

WIESŁAW KOSIŃSKI, ANDRZEJ ZBUCKI

## Określenie dokładności powierzchni wyłączeń leśnych przy częściowym symulowaniu wielkości pomiarów

Определение точности площади лесных выделов при частичном симулировании величины измерений

Determination of the exactitude of area of survey units at partial simulation of measurement values

### WSTĘP

Celem pracy jest określenie dokładności powierzchni wyłączeń leśnych ustalonych w czasie urządzania lasu. Pomiar granic tych wyłączeń w terenie odbywa się przy zastosowaniu ciągów busolowych. Ciągi te nanoszone są na leśną mapę gospodarczą graficznie, z przybliżonym wyrównaniem odchyłek (5). Aby wyznaczyć powierzchnię, wyłączenia te są planimetrowane i wyrównywane w ramach oddziałów.

W literaturze geodezyjnej dotyczącej sporządzania map leśnych i wyznaczania powierzchni wyłączeń leśnych brak jest określenia dokładności wyznaczania tych powierzchni. Wprawdzie znana jest dokładność wyznaczania powierzchni planimetrem (4), jednak w tym przypadku należy spodziewać się dużego wpływu błędów pomiarów w ciągach busolowych.

Pomiary te charakteryzują się dużymi błędami przy pracach w terenie oraz przy graficznym sposobie nanoszenia. Ta technologia sporządzania leśnej mapy gospodarczej i wyznaczania powierzchni stwarza duże trudności określania dokładności wyznaczania powierzchni. Teoretyczne rozważania na ten temat trudno uznać za miarodajne, ze względu na nieznaną wpływ graficznego nanoszenia ciągów. Z tego względu postanowiono rozwiązać konkretny przykład jednego oddziału leśnego.

Rozwiązanie zadania na przykładzie wykonać można następująco: przyjąć granice wyłączeń i zaznaczyć je palikami, wykonać pomiar tych granic dokładnym sposobem, który będzie następnie przyjmowany jako bezbłędny, wykonać wielokrotny pomiar granic wyłączeń sposobem busolowym.

Wielokrotny pomiar sposobem praktycznie wykonywanym jest niezbędny dla otrzymania ogólnej charakterystyki dokładnościowej tych pomiarów. Im więcej powtórzeń, tym rozwiązanie postawionego zadania

będzie pewniejsze. Wykonanie jednak wielokrotnych pomiarów w terenie nie wchodziło w rachubę, ze względu na olbrzymi nakład kosztów.

Postanowiono zatem, zamiast wykonywania wielokrotnych pomiarów, symulować je na fikcyjnym przykładzie. Rozwiązanie takie jest całkowicie wykonalne. Trzeba tylko przyjąć wartości błędów średnich pomiarów praktycznych oraz rozkład błędów. Przy pomiarach geodezyjnych przyjmuje się rozkład błędów normalny — Gaussa.

Dokładność pomiarów busolowych została zbadana przez prof. Zbigniewa Łabęckiego i podana w jego pracach (5).

Wykonując zadanie przedstawione w tytule, postanowiono jednocześnie sprawdzić jak graficzne opracowanie mapy i mechaniczne wyznaczenie powierzchni planimetrem wpływa na dokładność otrzymywanych powierzchni. W tym celu wykonano obliczenia współrzędnych punktów wszystkich załamania granic wyłączeń na podstawie tych samych danych, które służyły do graficznego opracowania poszczególnych wariantów map. Ze współrzędnych tych obliczono powierzchnie, a następnie po porównaniu z powierzchniami wzorcowymi — bezbłędnymi wyznaczono dokładność powierzchni poszczególnych wyłączeń leśnych.

Pozwoliło to przekonać się, jak dalece zmniejsza się dokładność wyznaczania powierzchni otrzymywanych na podstawie graficznego opracowania mapy.

#### SPOSÓB SYMULOWANIA POMIARÓW TERENOWYCH

Aby uzyskać wiarygodność danych, postanowiono wykonać 40 wariantów opracowań tego samego obiektu.

Zaprojektowano oddział i wyłączenia (według wskazówek specjalisty urządzania lasu) tak, aby były reprezentatywne. Oddział w kształcie prostokąta o wymiarach 360 m na 705 m o 10 wyłączeniach mających powierzchnię od 6 ha do 30 a.

Dla wyznaczenia wyłączeń zaprojektowano 10 ciągów busolowych o długościach od 140 do 700 m, w których łącznie jest 61 azymutów i boków.

Przyjęto błąd średni pomiaru azymutu magnetycznego  $m_A = \pm 15'$ . Założono, że boki były mierzone w terenie zwykłym dalmierzem optycznym. Przyjęto średni błąd pomiaru boków  $m_d$  w zależności od ich długości (3). Boki podzielono ze względu na długość na trzy grupy:

od 45 do 65 m z błędem średnim  $m_d = \pm 0,15$  m;

od 65 do 85 m z błędem średnim  $m_d = \pm 0,20$  m;

od 85 do 105 m z błędem średnim  $m_d = \pm 0,25$  m.

