

GRAŻYNA KAMIŃSKA, WŁODZIMIERZ KARASZKIEWICZ

Badanie i ocena dokładności leśnej mapy gospodarczej

The Research and Appraisal of Accuracy of the Forest Management Map

Wstęp

Niezaprzeczalny jest fakt, że istniejące mapy leśne są podstawowym źródłem zasilania geometrycznej części bazy danych systemu informacji przestrzennej w leśnictwie. Stopień wykorzystania tych map związany jest z ich treścią, dokładnością i wiarygodnością. Forma i treść map leśnych są jednoznacznie określone. Sprawdzeniu poddane będą przede wszystkim ich aktualność i dokładność kartometryczna.

Podstawowym źródłowym materiałem geodezyjno-kartograficznym dla potrzeb urządzenia lasu oraz ewidencji gruntów jest mapa zasadnicza w skali 1:5000. Z niej opracowuje się wtórniki, które stanowią materiał wyjściowy do wykonania mapy gospodarczej. Leśna mapa gospodarcza w skali 1:5000, wykonywana w trakcie prac urządzeniowo-leśnych co 10 lat dla każdego obrębu (nadleśnictwa), jest pochodną mapy zasadniczej, uzupełnioną treścią o charakterze leśnym (głównie granice wydzieleń, drogi leśne, rowy).

W przeważającej części utrzymuje się poprzedni podział powierzchniowy. Zmiany nanoszone są na mapę na podstawie nowych pomiarów sytuacyjnych wtedy, gdy różnica pomiędzy powierzchnią obliczoną na podstawie pomiarów a wykazaną na mapie jest większa niż 1%. Pierworys lub zaktualizowana mapa gospodarcza jest bazą do opracowania map przeglądowych.

Przedstawione na gospodarczych mapach leśnych szczegóły sytuacyjne — oddziały, wydzielenia, linie podziału powierzchniowego wraz z dokładnością ich położenia i powierzchnią, mają bezpośredni lub pośredni wpływ na określenie różnych charakterystyk drzewostanów, oddziałów, kompleksów leśnych i całego obrębu, w konsekwencji zaś na planowanie i prowadzenie działalności gospodarczej.

Wymagane dokładności a wyniki badań doświadczalnych

Obowiązujące przepisy zawarte w "Instrukcji urządzania lasu" ustalają, że granicę oddziału stanowią północne i wschodnie krawędzie linii podziału powierzchniowego. Instrukcja techniczna K-1 "Mapa zasadnicza", oraz instrukcja techniczna O-1 "Ogólne zasady wykonywania prac geodezyjnych" zaliczają "linie podziałowe na oddziały w lasach państwowych" do III grupy szczegółów sytuacyjnych, ustalając dokładność pomiaru położenia punktu względem osnowy geodezyjnej na $\pm 0,50$ m.

Badania dokładności pomiaru granic oddziału wykazały, że średni błąd położenia narożnika oddziału wynosi $\pm 1,36$ m [Olenderek H., Korpetta D. — 1991]. Na wartość tego błędu decydujący wpływ miał błąd identyfikacji punktu przecięcia się krawędzi linii oddziałowych i gospodarczych w terenie, znikomy zaś — błąd pomiaru ($\pm 0,037$ m). Niemożliwe jest zatem wyznaczenie z żadaną dokładnością $\pm 0,50$ m położenia punktów granicznych oddziału. Średni błąd położenia narożnika oddziału prawie trzykrotnie przekracza normę dokładności pomiaru położenia szczegółów III grupy.

