ do wzoru (1), mamy $r_H = [x_H, y_H, c]^T = \lambda_H A (R_H - R_S)$.

Analogicznie jak poprzednio, mnożąc przez A^T , otrzymamy:

$$\lambda_H \begin{bmatrix} -X_s \\ Y_H - Y_s \\ -Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix} = A^T r_H$$

Eliminując parametr λ_H , otrzymamy $Y_H - Y_s = -\frac{W_2}{W_3} Z_s$.

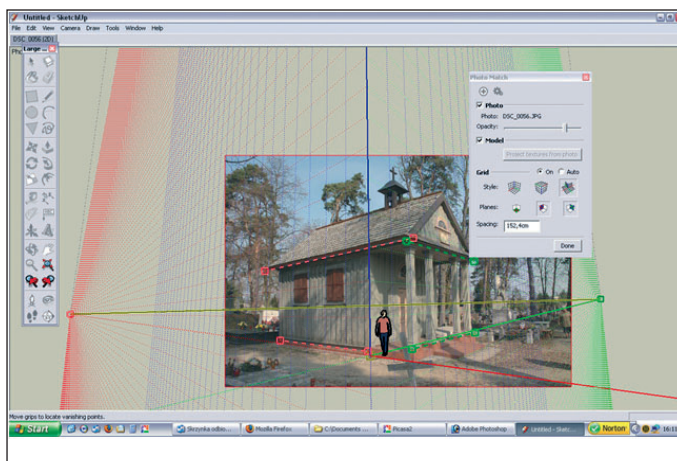
Dodając (21), otrzymamy ostatnią niewiadomą $Z_s = Y_H \frac{U_3 W_3}{U_2 W_3 - U_3 W_2}$. (22)

Łatwo zauważyć, że wartość Y_H określa skalę wektora środka rzutów. Zastąpienie pomiaru terenowego pośrednim oszacowaniem wpłynie tylko na wielkość (skalę), ale nie zmieni kształtu odtwarzanego obiektu.

Jako zdjęcie bazowe należy wybrać zdjęcie zawierające dwie prostopadłe płaszczyzny, np. ściany budynku. Zobrazowane płaszczyzny powinny pozwalać na wyznaczenie dwóch poziomych zbiegów perspektywicznych (np. po linii okien, gzymsu itp.). Krawędź pionowa wyznaczy kierunek trzeciego zbiegu (pionowego).

SPOSOBY WYZNACZANIA PUNKTÓW ZBIEGU

Naturalnym sposobem wyznaczenia punktów zbiegu jest wykorzystanie przecięć obrazów linii równoległych do osi układu terenowego. Na takiej metodzie opiera się m.in. narzędzie Google PhotoMatch [<http://earth.google.com/userguide>] (ryc. 1). Korzyści z kalibracji na podstawie punktów zbiegu są nie do przecenienia, dlatego poniżej przedstawiamy inne sposoby ich wyznaczenia (szczególnie ważne, gdy na zdjęciu nie można zidentyfikować dwóch przecinających się prostych).



Ryc. 1. Ustawianie zbiegów perspektywicznych (narzędzie PhotoMatch)

Fig.1. Manually adjusting the vanishing points (Google PhotoMatch)

Wyznaczanie punktu zbiegu na podstawie znanego podziału odcinka

Jednym ze sposobów na wyznaczenie punktu zbiegu jest wykorzystanie symetrii obiektu, np. powtarzające się rozmieszczenie okien.

Załóżmy, że możemy na danym zdjęciu zidentyfikować odcinek (o końcach 1 i 3), który jest dzielony punktem 2 w znanym stosunku u/v . Wprowadzając współrzędne bieżące prostej K (do której należą wszystkie trzy punkty), otrzymamy $\frac{K_2 - K_1}{K_3 - K_2} = \frac{u}{v}$. Obrazem tej prostej jest prosta o współrzędnych bieżących k , związana z oryginałem zależnością rzutową $k = \frac{aK + b}{dK + 1}$, a wówczas punkt zbiegu wyraża się jako $k_K = \lim_{K \rightarrow \infty} k = \frac{a}{d}$.

$$K \rightarrow \infty$$

Dla określenia nieznanymi parametrów rzutu a, b, d wykorzystamy zaobserwowane na zdjęciu współrzędne bieżące wspomnianych trzech punktów, a w szczególności:

- dla punktu 1 – wstawiając $K_1 = 0$ do równania rzutu, otrzymamy $b = k_1 = 0$;
- dla punktu 2 – wstawiając $K_2 = 0$ do równania rzutu, otrzymamy $k_2 = ua + uk_2d$;
- dla punktu 3 – wstawiając $K_3 = u + v = w$ do równania rzutu, otrzymamy $k_3 = wa + wk_3d$.

Z dwóch ostatnich równań otrzymamy współrzędną bieżącą poszukiwanego punktu zbiegu:

$$k_K = \frac{a}{d} = \frac{(w-u)k_2k_3}{uk_3 - wk_2} = \frac{w-u}{u/k_2 - w/k_3}.$$

Wykorzystując znaną zależność punktów ABCD należących do jednej prostej (tzw.

dwustosunek), mamy dla oryginału: $q = \frac{AC}{BC} \frac{BD}{AD}$, $\lim_{D \rightarrow \infty} q = \frac{AC}{BC} = \frac{w}{v}$, a dla obrazu:

$$q = \frac{w}{v} = \frac{ac}{bc} \frac{bd}{ad} = q' \frac{ad - ab}{ad}, \text{ gdzie } q' = \frac{AC}{BC}.$$

$$\text{Wówczas: } (q - q') ad = -q' ab = -q'(ac - bc) = q'(1 - q')bc, \quad ad = \frac{q'(1 - q')}{q' - q} bc.$$

Podstawiając: $q' = \frac{k_3}{k_3 - k_2}$, $bc = k_3 - k_2$, $1 - q' = \frac{-k_2}{k_3 - k_2}$, otrzymamy ostatecznie:

$$ad = -\frac{k_3k_2}{k_3 - (k_3 - k_2)w/v} = \frac{-vk_3k_2}{wk_2 - uk_3}.$$

Wyznaczenie drugiego punktu zbiegu na podstawie pojedynczej prostej i znanej ogniskowej

Mając jeden punkt zbiegu (P_x), spróbujemy znaleźć kolejny. Potrzebne nam będą następujące dane: ogniskowa c oraz wektory wodzące punktu zbiegu P_x i dwóch punktów P_1, P_2 leżących na linii dążącej do drugiego punktu zbiegu.

Równanie parametryczne prostej $P = P_1 + (P_2 - P_1)t$ oraz warunek (17) w postaci wektorowej:

$$PP_X = P_1P_X + (P_2 - P_1)P_X t = -c^2$$

pozwalają na wyznaczenie wartości parametru dla poszukiwanego punktu zbiegu:

$$t = \frac{P_1P_X + c^2}{(P_1 - P_2)P_X}.$$

Wyznaczenie drugiego i trzeciego punktu zbiegu na podstawie pojedynczych prostych

Załóżmy inny przypadek: Mamy dane wektory wodzące punktu zbiegu P_X oraz dwie pary punktów P_1, P_2 i P_3, P_4 wyznaczających linie do drugiego i trzeciego punktu zbiegu.

Układamy warunek (17) dla kolejnych par punktów zbiegu, otrzymując:

- dla pierwszego i drugiego punktu zbiegu $(P_1 + Q_{12}t)P_X = -c^2$
- dla pierwszego i trzeciego punktu zbiegu $(P_3 + Q_{34}s)P_X = -c^2$
- dla drugiego i trzeciego punktu zbiegu $(P_1 + Q_{12}t)(P_3 + Q_{34}s) = -c^2$,
- gdzie $Q_{jk} = P_k - P_j$.