Symulacja pomiarów polega na wprowadzeniu do przyjętego podstawowego pomiaru błędów, których znaki i wielkości są losowane. Mając charakterystykę dokładnościową pomiaru w postaci błędu średniego można obliczyć prawdopodobieństwo występowania poszczególnych błędów z możliwego przedziału ich występowania. Przedział ten zawiera się w granicach od  $-3$  m do  $+3$  m, gdzie  $m$  oznacza błąd średni pomiaru. Konkretnie wartości błędu przyjmuje się dla całego przedziału w pewnych

odstępach, a następnie oblicza się prawdopodobieństwo ich wystąpienia. I tak błędy azymutów przyjęto w przedziale od  $-45'$  do  $+45'$  w odstępach co  $5'$ . Błędy boków przyjęto od  $0,05$  m do  $3$  m<sub>d</sub> (gdzie m<sub>d</sub> jest średnim błędem pomiaru boku w grupach), co w poszczególnych grupach długościowych dało:  $0,45$  m,  $0,60$  m,  $0,75$  m.

W literaturze geodezyjnej opracowano na podstawie teorii błędów Gaussa tablice prawdopodobieństwa nieprzekroczenia określonych wielkości błędów w pomiarach, przy czym błędy te są podane jako wielkości względne w stosunku do błędu średniego  $\frac{x}{m}$  (1) (2). Na przykład, je-

żeli błąd średni pomiaru długości określonym typem dalmierza wynosi  $m = \pm 20$  cm, to prawdopodobieństwo popełnienia błędu w granicach od  $0$  do  $\pm 10$  cm, czyli od  $0$  do  $\pm 0,5$  m (gdzie  $m$  jest błędem średnim pomiaru) wynosi  $0,3829$ . Przy wykonaniu pomiaru  $30$  odcinków ( $30 \cdot 0,3829$ ) w  $11$  odcinkach można się spodziewać błędów w tych granicach. Prawdopodobieństwo popełnienia błędu nie większego od błędu średniego wynosi  $0,6827$ , a więc w podanym przykładzie ( $30 \cdot 0,6827$ )  $20$  odcinków powinno być obarczonych błędem nie większym od błędu średniego. Należy się spodziewać, że  $10$  odcinków może być obarczonych błędami większymi. Jako błąd maksymalny przyjmuje się  $3$ -krotny błąd średni. Chcąc uzyskać prawdopodobieństwo wystąpienia różnych wielkości błędów w granicach od  $-3$  m do  $+3$  m należy ten zakres podzielić na przedziały. Na podstawie wyżej wymienionych tablic można otrzymać prawdopodobieństwo wystąpienia błędów w przedziałach, przez odejmowanie prawdopodobieństw górnej i dolnej granicy przedziałów.

Przyjmując wielkości przedziałów po  $0,5$  m (połowa błędu średniego) wyznaczono w tab. 1 prawdopodobieństwo wystąpienia błędów w tych przedziałach.