Punkty sytuacyjne, określające szczegóły terenowe, będące treścią mapy gospodarczej należy podzielić, ze względu na dokładność wyznaczenia ich położenia, na dwie grupy. **Grupę I** stanowią punkty załamania granic administracyjnych, granic zewnętrznych lasów państwowych, budynki trwałe, budowle i urządzenia techniczne, drogi publiczne, linie oddziałowe. **Grupa II** to punkty wyznaczające przebieg dróg leśnych, rowów, potoków, kanałów, granice użytków gruntowych. Teoretyczne błędy średnie położenia tych punktów dla skali 1:5000 wynoszą [Wilkowski W. — 1974]: dla I grupy szczegółów $\pm 1,80$ m, dla II grupy szczegółów $\pm 2,46$ m. Na podstawie badań doświadczalnych [Wilkowski W. — 1977] uzyskano: dla I grupy szczegółów $\pm 1,45$ m (pomiaru bezpośrednie) i $\pm 4,60$ m (przy wykorzystaniu fotomapy), dla II grupy szczegółów $\pm 8,35$ m (na podstawie obydwu stosowanych metod). Pierwszą grupę szczegółów stanowiły punkty graniczne, drugą — punkty załamania granicy rolno-leśnej. Znacznie większy błąd w II grupie szczegółów, w porównaniu do błędów wynikających z rozważań teoretycznych, nie był skutkiem niedokładności pomiarów, lecz głównie nieprecyzyjnym ustaleniem przebiegu granicy. Z innych prac eksperymentalnych i analiz [Olenderek H., Korpetta D. — 1991] wynika, że pokazane na mapach gospodarczych linie podziału powierzchniowego obciążone są znacznymi błędami systematycznymi. I tak np. w stosunku do pokazanych na mapach gospodarczych Nadleśnictwa Rogów szerokości teoretycznych (4 i 6 m), szerokości w terenie są mniejsze o 1,65 m dla linii oddziałowych i o 3,57 m dla linii ostępowych. Nieprzestrzeganie założonych w planie urządzania lasu projektowanych szerokości tych linii w toku ich realizacji w terenie było źródłem błędów stanowiących łącznie dla tego nadleśnictwa powierzchnię ok. 32 ha. Błędy podziału powierzchniowego i dość duża tolerancja w ustalaniu granic wyłączeń wpływają na wielkość błędów powierzchni oddziałów i pododdziałów, co może spowodować przekroczenie wartości dopuszczalnych wynikających z rozważań teoretycznych [Olenderek H., Będkowski K. — 1981].

Przytoczone wartości wskazują na potrzebę sprawdzenia map gospodarczych przed zbudowaniem bazy geometrycznej na podstawie ich treści, oraz ustalenia pewnych wartości granicznych.

Metody badania dokładności mapy gospodarczej

Dokładność mapy gospodarczej można określić przez:

- porównanie z wynikami pomiarów bezpośrednich (wykonanymi metodami klasycznymi lub GPS),
- wykorzystanie materiałów fotogrametrycznych,
- wykorzystanie istniejących współrzędnych punktów granicznych,
- porównanie z innymi materiałami kartograficznymi.

Prostą i szybką metodą byłoby wykorzystanie istniejących współrzędnych punktów granicznych kompleksów leśnych. Rzeczywistość pokazała, że dotarcie do tych danych jest bardzo trudne, a często wręcz niemożliwe. Dlatego planowanie pomiarów kontrolnych proponujemy uzależnić od wyników porównania badanych map z innymi istniejącymi materiałami kartograficznymi. Dalsze rozważania sugerują, że materiałem kontrolnym mogą być mapy topograficzne w skali 1:10 000, dostępne dla powierzchni całego kraju.

Zgodnie z instrukcją K-2 "Mapy topograficzne do celów gospodarczych", dokładność przedstawienia obiektów sytuacyjnych na pierworysach i czystorysach map topograficznych w skali 1:10 000 i 1:5000 powinna odpowiadać wymienionym tutaj warunkom:

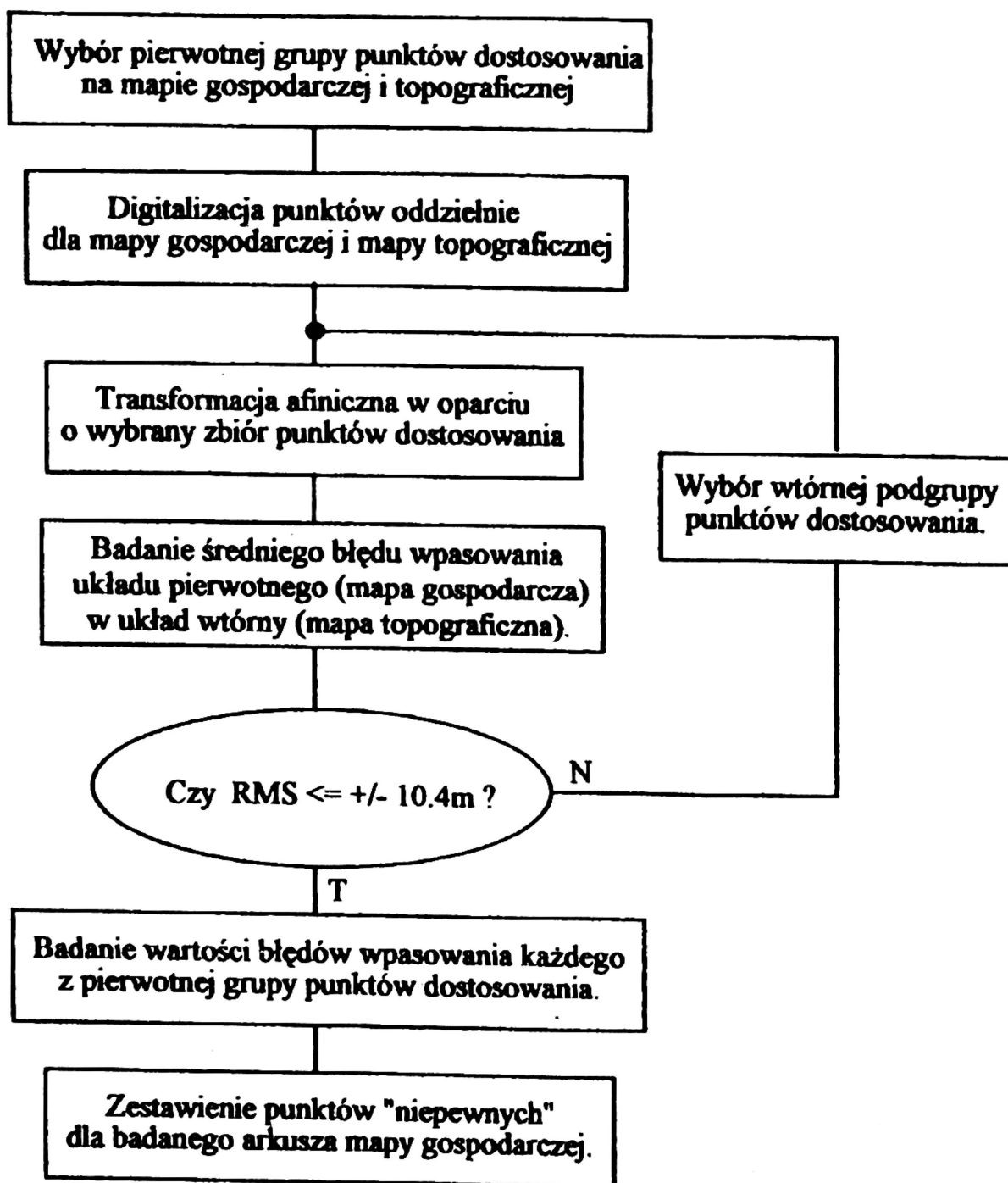
- średnie błędy położenia punktów poziomej osnowy geodezyjnej oraz punktów osnowy matematycznej nie mogą przekraczać $\pm 0,1$ mm, a maksymalne błędy $\pm 0,15$ mm,
- dokładność położenia szczegółów sytuacyjnych I grupy w odniesieniu do najbliższych punktów osnowy nie może przekraczać $\pm 0,5$ mm, a w terenach górzystych i o zwartym zalesieniu $\pm 0,75$ mm,
- dokładność położenia pozostałych punktów sytuacyjnych nie może przekraczać $\pm 1,0$ mm.