Odejmując pierwsze równanie od pozostałych, mamy:

$$(Q_{13} + Q_{34}s - Q_{12}t)P_X = 0 \quad \text{oraz} \quad (P_1 + Q_{12}t)(P_3 + Q_{34}s - P_X) = 0$$

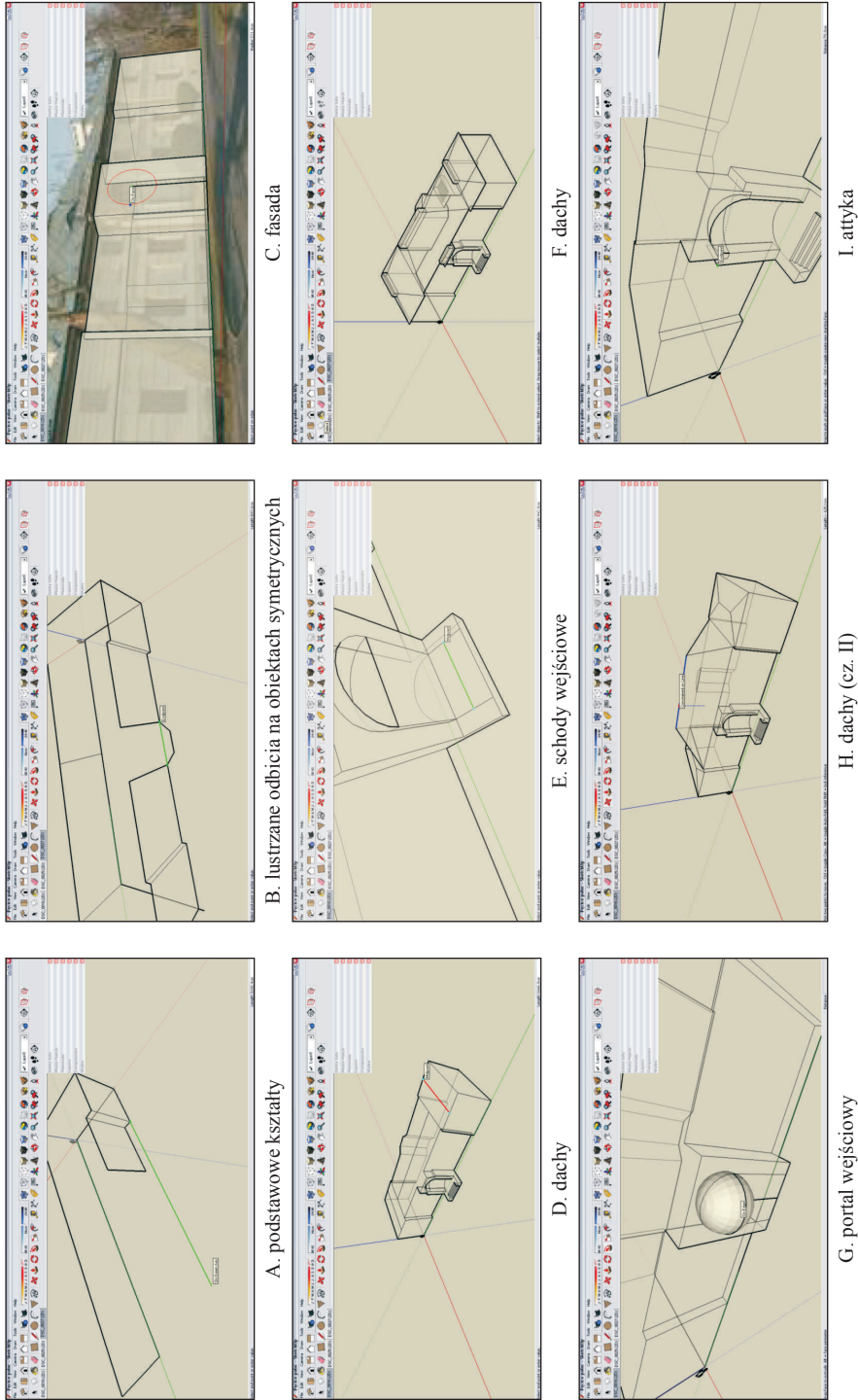
wyznaczamy niewiadomą t : $t = \frac{Q_{13}P_X + Q_{34}s}{Q_{12}P_X}$ i wstawiając, otrzymujemy równanie kwadratowe dla s . Z możliwych dwóch jego rozwiązań wybieramy to, które daje $c^2 > 0$ po wstawieniu do warunków (17).

MODELOWANIE 3^D

Coraz bardziej wymagający użytkownicy globalnej sieci Internet i/lub aparatów cyfrowych stymulują dynamiczny rozwój metod modelowania trójwymiarowego (inaczej wizualizacja geometryczna 3D). Przeszliśmy już etapy definiowania kształtu brył za pomocą linii szkieletowych (model drutowy), pokrywanie teksturą (rendering), oklejanie obrazami i osadzanie na numerycznym modelu terenu. Trójwymiarowy, fotorealistyczny model ułatwia inwentaryzację i badanie stanu geometrycznego obiektu, a udostępnianie modelu czy animacji w Internecie, na przykład przy zastosowaniu języka modelowania rzeczywistości wirtualnej VRML (Virtual Reality Modeling Language) lub formatu KML/KMZ (na potrzeby geo-browsera Google Earth), sprzyja popularyzacji obiektu.

Definiowanie kształtu

Kształt obiektów trójwymiarowych definiujemy poprzez projektowanie lub inwentaryzację geodezyjną. W niniejszym opracowaniu zajmujemy się inwentaryzacją fotogrametryczną, a w szczególności jej uproszczoną wersją, przeznaczoną dla amatorów tworzących modele dla celów prezentacji lub promocji (ryc. 2).



Ryc. 2. Fazy modelowania Dworu Polskiego w Pęcicach (narzędzie SketchUp)
 Fig. 2. Overview of the 3D modelling phases based on the Dwór Polski Pęcice (Google SketchUp application)

Kształt obiektu określają płaty powierzchni i ich krawędzie. W praktyce rozróżniamy:

- model drutowy zbudowany z krawędzi:
 - prostoliniowych (TIN, GRID),
 - krzywoliniowych (stożkowe, spline);
- model płata stanowiący fragment powierzchni:
 - płaskiej,
 - zakrzywionej (kwadryki, NURBS).

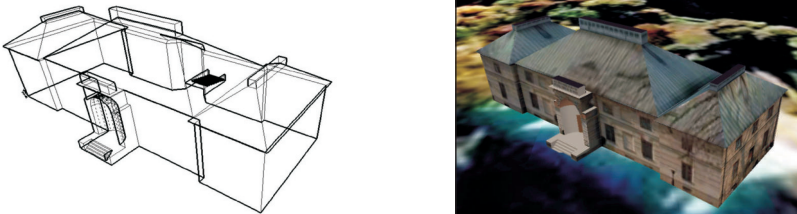
Jednym z najbardziej zaawansowanych narzędzi do określania dowolnych kształtów (np. rzeźb) jest program Rhinoceros [McNeel 2002] operujący standardem przemysłowym NURBS [Nowak i Nowak 2006]. Niestety, jest dostosowany tylko do projektowania. W praktyce wykorzystuje się programy typu CAD (np. AutoCAD, MicroStation, 3D-Studio).

Oklejanie powierzchni

Nakładanie na zidentyfikowane powierzchnie tekstur czy obrazów znacznie zwiększa atrakcyjność modeli. Rozróżniamy oklejanie poprzez:

- nakładanie regularnych tekstur;
- nakładanie obrazów (zdjęć):
 - transformacje płaskie (resampling),
 - przecięcia wiązki fotograficznej powierzchnią o znanym kształcie (monoplotting).

W ogólnodostępnych programach przeznaczonych do obróbki zdjęć cyfrowych najczęściej stosowany jest resampling (ryc. 3)



Ryc. 3. Model drutowy Dworu Polskiego w Pęcicach (strona lewa) oraz ten sam model z nałożonymi teksturami ze zdjęć poszczególnych ścian Dworu (strona prawa)

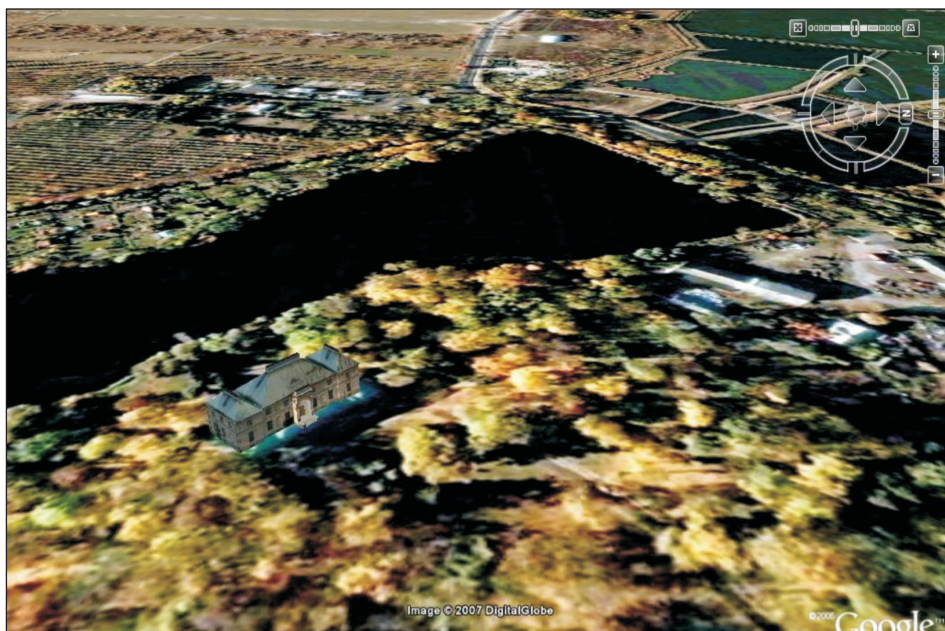
Fig. 3. Dwór Polski Pęcice wireframe (on the left), and the same model with building texture applied (on the right)

Bezpośrednia budowa modelu 3^D z amatorskich zdjęć cyfrowych

Opracowania architektoniczne i inwentaryzacja inżynierska były dotychczas domeną profesjonalnej fotogrametrii. Możliwości współczesnych aparatów cyfrowych (m.in. wysoka rozdzielczość obrazu, duża czułość matrycy CCD) umożliwiają szerokie zastosowanie zobrażeń niemetrycznych pozyskiwanych amatorskimi aparatami cyfrowymi, w tym do budowy modeli 3^D.

Dostępny od niedawna na polskim rynku system PI-3000 umożliwia automatyczne modelowanie powierzchni brył o dowolnym kształcie na podstawie ich zobrażeń. Eks-

perymenty przeprowadzone na Politechnice Gdańskiej i UWM w Olsztynie potwierdziły jego wysoką przydatność do wizualizacji geometrycznych 3^D z użyciem niemetrycznych aparatów cyfrowych [Chmielewski i Szulwic 2005]. Niestety, system PI-3000 wymaga znajomości elementów orientacji wewnętrznej aparatów oraz współczynników dystorsji radialnej. Niewątpliwym ulepszeniem byłoby wykorzystanie orientacji wzajemnej dla różnych ogniskowych [Nowak i Nowak 1998], ale pozostałaby cena stanowiąca barierę dla amatorów.



Ryc. 4. Dwór Polski w Pęcicach (model drutowy oklejony obrazami w wyniku transformacji płaskiej, opublikowany w aplikacji Google Earth)

Fig. 4. Final model placed in its proper location (viewed within the Google Earth Application)

Udostępnienie przez koncern Google kompletu darmowych narzędzi [www.sketchup.com] na potrzeby użytkownika niekomercyjnego: PhotoMatch do budowy uproszczonego modelu wprost ze zdjęcia, gdzie elementy orientacji wewnętrznej i zewnętrznej wyznaczane są na podstawie dwóch punktów zbiegu, które z kolei są wyszukiwane metodą przecięć obrazów linii równoległych do osi układu terenowego wskazanych bezpośrednio na zdjęciu (ryc.1) oraz SketchUp do projektowania elementarnych kształtów w formie modelu drutowego i nakładania tekstur (ryc. 2) – znacząco przyczynia się do wzrostu popularności opracowania fotogrametrycznego zdjęć amatorskich, a przy tym daje możliwość łatwego komunikowania innym swoich osiągnięć (np. poprzez wstawienie modelu w KMZ do Google Earth (ryc. 4).

WNIOSKI

Trójwymiarowe modelowanie obiektów architektonicznych odwzorowanych za pomocą amatorskich aparatów cyfrowych utrudnia brak znajomości elementów orientacji wewnętrznej użytych aparatów oraz parametrów dystorsji (radialnej).

W naszej pracy, analizując matematyczne podstawy rzutu środkowego, wykazaliśmy możliwość wykonania pełnej orientacji wewnętrznej na podstawie perspektywicznych punktów zbiegu. Metoda pozwala na opracowanie zdjęć kadrowanych lub wykonanych z wykorzystaniem obiektywu zmiennoogniskowego (zoom). Z takimi zdjęciami mamy często do czynienia w praktyce, stąd omówienie sposobów znalezienia punktów zbiegu stanowi dużą część naszych badań. Jednocześnie zaprezentowaliśmy autorską metodę uzyskania współczynników dystorsji na podstawie obserwacji zniekształceń obrazu odcinków prostoliniowych, która umożliwi uniknięcie negatywnych skutków silnego skorelowania parametrów dystorsji z odległością obrazową.

Dalszych badań wymaga analiza dokładności i określenie warunków technicznych dla wykonania samokalibracji.

PIŚMIENNICTWO

- Abdel-Aziz Y.I., Karara H.M., 1971. Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry (pp. 1–18). Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- Al-Ajlouni S., Fraser C.S., 2006. Zoom-Dependent Calibration for Consumer-Grade Cameras. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Dresden, Sept., Dresden, 35(5), 20–25.
- Chmielewski K., Szulwic J., 2005. Niemetryczne zdjęcia cyfrowe w fotogrametrii bliskiego zasięgu w systemie Topcon PI-3000. Zeszyty Sesji Jubileuszowej 60-lecia Katedry Geodezji Politechniki Gdańskiej, 17.06.2005, Gdańsk.
- Habib A. Ghanma M., Al-Ruzouq R., Kim E.M., 2004. 3-D Modelling of Historical Sites Using Low-Cost Digital Cameras, XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, Commission 5, SS4-CIPA-Low-Cost Systems in Recording and Managing the Cultural Heritage.
- Happach M., Nowak E., Nowak J., 2003. Amateur Photographic Recording Used To Rescue Works Of Cultural Heritage. International Conference and Exhibition GIS Silesia 2003; Sosnowiec, Poland.
- Hbrouk H.E., Li X.P., Faig W., 1996. Determination of Geometric Characteristics of a Digital Camera by Self-Calibration. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B1, Vienna.
- Kraus K., 1992. Photogrammetry, Volume 1. Fundamentals and Standard Processes. Dümmlerbuch / Bonn. Institute for Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology.
- Kraus K., 1997. Photogrammetry, Volume 2. Advanced Methods and Applications. Dümmlerbuch / Bonn. Institute for Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology.
- Nowak E., Nowak J., 1998. Pozyskiwanie danych przestrzennych z fotografii amatorskich dla rekonstrukcji obiektów zniszczonych. Mat. Międz. Konf. Nauk. „Ochrona i przetwarzanie danych”, Ustroń.
- Nowak E., Nowak J., 2001. Building shape reconstruction on the basis of an amateur photograph. International Conference GIS Polonia 2001, Warszawa.

- Nowak E., Nowak J., 2005. Modelowanie układu pomiarowego amatorskiego cyfrowego aparatu fotograficznego. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, seria konferencyjna nr 114/45. Geoinformacja dla wszystkich, XIX JSG, Wrocław, 263–273.*
- Nowak E., Nowak J., 2006. Aproksymacja kształtu obiektów trójwymiarowych wielomianami oraz NURBS – podejście niezawodnościowe. *85th Anniversary of the Faculty of Geodesy and Cartography, Warsaw University of Technology.*
- Nowak J., 2002. Badanie niezawodnościowych własności technik fotogrametrycznych w aspekcie zastosowań inżynierskich. *Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska.*
- McNeel R., (ed.), 2002. *Rhinoceros – NURBS modeling for Windows, Users Guide.*
- Tokarczyk R., Stanios I., 2004. Kalibracja cyfrowego aparatu fotograficznego z wykorzystaniem darmowej wersji programu Aerosys. *Przegląd Geodezyjny Nr 6/2004.*

MODELLING 3^D VIEWS BASED ON AMATEUR PHOTOGRAPHY

Abstract. Modelling three-dimensional objects (e.g. historical buildings) based on non-metric digital images is a complex task because the internal orientation and radial distortion parameters are unstable and unknown. In this paper, by analysing the mathematical basis of the central projection, the authors describe the feasibility of using the internal orientation of amateur photographs through the use of vanishing points (in a perspective drawing). The presented method is able to use zoomed photographs. Consequently, the paper also includes several ways of deriving the vanishing points analytically. The authors also propose a method for deriving the radial distortion parameters on the basis of the barrel/cushion effect. The advantage of this solution is the possibility to minimise the negative effects of the strong correlation between distortion parameters and the focal distance.

Key words: non-metric (amateur) photographs, 3D modelling, autocalibration, radial distortion, vanishing points

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.06.2009

Do cytowania – For citation: Nowak E., Nowak J., 2009. Modelowanie 3^D na podstawie fotografii amatorskich. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.*, 8(2), 39–52.

NIWELACJA SATELITARNA GNSS Z WYKORZYSTANIEM SERWISU NAWGEO SYSTEMU ASG-EUPOS

Tomasz Hadaś, Jarosław Bosy

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Uruchomienie testowe wielofunkcyjnego systemu precyzyjnego pozycjonowania na obszarze Polski ASG-EUPOS z początkiem czerwca 2008 roku dało możliwość realizacji prac geodezyjnych w czasie rzeczywistym RTK GNSS (serwis NAWGEO) na obszarze całego kraju. System ASG-EUPOS wprowadza jednolity w skali kraju i niezmienny układ odniesienia. Wyznaczanie pozycji poziomej punktu z wykorzystaniem poprawek serwisu NAWGEO gwarantuje (zgodnie z informacjami właściciela systemu) spełnienie wymagań stawianych dla wszystkich grup dokładnościowych. Wysokości punktów zgodnie z obowiązującymi przepisami powinny być wyznaczone w stosunku do najbliższych punktów osnowy, a kryterium dokładności dla wysokości jest błąd położenia względem najbliższych reperów nawiązania. W pracy przeprowadzono analizy sposobów wyznaczania wysokości w kontekście możliwości technicznych systemu ASG-EUPOS i uwarunkowań prawno-technicznych wynikających z obowiązujących i projektowanych standardów technicznych. Efekt końcowy stanowi propozycja metodyki pomiarów w celu określenia wysokości normalnych w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem serwisu NAWGEO systemu ASG-EUPOS z jednoczesną oceną dokładności. Ponadto wykonano analizę dostępnych modeli quasi-geoidy i sposobów ich wpasowania przy realizacji pomiarów wysokości w systemie ASG-EUPOS.