Instrukcja urządzania lasu zaleca wykorzystanie mapy gospodarczej w skali 1:5000 i mapy topograficznej w skali 1:10 000 do wykonania mapy gospodarczo-przeładowej.

W ramach badań nad koncepcją i technologią budowy numerycznego modelu terenu dla lasów o charakterze specjalnym [Korpetta D. — 1989] korzystano z map topograficznych w skali 1:10 000. Położenie dodatkowych punktów charakterystycznych, niezbędnych do budowy modelu terenu, leżących wewnątrz oddziałów było określane na podstawie wymienionych map. Transformacja ich współrzędnych do układu terenowego dała dobre wyniki.

Metodyka badań

Numeryczną analizę dokładności mapy gospodarczej na podstawie mapy topograficznej w skali 1:10 000 przeprowadzono na podstawie algorytmu przedstawionego na rycinie 1. Dla 22 arkuszy mapy gospodarczej Nadleśnictwa Brzeziny, obręb Regny, o sumarycznej powierzchni ok. 7 tys. ha wybrano łącznie 508 punktów, których położenie na mapie topograficznej było możliwe do określenia w sposób jednoznaczny. Stanowiły je szczegóły sytuacyjne oraz punkty przecięcia się linii podziału powierzchniowego. Każdemu z punktów nadano numer w obrębie danego arkusza mapy gospodarczej. Numer ten zawierał



RYC. 1. Schemat analizy dokładności mapy gospodarczej

ponadto informację czy jest to szczegól sytuacyjny nie związany z podziałem powierzchniowym (100 + nr bieżący, np. 112), czy skrzyżowanie linii podziału powierzchniowego lub punkt graniczny (1000 + nr bieżący, np. 1012).

Tak przygotowane materiały zostały w kolejnym etapie poddane procesowi digitalizacji. Uzyskano tym samym po dwa zbiory współrzędnych punktów dla każdego arkusza mapy gospodarczej. Jeden ze zbiorów zawierał punkty zdigitalizowane z mapy gospodarczej w

TABELA 1
Wartości błędu wpasowania RMS wg arkuszy mapy gospodarczej

Nr arkusza mapy gospodarczej	Liczba punktów dostosowania	Wartość RMS [m]
1	21	7,73
2	17	6,18
3	22	6,82
4	21	8,46
5	13	7,45
6	12	7,70
7	21	6,97
8	23	11,15
9	11	5,08
10	32	10,01
11	18	8,79
12	23	6,69
13	19	6,65
14	14	7,25
15	30	7,64
16	40	12,22
17	31	7,29
18	32	12,41
19	29	6,46
20/1	23	7,40
20/2	21	5,21
21	18	5,94
22	17	5,78
	Suma = 508	

układzie digimetru, zaś drugi — punkty z mapy topograficznej w układzie współrzędnych prostokątnych "1965". Dane te w dalszej kolejności wykorzystano do przeprowadzenia transformacji afinicznej przy więcej niż trzech punktach dostosowania. Jednym z parametrów oceniających dokładność transformacji jest błąd średni wpasowania układu pierwotnego (punkty z mapy gospodarczej) w układ wtórny (punkty z mapy topograficznej). Wyraża się on wzorem:

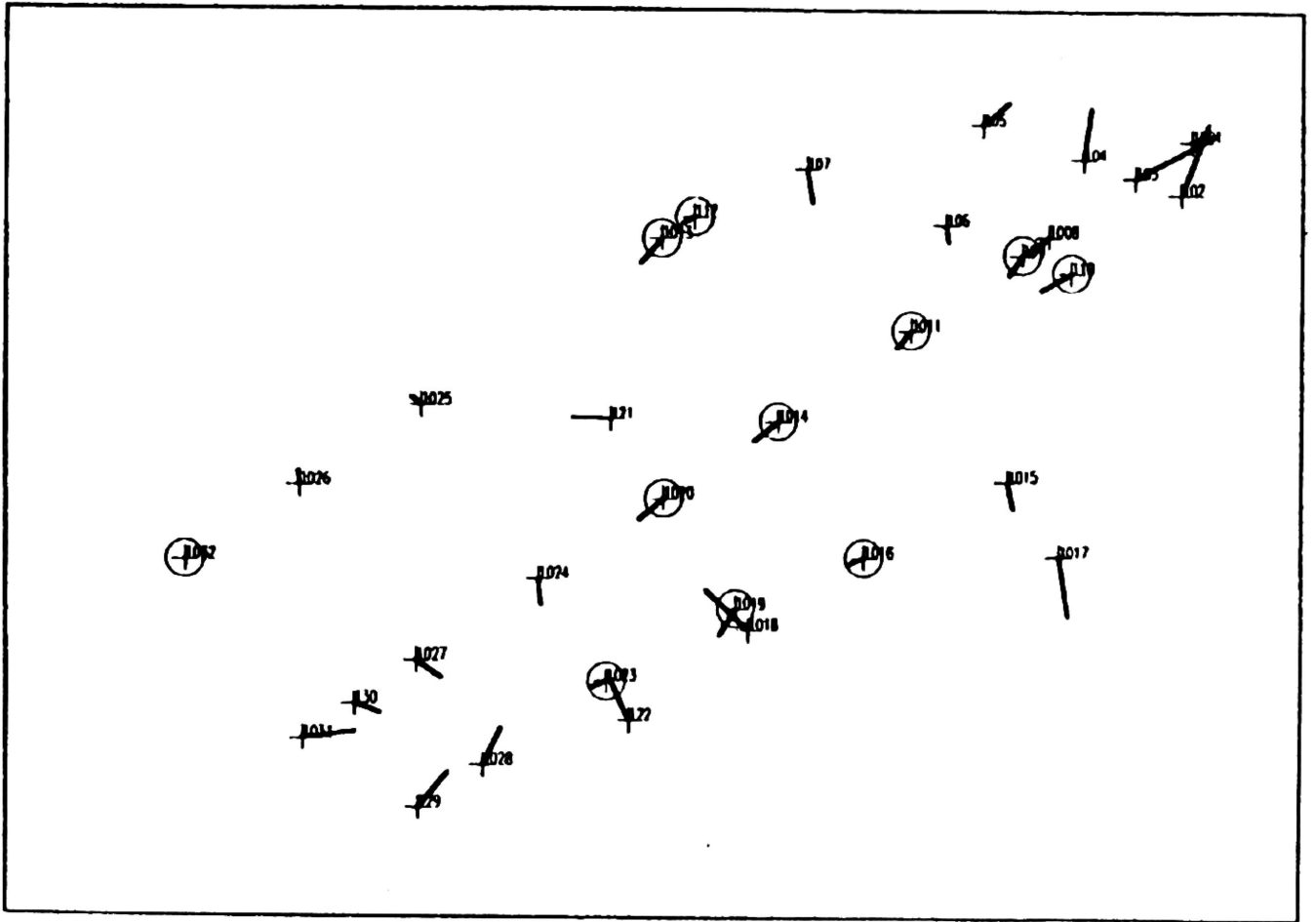
$$RMS = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}}$$

gdzie: $e_i = \sqrt{(dx^2 + dy^2)}$ jest wartością liniową wpasowania i -tego punktu (tab. 4), a n — liczba punktów wpasowania dla danego arkusza mapy gospodarczej.