Słowa kluczowe: niwelacja satelitarna GNSS, quasi-geoida

WSTĘP

Zbudowany w ramach europejskiego projektu EUPOS system ASG-EUPOS obejmuje swym zasięgiem całe terytorium Polski, generując permanentne poprawki korekcyjne dla odbiorników GNSS wykonujących pomiary DGNSS (serwisy NAWGIS, KODGIS), RTK GNSS (serwis NAWGEO) i pomiary statyczne (serwisy POZGEO i POZGEO D). Korzystanie z serwisów systemu gwarantuje osiągnięcie wysokich dokładności, wystarcza-

jących do realizacji większości prac geodezyjnych. Ponadto system wprowadza jednolity w skali kraju i niezmienny układ odniesienia [Bosy i in. 2008].

Pomiary geodezyjne regulowane są szeregiem aktów prawnych i obowiązujących standardów technicznych. Korzystanie z systemu ASG-EUPOS również powinno być prawnie uregulowane, aby wykonywane z jego użyciem pomiary charakteryzowały się wymaganą dokładnością i jakością, a opracowane na ich podstawie dokumenty mogły zostać w konsekwencji przyjęte do zasobu geodezyjno-kartograficznego. Tymczasem obecnie brak jest jednoznacznych i konkretnych instrukcji określających, w jaki sposób należy realizować pomiary z wykorzystaniem systemu, szczególnie jeśli chodzi o pomiary w czasie rzeczywistym. Korzystanie z serwisu jest oczywiście możliwe, pod warunkiem spełnienia wymagań dokładnościowych.

Wyznaczanie pozycji poziomej punktu z wykorzystaniem poprawek serwisu NAW-GEO gwarantuje (zgodnie z informacjami właściciela systemu) spełnienie wymagań stawianych dla wszystkich grup dokładnościowych. Ponieważ jednak położenie punktu w trzech wymiarach nie jest wyznaczane w stosunku do najbliższych punktów osnowy, a kryterium dokładności dla wysokości jest błąd położenia względem najbliższych reperów nawiązania – potrzebne jest określenie takiego sposobu realizacji pomiarów wysokości, który spełni to kryterium. W fazie projektu są wytyczne techniczne G-1.12 odnoszące się do pomiarów satelitarnych opartych na systemie ASG-EUPOS oraz nowelizacja rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych, jednak brak jest w nich szczegółowych instrukcji odnośnie niwelacji satelitarnej. Wskazane jest jedynie wykorzystanie obowiązującego modelu quasi-geoidy lub transformacji opartej o punkty dostosowania, aby przeliczyć wysokości elipsoidalne do układu wysokości normalnych.

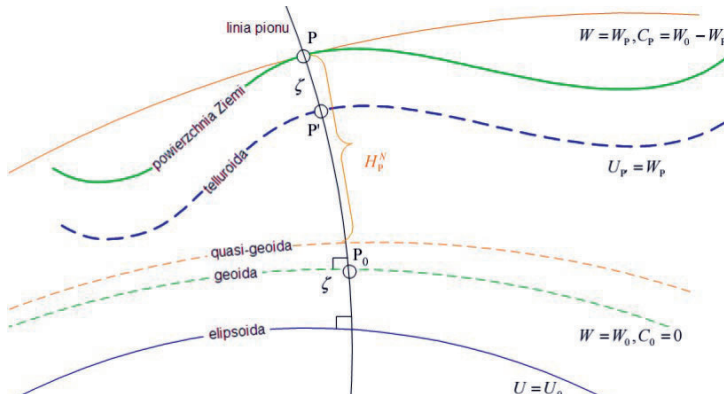
W niniejszej pracy przyjęto założenie, że ASG-EUPOS jest systemem wspomagającym pomiary technikami GNSS, w tym pomiary wysokości. Zastosowanie więc odpowiedniej procedury pomiaru, w tym pomiaru pewnej minimalnej liczby reperów nawiązania, a także odpowiedniego sposobu przeliczenia pomierzonych wysokości elipsoidalnych na wysokości w obowiązującym układzie wysokościowym, zapewni wymagany poziom dokładności dla wysokościowych pomiarów szczegółów terenowych w czasie rzeczywistym. Ponadto realizacja tych pomiarów będzie zgodna ze wszystkimi obowiązującymi instrukcjami i wytycznymi technicznymi. Realizacja powyższego założenia stanowi treść niniejszej pracy.

WYZNACZANIE WYSOKOŚCI NORMALNYCH PUNKTÓW Z POMIARÓW GNSS

System wysokości normalnych został zaproponowany przez Molodenskigo i wykorzystuje średnie przyspieszenie normalne $\bar{\gamma}$ zamiast średniego przyspieszenia siły ciężkości \bar{g} . Wysokością normalną nazywamy iloraz liczby geopotencjalnej C_p (różnica potencjału geoidy i potencjału powierzchni przechodzącej przez punkt) przez przeciętną wartość przyspieszenia normalnego $\bar{\gamma}$ wzdłuż linii pionu pola normalnego siły ciężkości. Wysokość normalna punktu P definiowana jest wzorem (ryc. 1):

$$H_P^N = \frac{C_P}{\gamma} \quad (1)$$

Wysokość normalna określa punkt P' znajdujący się na linii pionu przechodzącej przez P , w którym potencjał normalny $U_{P'} = W_{P'}$ (ryc. 1). Zbiór takich punktów tworzy powierzchnię zwaną telluroidą, o przebiegu zbliżonym do powierzchni Ziemi. Wysokość normalna punktu P jest równa wysokości elipsoidalnej odpowiadającego punktu P' [Hofmann-Wallenhof and Moritz, 2005]. Odkładając wzdłuż normalnych linii pionu wysokości normalne punktów od powierzchni, otrzymamy powierzchnię zwaną quasi-geoidą, która jest faktyczną powierzchnią odniesienia w systemie wysokości normalnych. Odległość quasi-geoidy od elipsoidy odniesienia nazywa się anomalią wysokości lub inaczej wzniesieniem quasi-geoidy nad elipsoidą. Quasi-geoida nie ma fizycznej realizacji, a system wysokości normalnych również posiada wadę, która nie pozwala na określanie stałej powierzchni wody na dużym obszarze.



Ryc. 1. Definicja wysokości normalnej [Reizner 2008]

Fig. 1. The normal height definition

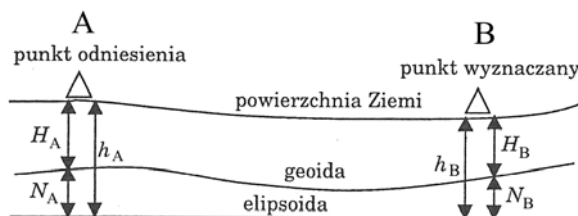
W systemie ASG-EUPOS wyznaczone są współrzędne geocentryczne X, Y, Z oraz elipsoidalne φ, λ, h w systemie ETRS89 w odniesieniu do elipsoidy GRS80 (WGS84). Przejście z układu wysokości elipsoidalnych h_p do układu wysokości normalnych H_P^N wymaga znajomości odstepu elipsoidy od powierzchni odniesienia N_p , w tym przypadku quasi-geoidy i wyraża się zależnością:

$$H_P^N = h_p - N_p \quad (2)$$

Zgodnie z projektem nowelizacji rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych modelem quasi-geoidy w Polsce jest model „Quasi-geoida 2001”. Model quasi-geoidy „Quasi-geoida 2001” jest tworzony poprzez dopasowanie modelu quasi-geoidy grawimetrycznej Quasi-97b do punktów satelitarno-niwelacyjnych (punkty sieci EUVN, EUREF-POL, POLREF, Tatry i WSSG). Dyskretny model wysokości quasi-geoidy w postaci siatki geograficznej o węzłach $1' \times 1'$ charakteryzuje odchylenie standardowe ± 20 mm. Oznacza to,

że przy założeniu bezbłędności pomiarów satelitarnych można wyznaczyć przewyższenie między dowolnymi dwoma punktami w Polsce z błędem średnim 2 cm. Z uwagi na wpływ innych błędów jest to oczywiście niemożliwe, ale stwierdzono, że model ten daje dokładności niwelacji precyzyjnej II klasy (2 mm/km) na odległości kilkudziesięciu kilometrów [Pażus i in. 2002].

Przejście z wysokości elipsoidalnych do normalnych można także zrealizować poprzez ekstrapolację i interpolację. Metody ekstrapolacji (ryc. 2) i interpolacji (ryc. 3) służą do określania odstepu quasi-geoidy od elipsoidy na podstawie pomiarów satelitarnych wykonywanych na punktach o znanych wysokościach normalnych [Lamparski 2001].



Ryc. 2. Istota metody ekstrapolacji wysokości [Lamparski 2001]

Fig. 2 The principle of heights extrapolation method

W metodzie ekstrapolacji wymagany jest pomiar technikami satelitarnymi jednego punktu A o znanej wysokości normalnej. Dla każdego z wyznaczanych punktów B_i oblicza się różnicę wysokości elipsoidalnych względem punktu odniesienia A (ryc. 2):

$$\Delta h = h_B - h_A = (H_B + N_B) - (H_A + N_A) = (H_B - H_A) + (N_B - N_A) \quad (3)$$

skąd:

$$H_B = H_A + \Delta h - (N_B - N_A) \quad (4)$$

Zakłada się, że na danym odcinku wyznaczanego wektora odstep geoidy od elipsoidy nie ulega zmianom lub zmiany te są nieistotne. Pozwala to na wyznaczenie wysokości z dokładnością uzależnioną od wielkości zmian odstępów N . Wysokość ekstrapolowanego punktu oblicza się z uproszczonej zależności:

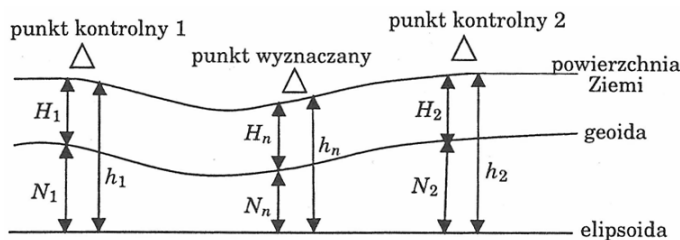
$$H_B = H_A + \Delta h \quad (5)$$

Metoda ta nie powinna być stosowana dla obszarów górskich, gdzie lokalne zmiany quasi-geoidy mogą być istotne i nie można założyć stałej anomalii wysokości.

Metoda interpolacji wymaga wykonania pomiarów satelitarnych na dwóch lub więcej punktach o znanych wysokościach normalnych. Warunkiem stosowania tej metody jest, aby punkty wyznaczane znajdowały się wewnątrz figury, której wierzchołkami są punkty nawiązania wysokościowego (ryc. 3).

Na punktach kontrolnych, o znanych wysokościach normalnych, wyznacza się odstep quasi-geoidy od elipsoidy, co pozwala na interpolację tej wartości na punktach wyznaczanych. Następnie na podstawie pomierzonej wysokości elipsoidalnej i wyinterpolowanego

wzniesienia quasi-geoidy nad elipsoidą – oblicza się wysokość normalną punktów, analogicznie jak w metodzie ekstrapolacji. Metoda interpolacji jest dokładniejsza od metody ekstrapolacji, ponieważ umożliwia uwzględnienie zmiany odstepu N na danym odcinku (obszarze). Metoda ta dobrze sprawdza się dla obszarów równinnych, w których zmiana przebiegu quasi-geoidy ma charakter zbliżony do liniowego. Dla obszarów górskich metoda nie powinna być stosowana z racji możliwych, zbyt dużych, lokalnych zmian przebiegu geoidy.



Ryc. 3. Istota metody interpolacji wysokości [Lamparski 2001]

Fig. 3. The principle of heights interpolation method

Innym sposobem przejścia z wysokości elipsoidalnych do normalnych jest metoda transformacji matematycznej. W metodzie transformacji matematycznej wymagany jest pomiar wysokości elipsoidalnej na punktach o znanej wysokości normalnej (min. 3), w jednolitym układzie wysokościowym, natomiast nie istnieje potrzeba wyznaczania odstępów geoidy od elipsoidy. Najczęściej stosuje się do tego transformację wielomianową (1 i 2 stopnia). Nie jest to metoda precyzyjna, a jej dokładność zależy od lokalnego przebiegu quasi-geoidy oraz dokładności wysokości punktów dostosowania [Lamparski 2001].

PROPOZYCJA SPOSOBU REALIZACJI NIWELACJI SATELITARNEJ GNSS Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU ASG-EUPOS

Wyznaczenie wysokości normalnych punktów z pomiarów satelitarnych RTK w serwisie NAWGEO na danym obszarze może odbywać się z zastosowaniem:

- 1) modelu quasi-geoidy,
- 2) modelu quasi-geoidy różnicowej,
- 3) modelu lokalnej quasi-geoidy.

Pierwszy sposób polega na bezpośrednim użyciu dostępnego modelu quasi-geoidy. W niniejszej pracy wykorzystano model Quasi-geoida2001 „QGEOIDA-01” [Pażus i in. 2002] i model quasi-geoidy serwisu POZGEO systemu ASG-EUPOS „QGEOIDA-PG” [Kadaj i Świętoń, 2009]. Są to dwa aktualnie dostępne i zalecane przez GUGiK modele quasi-geoidy w Polsce.

Drugi sposób polega na równoległym przesunięciu istniejącego modelu geoidy N_{mod} . Wartość tego przesunięcia ΔN może być obliczona jako średnia wartość różnic pomiędzy odstępami obliczonymi na podstawie pomiarów statycznych a odstępami z modelu.

Wyznaczoną wartość przesunięcia należy uwzględnić przy obliczaniu wysokości normalnych punktów pomierzonych metodą RTK:

$$H_{RTK}^N = h_{RTK} - (N_{mod} + \Delta N) \quad (6)$$

W trzecim sposobie lokalna geoida N_{lok} jest modelowana na podstawie obliczonych dzięki pomiarom statycznym „rzeczywistych” odstępów geoidy. Jej przebieg może być przybliżany płaszczyzną:

$$ax + by + c \cdot \Delta N_{mod} + 1 = 0 \quad (7)$$

lub powierzchnią 2 stopnia:

$$a \cdot x^2 + b \cdot y^2 + c \cdot \Delta N_{mod} + d \cdot x \cdot y + e \cdot x \cdot \Delta N_{mod} + f \cdot y \cdot \Delta N_{mod} + g \cdot x + h \cdot y + i \cdot \Delta N_{mod} + 1 = 0 \quad (8)$$

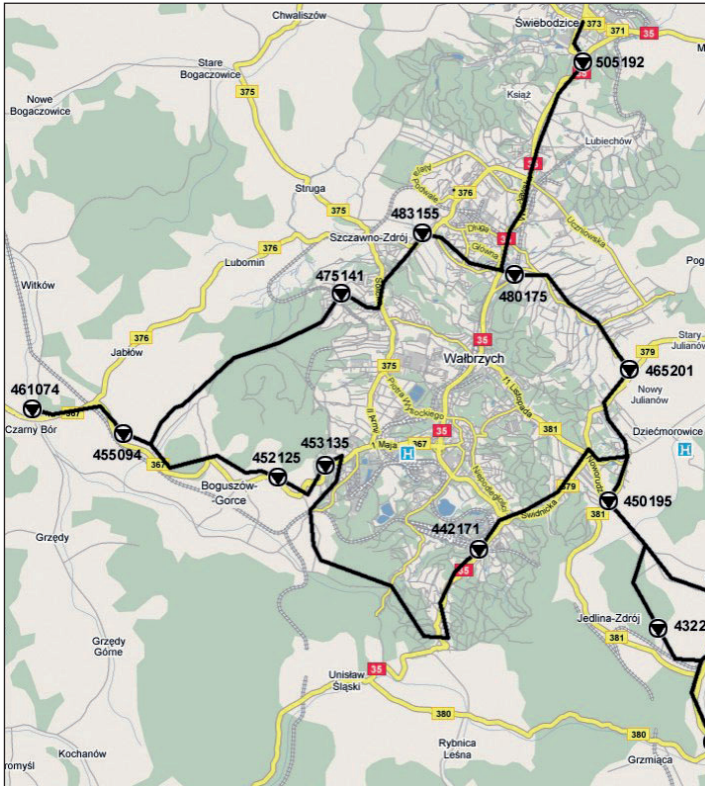
wpasowaną w te odstęp.

Wyznaczone z każdego modelu odstęp quasi-geoidy N_{lok} na pomierzonych punktach należy wykorzystać w celu przeliczenia wysokości elipsoidalnych z pomiarów RTK na wysokości normalne:

$$H_{RTK}^N = h_{RTK} - N_{lok} \quad (9)$$

W celu weryfikacji powyższych metod modelowania przebiegu geoidy oraz wyznaczenia wysokości normalnych punktów metoda RTK w serwisie NAWGEO systemu ASG-EUPOS przeprowadzono badania dla dwóch obiektów testowych. Pierwszy obiekt testowy służący weryfikacji dokładności metod modelowania przebiegu geoidy składał się z reperów klasy II, rozmieszczonych na terenie Wałbrzycha i okolic (Świebodzic, Szczawna Zdroju, Czarnego Boru, Jedliny, Głuszycy). Spośród reperów II klasy wybrano 13 punktów rozmieszczonych równomiernie i pokrywających możliwie duży obszar (19x20 km) (ryc. 4). Wybór punktów poprzedzony został wywiadem terenowym (możliwość realizacji pomiarów GNSS). Istotny wpływ na wybór obszaru miał jego wyżynny charakter. Maksymalna różnica katalogowych wysokości normalnych między wybranymi reperami wynosi 217.4185 m.