TABELA 2
Parametry transformacji arkusza MZ18 do MT18

Nr punktu	Współrzędna X	Współrzędna Y	dX	dY
1001	561681,4	582132,1	5,225456	2,018758
102	561654,5	581982,1	8,397623	22,22532
103	561524,1	582027,2	25,22139	13,68570
104	561378,2	582078,8	2,162481	16,20098
105	562091,7	582177,3	8,269576	7,332886
106	560989,1	581893,0	0,8968160	-5,265358
107	560590,8	582048,7	1,857879	-10,58625
1008	561278,3	581861,9	-9,711605	-8,731970
109	561204,8	581811,8	-4,400346	-6,379844
110	561344,6	581761,0	-9,769065	-5,418144
1011	560890,2	581599,2	-4,489233	-5,530606
112	560269,3	581914,3	-3,781163	-2,107696
1013	560176,5	581853,5	-6,608032	-7,584085
1014	560511,6	581342,0	-7,675078	-6,205340
1015	561166,4	581171,8	1,760151	-8,632008
1016	560758,4	580953,7	-5,132006	-2,169645
1017	561312,4	580957,4	3,213043	-18,69347
1018	560428,1	580747,6	-13,49409	12,65492
1019	560392,3	580807,6	-5,278057	-8,509897
1020	560185,7	581120,9	-7,701906	-6,802693
121	560035,4	581346,4	-11,78158	0,5835295
122	560090,2	580494,8	-6,917074	14,59593
1023	560025,9	580603,1	-4,956727	-2,242716
1024	559834,0	580890,1	0,7925029	-8,284068
1025	559500,8	581386,1	-3,023054	2,470908
1026	559160,9	581154,9	-5,398810	4,321109
1027	559489,6	580660,6	7,856916	-5,541386
1028	559676,4	580367,2	5,736497	11,61272
129	559495,8	580247,3	9,082396	11,21703
130	559315,3	580538,1	8,007973	-2,716597
1031	559170,3	580440,8	16,01254	2,077826
1032	558841,4	580939,4	0,7656606	0,4041565

Biorąc pod uwagę dokładność położenia punktów sytuacyjnych III klasy na mapie topograficznej, dokładność identyfikacji punktu i jego digitalizacji maksymalna wartość błędu wpasowania *RMS* wynosi $\pm 1,04$ mm, co w skali 1:10 000 stanowi $\pm 10,4$ m. W kolejnych etapach analizy wartość tę przyjęto za kryterium określające zgodność wzajemnych relacji geometrycznych mapy gospodarczej i mapy topograficznej.



RYC. 2. Graficzna prezentacja przestrzennego rozmieszczenia błędów wpasowania punktów dostosowania

Wyniki badań

Wartości błędów *RMS* dla różnych arkuszy mapy gospodarczej przedstawia tabela 1.

Dla tych arkuszy mapy gospodarczej, dla których błąd *RMS* przekroczył wartość dopuszczalną (np. dla arkusza nr 18 $RMS = 12,41$ m), pierwotny zbiór punktów dostosowania był niewłaściwy (tab. 2). Analizując przestrzenny rozkład punktów i graficzną reprezentację ich błędów e_i (ryc. 2), wyodrębniono podgrupę takich punktów dostosowania, dla których błąd *RMS* byłby najmniejszy. Kierowano się przy tym następującymi zasadami:

- najkrótsze wektory przesunięcia (minimalne wartości e_i),
- wzajemna zgodność zwrotu wektorów przesunięcia w podgrupie,
- możliwie największa liczebność punktów w podgrupie,
- równomierne rozmieszczenie punktów dostosowania na analizowanym obszarze.

Wyniki ponownej transformacji afinicznej na podstawie nowej podgrupy punktów były tym razem dużo korzystniejsze, a błąd średni transformacji *RMS* osiągnął wartość mniejszą ($RMS = 3,00$ m) od założonej wartości maksymalnej $\pm 10,4$ m (tab. 3).

Operacja doboru podgrupy punktów dostosowania jest procesem iteracyjnym przy założeniu, że w podgrupie nie może być mniej niż cztery punkty, kiedy możliwe jest jeszcze obliczenie wartości błędu *RMS*.

TABELA 3
Parametry transformacji arkusza MZ18 do MT18 przy wtórnej grupie punktów dostosowania:

Nr punktu	Współrzędna X	Współrzędna Y	dX	dY
109	561204,8	581811,8	2,966210	0,1139187
110	561344,6	581761,0	-2,000730	1,342095
1011	560890,2	581599,2	2,088309	0,2724731
112	560269,3	581914,3	0,9021824	2,484214
1013	560176,5	581853,5	-2,163572	-3,202463
1014	560511,6	581342,0	-2,054162	-1,240260
1016	560758,4	580953,7	1,368506	3,230112
1019	560392,3	580807,6	0,2609737	-3,894686
1020	560185,7	581120,9	-2,897116	-2,553471
1023	560025,9	580603,1	-3,577795	1,578805
1032	558841,4	580939,4	1,887177	1,869263

Proces digitalizacji, analizę numeryczną oraz szatę graficzną opracowania przeprowadzono przy użyciu komputera klasy PC486, digitizera Kurta Is3 (format A1) i szeregu programów przetwarzania danych. Najważniejsze z nich to: PC Arc/Info, AutoCAD oraz edytor tekstów Microsoft Word

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych analiz dla każdego arkusza mapy gospodarczej ustalono parametry transformacji afinicznej, na podstawie których zostały przeliczone współrzędne pozostałych punktów. Umożliwiło to obliczenie przesunięcia wszystkich punktów, niezależnie od tego, czy były one punktami dostosowania, czy nie (tab. 4). Długość wektora przesunięcia punktu w układzie wtórnym większa od przyjętej wartości maksymalnej $\pm 10,4$ m, wskazuje na możliwość wystąpienia zakłóceń relacji geometrycznych w tym obszarze mapy gospodarczej. Rozbieżności te powinny być wyjaśnione za pomocą innych wymienionych metod kontroli.

*Z Katedry Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej
SGGW w Warszawie*

Literatura

1. Będkowski K., Korpetta D., Olenderek H.: "Możliwości określenia powierzchni oddziałów w schematycznym podziale powierzchniowym" Sylwan nr 6/1988.
2. Instrukcja techniczna K-1: "Mapa zasadnicza" — GUGiK 1981.
3. Instrukcja techniczna O-1: "Ogólne zasady wykonywania prac geodezyjnych". — GUGiK 1978.
4. Instrukcja urządzania lasu T1: "Prace urządzeniowe" — NZLP 1980.

TABELA 4

Zestawienie ostatecznych błędów wpasowania e_i wszystkich punktów wskazanych na arkuszu MZ18 mapy gospodarczej