Przeniesienie wysokości z reperów II klasy na punkty do pomiarów GNSS wykonywano niwelatorem Ni007, który charakteryzuje się błędem średnim podwójnej niwelacji $\pm 0,5$ mm/km. Bezpośrednio po przeniesieniu wysokości następował dwukrotny, 10-sekundowy pomiar wysokości elipsoidalnej przeniesionego punktu metodą RTK z wykorzystaniem serwisu NAWGEO, rozdzielony ponowną inicjalizacją odbiornika. Następnie wykonywano pomiar statyczny, w którym ustawiono czas rejestracji co najmniej 4 satelitów na 1 godzinę. Następnie wykonywano ponowny pomiar RTK, w analogiczny sposób jak przed pomiarami statycznymi. Opracowanie pomiarów statycznych odbyło się z zastosowaniem serwisu POZGEO systemu ASG-EUPOS.



Ryc. 4. Rozmieszczenie punktów pomiarowych i przebieg istniejących ciągów niwelacyjnych klasy II [http://maps.google.com]

Fig. 4. The location of existing leveling benchmarks and traverses of 2nd order national leveling Network

Analiza dokładności modeli quasi-geoidy polegała na określeniu dla każdego z nich następujących parametrów:

1. Średni błąd wpasowania modelu w odstęp rzeczywiste. Dla każdego z punktów obliczono różnicę pomiędzy odstępami z danego modelu a przyjętymi za precyzyjne odstępami obliczonymi z pomiarów statycznych. Wartość parametru obliczono według wzoru:

$$mN = \sqrt{\frac{\sum (N_{mod} - N_{obl})^2}{n}} \quad (10)$$

2. Średni błąd wyznaczenia wysokości normalnych z pomiarów RTK. Pomierzone metodą RTK wysokości elipsoidalne punktów zostały przeliczone na wysokości normalne z zastosowaniem wybranego modelu. Średni błąd wyznaczenia wysokości wyraża się wówczas wzorem:

$$mH_{RTK}^N = \sqrt{\frac{\sum (H_{RTK}^N - H_{KAT}^N)^2}{n}} \quad (11)$$

3. Średni błąd niwelacji na 1 km z zastosowaniem obserwacji RTK. Dla każdej pary reperów (r_1 , r_2) obliczono różnicę przewyższeń katalogowych oraz przewyższeń uzyskanych w wyniku przeliczenia pomiarów RTK z wykorzystaniem danego modelu:

$$\Delta\Delta H^{r_1, r_2} = \Delta H_{KAT}^{r_1, r_2} - \Delta H_{mod}^{r_1, r_2} = (H_{KAT}^{r_2} - H_{KAT}^{r_1}) - (H_{mod}^{r_2} - H_{mod}^{r_1}) \quad (12)$$

Różnice między tymi przewyższeniami standaryzowano odległością między punktami. Średni błąd niwelacji odcinka 1 km wyznaczono według wzoru:

$$m\Delta H_{1km} = \sqrt{\sum \left(\frac{\Delta\Delta H_{mod}^{r_1, r_2}}{\sqrt{d_{r_1, r_2}}} \right)^2 / \frac{1}{2}(n-1)^2} \quad (13)$$

gdzie: d_{i_1, i_2} – odległość pomiędzy reperami r_1 oraz r_2 , n – ilość reperów.

Wyniki analizy dokładności modeli quasi-geoidy w oparciu o powyższe wskaźniki dla wszystkich sposobów wyznaczania wysokości normalnych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyki dokładnościowe wyznaczanych wysokości normalnych dla różnych sposobów modelowania quasi-geoidy

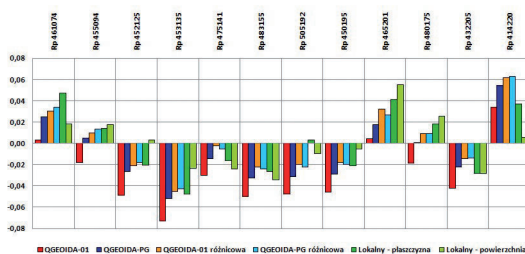
Table 1. The accuracy characteristic of normal heights obtained from different quasi-geoid models

Model quasi-geoidy Quasi-geoid model	Błąd wpasowania [mm] Fitting error		Błąd wyznaczenia wysokości z RTK [mm] RMS error of heights delivered from RTK		Średni błąd niwelacji na 1 km [mm] RMS error of 1 km leveling traverse
	Średni Mean	Przedział Range	Średni Mean	Przedział Range	
QGEOIDA-01	39,9	(-72,9 : 33,9)	21,5	(-9,4 : 58,0)	14,9
QGEOIDA-PG	30,1	(-51,6 : 54,2)	12,8	(-29,1 : 35,8)	14,7
QGEOIDA-01 różnicowa QGEOIDA-01 differential	28,7	(-45,2 : 61,6)	13,3	(-37,1 : 30,3)	7,8
QGEOIDA-PG różnicowa QGEOIDA-PG differential	28,8	(-42,8 : 63,0)	12,5	(-37,9 : 27,0)	7,2
Płaszczyzna – Plane	29,9	(-47,5 : 47,0)	12,9	(-46,3 : 29,9)	8,3
Powierzchnia 2 stopnia 2 nd order surface	25,1	(-34,6 : 55,0)	15,7	(-42,4 : 41,9)	9,3

Błąd wyznaczenia wysokości z pomiarów RTK w przypadku modeli różnicowych oraz modelu QGEOIDA-PG nie przekroczył ± 4 cm. Zastosowanie modeli lokalnych powoduje minimalny wzrost tego błędu (do $\pm 4,6$ cm), natomiast zastosowanie modelu QGEOIDA-01 może spowodować błąd przekraczający deklarowaną dokładność serwisu NAWGEO w zakresie wyznaczania wysokości wynoszący 5 cm.

Na rycinie 5 przedstawiono różnice odstępów quasi-geoidy uzyskanych z analizowanych modeli względem odstępów obliczonych na podstawie pomiarów statycznych na punktach przeniesienia reperów II klasy.

Uzyskane wyniki dla modeli różnicowych nie są zgodne z dokładnością deklarowaną przez autorów modelu QGEOIDA-01, tzn. nie dają „dokładności niwelacji precyzyjnej II klasy (2 mm/km) na odległości kilkudziesięciu kilometrów” [Pażus i in. 2002]. Dokładność ta nie została także uzyskana poprzez zastosowanie modeli lokalnych, których dokładność jest na poziomie zbliżonym do modeli różnicowych.



Ryc. 5. Różnice odstępów quasi-geoidy uzyskanych z analizowanych modeli względem odstępów obliczonych na podstawie pomiarów statycznych [m]

Fig. 5 The differences between quasigeoid elevations delivered from available models and computed from GNSS static measurements

Zastosowanie serwisu POZGEO do celów modelowania quasi-geoidy na obszarach wyżynnych nie przynosi rezultatów na oczekiwanym poziomie. Niemniej jednak powoduje wzrost dokładności wyznaczania wysokości i przewyższeń między punktami, a więc należy przypuszczać, że możliwe jest precyzyjne modelowanie przebiegu quasi-geoidy także na takich obszarach z zastosowaniem innych niż POZGEO narzędzi.

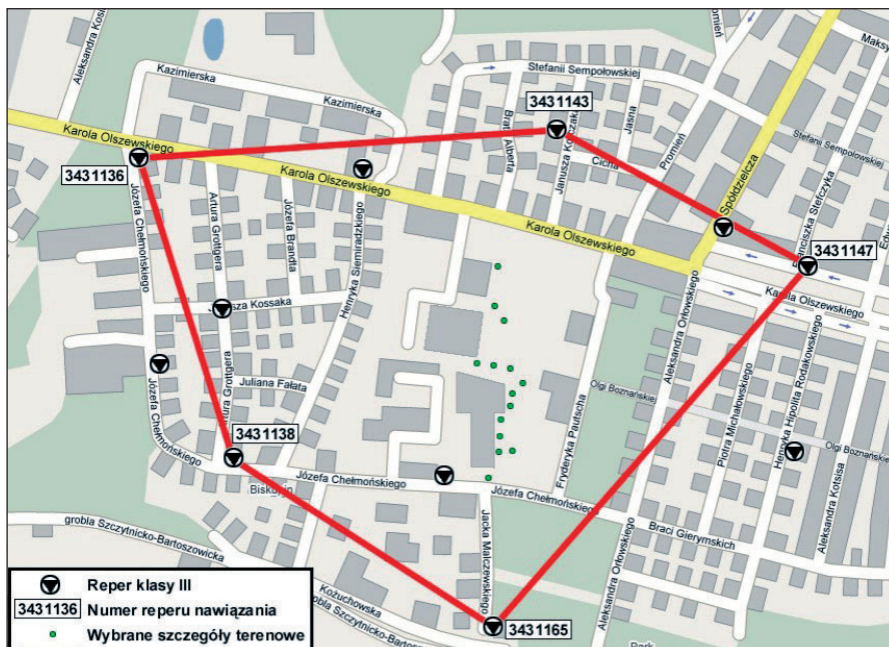
Drugi obiekt testowy służący weryfikacji dokładności wyznaczania wysokości szczegółów terenowych metodą RTK w serwisie NAWGEO został zlokalizowany w Wrocławiu (teren równinny). W jego skład wchodziło 5 reperów klasy III, wybranych spośród grupy istniejących na tym obszarze punktów osnowy wysokościowej oraz 14 szczegółów terenowych znajdujących się wewnątrz obszaru ograniczonego przez te repery (ryc. 6).