Nr pkt	Xt [m]	Yt [m]	Xz [m]	Yz [m]	dX [m]	dY [m]	e_i [m]
1001	561681,40	582132,10	561695,20	582141,70	-13,80	-9,60	16,81
102	561654,50	581982,10	561671,50	582011,80	-17,00	-29,70	34,22
103	561524,10	582027,20	561557,60	582048,10	-33,50	-20,90	39,48
104	561378,20	582078,80	561388,10	582101,90	-9,90	-23,10	25,13
105	561091,70	582177,30	561106,90	582191,00	-15,20	-13,70	20,46
106	560989,10	581893,00	560996,80	581893,80	-7,70	-0,80	7,74
107	560590,80	582048,70	560598,20	582043,40	-7,40	5,30	9,10
1008	561278,30	581861,90	561276,10	581859,80	2,20	2,10	3,04
109	561204,80	581811,80	561207,80	581811,90	-3,00	-0,10	3,00
110	561344,60	581761,00	561343,60	581762,30	2,00	-1,30	2,39
1011	560890,20	581599,20	560892,30	581599,40	-2,10	-0,20	2,11
112	560269,30	581914,30	560270,20	581916,80	-0,90	-2,50	2,66
1013	560176,50	581853,50	560174,30	581850,30	2,20	3,20	3,88
1014	560511,60	581342,00	560509,60	581340,80	2,00	1,20	2,33
1015	561166,40	581171,80	561175,70	581169,50	-9,30	2,30	9,58
1016	560758,40	580953,70	560759,80	580956,90	-1,40	-3,20	3,49
1017	561312,40	580957,40	561323,70	580945,30	-11,30	12,10	16,56
1018	560428,10	580747,60	560420,30	580764,90	7,80	-17,30	18,98
1019	560392,30	580807,60	560392,60	580803,80	-0,30	3,80	3,81
1020	560185,70	581120,90	560182,80	581118,30	2,90	2,60	3,89
121	560035,40	581346,40	560027,90	581350,90	7,50	-4,50	8,75
122	560090,20	580494,80	560088,10	580513,30	2,10	-18,50	18,62
1023	560025,90	580603,10	560025,50	580604,70	0,40	-1,60	1,65
1024	559834,00	580890,10	559838,80	580885,30	-4,80	4,80	6,79
1025	559500,80	581386,10	559500,60	581391,50	0,20	-5,40	5,40
1026	559160,90	581154,90	559162,30	581161,40	-1,40	-6,50	6,65
1027	559489,60	580660,60	559500,60	580657,80	-11,00	2,80	11,35
1028	559676,40	580367,20	559685,90	580381,90	-9,50	-14,70	17,50
129	559495,80	580247,30	559508,20	580261,30	-12,40	-14,00	18,70
130	559315,30	580538,10	559326,00	580537,80	-10,70	0,30	10,70
1031	559170,30	580440,80	559188,60	580444,90	-18,30	-4,10	18,75
1032	558841,40	580939,40	558843,30	580941,30	-1,90	-1,90	2,69

5. Instrukcja urządzania lasu T2: "Prace geodezyjno-kartograficzne" — NZLP 1981.
6. **Korpetta D.:** "Zastosowanie dalmierza EOT 2000 do budowy numerycznego modelu terenu w warunkach leśnych" — rozprawa doktorska 1989.
7. **Olenderek H., Będkowski K.:** "Dokładność leśnej mapy gospodarczej na przykładzie wybranych arkuszy mapy gospodarczej Leśnego Zakładu Doświadczalnego SGGW-AR w Rogowie" — Przegląd Geodezyjny nr 6/1981.
8. **Olenderek H., Korpetta D.:** "Geodezyjne aspekty regularnego podziału powierzchniowego w lasach" — Przegląd Geodezyjny nr 9/1991.
9. **Wilkowski W.:** "Mapa gospodarcza lasów państwowych jako materiał źródłowy do opracowań z zakresu inżynierii leśnej" — Przegląd Geodezyjny nr 10/1974.
10. **Wilkowski W.:** "Badania dokładności mapy gruntów państwowego gospodarstwa leśnego w aspekcie potrzeb urządzania lasu, ewidencji gruntów i mapy zasadniczej kraju" — praca doktorska PW 1977.

Summary

The extent to which forest maps can be used as source of data for geographical information systems (GIS) is related to their contents, accuracy and reliability. Comparison between theoretical accuracy of details found on the management map and results of the conducted research suggests that these maps should be examined before they enter the system. Plan for control measurement should depend on the results of comparison between management maps and other cartographic materials which have known and verified accuracy.

This paper presents an algorithm which makes it possible to conduct digital analysis of accuracy of the management map in relation to the topographic map. Presented algorithm consists of: selection of points which can be found on both maps; digitisation of these points, affine transformation (iterative process); appraisal of the accuracy of transformation (the management map to coordinate system of the topographic map); compilation of "unreliable" points which indicate areas of disturbance of geometrical relations.

This algorithm was used to appraise accuracy of 22 management maps in Brzeziny Forest District.