W pobliżu wybranych reperów, na terenie o wystarczająco odkrytym horyzoncie, zastabilizowano punkty, na które została przeniesiona wysokość zgodnie z warunkami niwelacji precyzyjnej klasy II. Na punktach tych wykonane zostały równoczesne, godzinne pomiary statyczne GNSS. Wyznaczenie wysokości punktów szczegółów terenowych nastąpiło poprzez niwelację geometryczną pomiędzy dwoma reperami nawiązania (3431165 i 3431143).

Na szczegółach terenowych wykonano wielokrotne pomiary RTK z wykorzystaniem serwisu NAWGEO. Odbyły się 4 pełne serie pomiarowe na każdym z punktów. Każda z serii składała się z dwóch 10-sekundowych pomiarów na każdym z punktów, rozdzielonych ponowną inicjalizacją odbiornika. Na punktach nawiązania wykonano 3 pełne serie pomiarowe RTK.

W celu wyznaczenia współrzędnych geodezyjnych (φ , λ , h) punktów III klasy wykorzystano serwisy POZGEO i POZGEO D. W ramach serwisu POZGEO D zostały wykonane z użyciem program Leica Geo Office v. 6.0 w następujących wariantach:

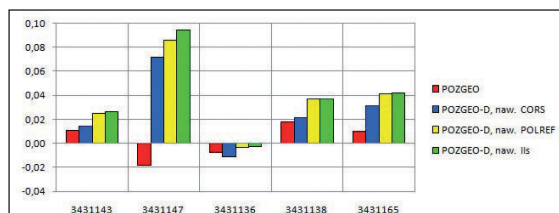
- 1) wyrównanie sieci w nawiązaniu do fizycznych stacji referencyjnych (CORS),
- 2) wyrównanie w nawiązaniu do wirtualnych stacji referencyjnych – 4 punktów sieci POLREF (POLREF),
- 3) wyrównanie w nawiązaniu do wirtualnych stacji referencyjnych – 2 punktów klasy II znajdujących się w pobliżu obszaru pomiarowego (II klasa).



Ryc. 6. Rozmieszczenie reperów III klasy oraz wybranych szczegółów terenowych na obiekcie testowym 2 [http://maps.google.com]

Fig. 6 The location of existing leveling benchmarks of 3rd order of national leveling network and the terrain details on the testing area no. 2

Na rycinie 7 przedstawiono wyniki poszczególnych wariantów obliczeń w postaci różnic uzyskanych wysokości normalnych względem katalogowych. Przejście z wysokości elipsoidalnych na normalne zrealizowano z wykorzystaniem modelu „Quasi-geoida 2001”.



Ryc. 7. Różnice uzyskanych wysokości normalnych względem wysokości katalogowych [m]

Fig. 7. The differences between computed normal heights and heights from official national catalogue

Z uwagi na uzyskane na punkcie 3431147 znaczące różnice dla serwisu POZGEO D przeprowadzono analizę obserwacji na tym punkcie, która wykazała znaczny dryft zegara w odbiorniku tam użytym. Można więc przypuszczać, że algorytmy oprogramowania Leica Geo Office v. 6.0 nie działają poprawnie przy takich rozbieżnościach, błędnie wyznaczając pozycję punktu.

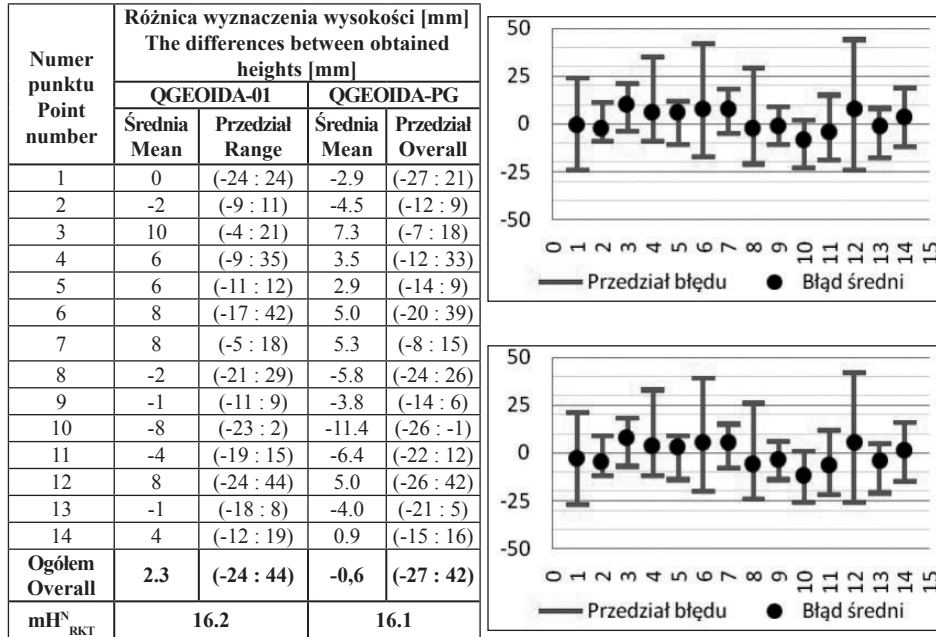
Mając więc na uwadze następujące fakty:

- punkt 3431147 ma istotny wpływ na geometrię obszaru modelowania i jego wyłączenie powoduje nierówny rozkład punktów nawiazania w stosunku do kontrolowanych;
- różnice pomiędzy rozwiązaniem z POZGEO a samodzielnym wyrównaniem w nawiazaniu do istniejących stacji referencyjnych POZGEO D są o rząd niższe niż dokładność ich wyznaczenia, postanowiono, że do celów modelowania przebiegu quasi-geoidy na danym obszarze wykorzystane zostaną jedynie wyniki z serwisu POZGEO.

Uzyskane wysokości elipsoidalne z pomiarów RTK dla szczegółów terenowych przeliczono na wysokości normalne, używając modeli quasi-geoidy: QGEOIDA-01 i QGEOIDA-PG. Następnie wysokości te porównano z wysokościami otrzymanymi z niwelacji, wyznaczając przedział różnic tych wysokości i różnicę średnią dla każdego z punktów. Spośród wszystkich różnic na wszystkich punktach wybrano wartości skrajne oraz policzono średni błąd wyznaczenia wysokości dla obu modeli geoidy według wzoru (11). Wyniki obliczeń przedstawiono na rycinie 8. Przedziały różnic wyznaczenia wysokości normalnych z użyciem obu modeli są przesunięte względem siebie o 3 mm, co wynika z różnic w odstępach z tych modeli. Dla większości punktów wysokość została wyznaczona z maksymalnym błędem ± 30 mm. Największy przedział różnic odnotowano na punktach znajdujących się w pobliżu wysokich obiektów (drzewo, budynek). Różnica ta nie przekraczała jednak ± 45 mm. Potwierdza to deklarowaną dokładność serwisu NAWGEO (± 5 cm dla wysokości).

Analogicznie jak przy pierwszym obiekcie testowym przeprowadzono analizy dokładności modeli quasi-geoidy w oparciu o wskaźniki wyrażone wzorami (10, 11 i 12). Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Charakterystyki dokładnościowe opisujące poszczególne modele quasi-geoidy pokazują, że oba modele różnicowe oraz model QGEOIDA-PG dają prawie te same wartości odstępów na badanym obszarze (różnice nie przekraczają 1 mm). Ponadto charakteryzują się one takimi samymi wartościami błędów wpasowania modelu oraz różnic wyznaczenia wysokości. Model lokalny, pomimo najmniejszego błędu wpasowania w odstępów wzorcowe, daje największy przedział różnic wyznaczenia wysokości. Średni błąd wyznaczenia wysokości metodą RTK dla wszystkich modeli wynosi około 16 mm.



Ryc. 8. Różnice wyznaczenia wysokości normalnych na podstawie pomiarów RTK oraz błędy wysokości dla modelu QGEOIDA-01 (górze) i QGEOIDA-PG (dół)

Fig. 8. Comparison of normal heights delivered from RTK measurements and RMS of normal height computed using QGEOIDA-01 (up) and QGEOIDA-PG (down) models

Tabela 2. Charakterystyki dokładnościowe wyznaczanych wysokości normalnych dla różnych sposobów modelowania quasi-geoidy

Table 2. The accuracy characteristic of normal heights obtained from different quasigeoid models

Model quasi-geoidy Quasi-geoid model	Błąd wpasowania [mm] Fitting error		Błąd wyznaczenia wysokości RMS error of heights delivered from RTK	Średni błąd niwelacji 1 km [mm] RMS error of 1 km leveling traverse	
	Średni Mean	Przedział Range		Średni Mean	Przedział Range
QGEOIDA-01	14,2	(-18 : 18)	16,2	2,3	(-24 : 44)
QGEOIDA-PG	13,8	(-15 : 21)	16,1	-0,6	(-27 : 41)
QGEOIDA-01 różnicowa QGEOIDA-01 differential	13,9	(-15 : 21)	16,1	-0,9	(-28 : 40)
QGEOIDA-PG różnicowa QGEOIDA-PG differential	13,8	(-15 : 21)	16,1	-1,1	(-28 : 41)
Plaszczyzna – Plane	12,3	(-22 : 12)	16,4	-1,9	(-33 : 43)

PODSUMOWANIE

Stosowanie zalecanego modelu odstępów quasi-geoidy QGEOIDA-01 do przeliczania pomierzonych metodą RTK w serwisie NAWGEO wysokości elipsoidalnych do obowiązującego systemu wysokości normalnych może prowadzić do błędów większych niż deklarowane przez właściciela systemu ASG-EUPOS 5 cm. Sytuacja taka ma miejsce szczególnie poza obszarami nizinnymi, gdzie przebieg quasi-geoidy jest bardziej zróżnicowany.

Przeprowadzone pomiary i analizy potwierdziły, że modelowanie przebiegu quasi-geoidy może prowadzić do poprawy dokładności wyznaczania wysokości, nawet na obszarach wyżynnych. Tworzone różnymi metodami modele różnicowe oraz lokalne nie gwarantują jednak uzyskania modelu lepszego jakościowo od modelu QGEOIDA-01.

Za model różnicowy można jednak uznać także model wykorzystywany w serwisie POZGEO (QGEOIDA-PG). Wykorzystanie odstępów z tego modelu do przeliczania wysokości elipsoidalnych na normalne daje lepsze dokładności niż stosowanie modelu QGEOIDA-01. Dotyczy to zarówno terenów nizinnych, jak i wyżynnych. Zaletą jego stosowania jest brak konieczności wykonywania pomiarów statycznych na reperach nawiązania oraz eliminacja procesu przybliżania przebiegu geoidy. Wadą modelu jest brak możliwości bezpośredniego korzystania z niego, nie są obecnie dostępne także żadne jawne informacje na jego temat.

Składową błędów wyznaczenia wysokości normalnej, oprócz niedokładności modelu quasi-geoidy, jest błąd wyznaczenia wysokości elipsoidalnej. Korzystanie z serwisu NAWGEO, zgodnie z warunkami określonymi przez projekt wytycznych technicznych G-1.12, daje różnice pomiędzy wielokrotnymi wyznaczeniami wysokości elipsoidalnych tego samego punktu metodą RTK w granicach 7 cm. Jest to więc decydujący czynnik ograniczający dokładność określenia wysokości normalnej punktów technikami satelitarnymi. Nawet przy bezbłędnym modelu quasi-geoidy nie jest obecnie możliwe osiągnięcie dokładności pomiaru wysokości w czasie rzeczywistym na poziomie 3 cm. Dalsze badania powinny zostać skierowane na dokładniejsze modelowanie atmosfery i w konsekwencji – udostępnianie lepszych jakościowo danych korekcyjnych.

Dostępna obecnie technologia satelitarna, przy wykorzystaniu systemu wspomagającego precyzyjne pozycjonowanie punktów ASG-EUPOS, nie zapewnia wymaganego poziomu dokładności dla wysokościowych pomiarów punktów obiektów sztucznych w czasie rzeczywistym. Technika ta pozwala jedynie na pomiary wysokościowe budowli i urządzeń technicznych ziemnych, elastycznych lub mierzonych elektromagnetycznie podziemnych obiektów uzbrojenia terenu oraz na pomiary powierzchni terenu. Dla osiągnięcia wymaganej dokładności nie jest konieczne wykonywanie pomiarów na reperach nawiązania. Pomiar taki może jedynie posłużyć do celów kontrolnych.

PIŚMIENNICTWO

- Bosy J., Graszka W., Leończyk M., 2008. Aktywna Sieć Geodezyjna EUPOS jako element składowy państwowego systemu odniesień przestrzennych. *Przegląd Geodezyjny* Nr 12/2008, 10–16.
- Hofmann-Wellenhof B., Moritz H., 2005. *Physical Geodesy*. Springer-Verlag Wien.
- Lamparski J., 2001. *NAVSTAR GPS. Od teorii do praktyki*. Wydawnictwo UWM, Olsztyn.

- Łyszkowicz A., 1998. The Polish gravimetric quasigeoid QGEOID97 versus vertical reference system Kronsztad86, Reports of the Finnish Geodetic Institute, 98:4, 271–276.
- Kadaj R., Świętoń T., 2009. Postprocessing po polsku. NAWI nr 19 (dodatek do GEODETY nr 166) MARZEC 2009 http://www.geoforum.pl/documents/site_catalog_text/0_166_N_s32_33_z_0905131546.pdf
- Pażus R., Osada E., Olejnik S., 2002. Geoida niwelacyjna 2001. Magazyn Geoinformacyjny Geodeta nr 5/2002 (84), Geodeta Sp. z o.o., Warszawa.
- Projekt nowelizacji rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych (Dz. U. Nr 70, poz. 821) (Stan z dnia: 2008.01.10) http://www.gugik.gov.pl/gugik/dw_files/891_rrm_10_01_2008_1.pdf
- Raizner C., 2008. A regional analysis of GNSS-levelling. Diplomarbeit im Studiengang. Geodäsie und Geoinformatik an der Universität Stuttgart. <http://elib.unistuttgart.de/opus/volltexte/2008/3480/pdf/raizner.pdf>
- Wytyczne techniczne G-1.12: Pomiar satelitarne oparte na systemie precyzyjnego pozycjonowania ASG-EUPOS (Projekt z dnia 1.03.2008 r. z poprawkami) http://www.gugik.gov.pl/gugik/dw_files/981_wytyczne_g_1_12_21_04_2008_1.pdf

GNSS SATELLITE LEVELLING WITH USE NAWGEO SERVICE OF ASG-EUPOS SYSTEM

Abstract. The multifunctional precise satellite positioning system on area of Poland ASG-EUPOS testing activation with the beginning of June 2008 gives opportunity to realize geodetic jobs in real time RTK GNSS (NAWGEO service) on whole country. The ASG-EUPOS system establish unified in whole country and invariable coordinate system. Points heights determination with use of ASG-EUPOS system guarantee (according to system owner) to achieve requirements for all groups of precision. In accordance with obliging regulations points height should be determined with reference to nearest reference point and the precision criterion for heights is position error in reference to nearest benchmarks. In this work height determination methods were analysed in context of ASG-EUPOS system technical capabilities and legislative-technical conditions following to obliging and designed technical standards. Final effect is the measurement methodology proposal to determine normal heights in real time with use of NAWGEO service from ASG-EUPOS system and precision evaluation simultaneously. Moreover, available quasi-geoid models and methods of its transformation in purpose to realise height measurements in ASG-EUPOS system were analysed.

Key words: GNSS satellite leveling, quasi-geoid

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.06.2009

Do cytowania – For citation: Hadaś T., Bosy J., 2009. Niwelacja satelitarna GNSS z wykorzystaniem serwisu NAWGEO systemu ASG-EUPOS. Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr., 8(2), 53–66.

SPIS TREŚCI CONTENTS

Stanisław Harasimowicz, Jarosław Janus

Optymalny przydział gruntów do gospodarstw na tle stref różnic odległości z siedlisk do działek	3
An optimum land allocation to farm holdings based on zones of disparities concerning distances between homestead areas and land plots	

Izabela Karsznia

Modelowanie procesu generalizacji	13
Modelling generalization process	

Edward Sawiłow

Analiza wybranych metod modelowania wartości katastralnych nieruchomości	27
Analysis of selected methods of fixing cadastral value	

Edward Nowak, Joanna Nowak

Modelowanie 3 ^D na podstawie fotografii amatorskich.....	39
Modelling 3 ^D views based on amateur photography	

Tomasz Hadaś, Jarosław Bosy

Niwelacja satelitarna GNSS z wykorzystaniem serwisu NAWGEO systemu ASG-EUPOS	53
GNSS satellite levelling with use NAWGEO service of ASG-EUPOS system	