Tabela 1

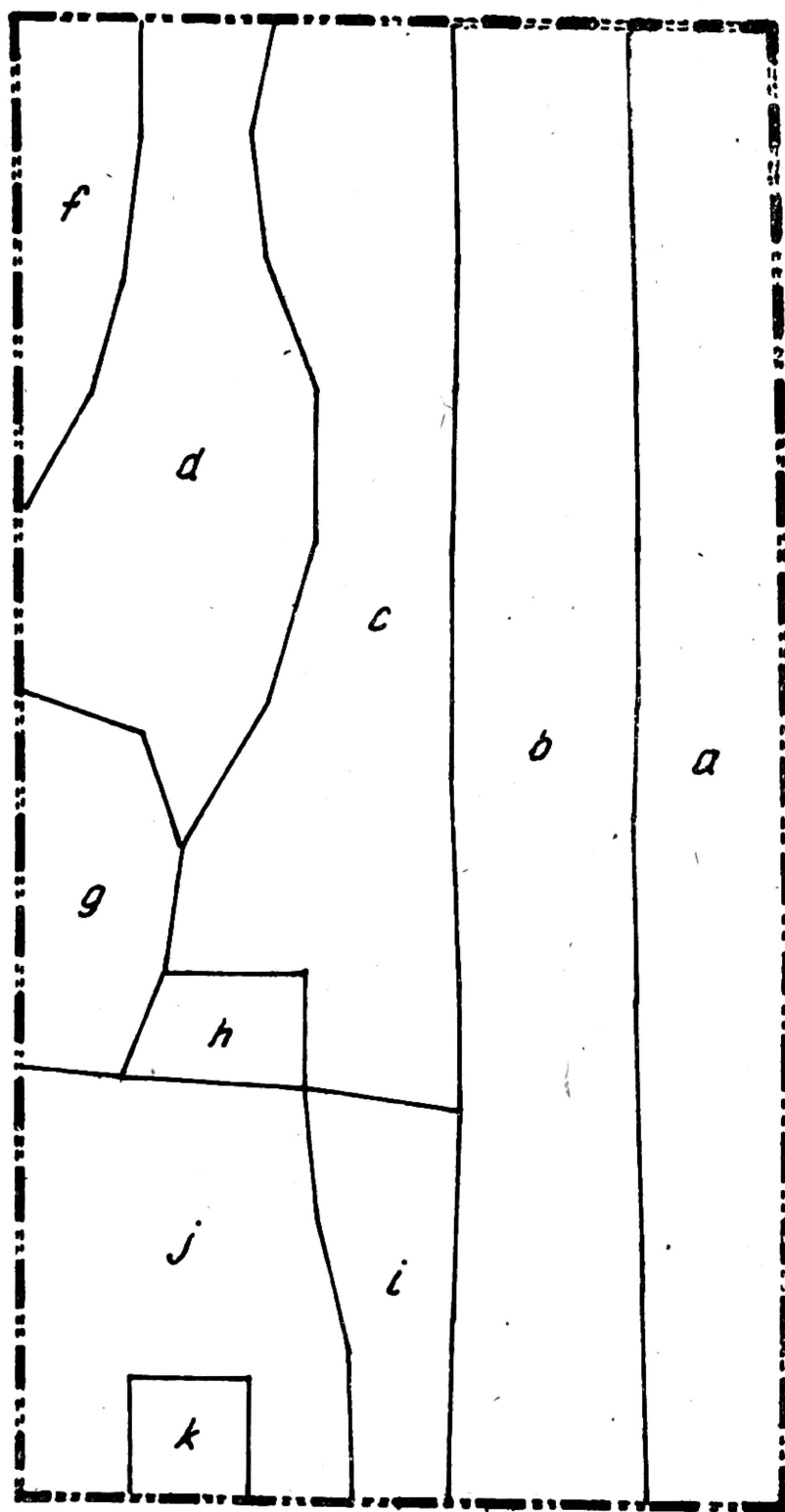
Przykład wyznaczenia prawdopodobieństwa wystąpienia błędów w przedziałach

$\frac{x}{m}$	$+\frac{x}{m}$	$+\frac{x_g}{m}$	$-\frac{x_g}{m}$	$\frac{x}{m}$ (cm)	$+\frac{x_g}{m}$	$-\frac{x_g}{m}$
	P	P	P		P	P
	$-\frac{x}{m}$	$+\frac{x_d}{m}$	$-\frac{x_d}{m}$		$+\frac{x_d}{m}$	$-\frac{x_d}{m}$
					(przy $n=30$ )	
1	2	3		4	5	
0,5	0,3829	0,3829		10	11	
1,0	0,6827	0,2998		20	9	
1,5	0,8664	0,1837		30	6	
2,0	0,9545	0,0881		40	3	
2,5	0,9876	0,0331		50	1	
3,0	0,9973	0,0097		60	0	

W kolumnach 4 i 5 tab. 1 podano dalszy ciąg przykładu. Zgodnie z prawem błędów Gaussa otrzymano największą liczbę błędów małych w granicach od 0 do  $\pm 0,5$  m (od 0 do  $\pm 10$  cm).

#### PRZYGOTOWANIE DANYCH DO OTRZYMANIA POMIARÓW SYMULOWANYCH

Przygotowano rysunek oddziału leśnego wraz z wyłączeniami drzewostanowymi. W punktach załamania linii granicznych odczytano na kordynatografie precyzyjnym współrzędne prostokątne. Jednocześnie zaprojektowano sposób wykonania pomiarów. Odczytane współrzędne posłużyły do obliczenia wartości, które byłyby zmierzone w trakcie pomiarów terenowych — boków i azymutów. Obliczone boki i azymuty przy-



Szkic oddziału leśnego wraz z wyłączeniami.

jęto jako wartości bezbłędne. Następnie przystąpiono do losowania błędów poszczególnych obserwacji — boków i azymutów. Do losowania postanowiono przyjąć 400 kartek i dla tej liczby obliczono udział błędów poszczególnych wielkości. Połowę liczby poszczególnych błędów wzięto ze znakiem „+” a połowę ze znakiem „—”. W czasie losowania błędów ilość ich w urnie była stale taka sama, ponieważ kartki z błędem po wylosowaniu z powrotem wrzucano do urny. Przed każdym losowaniem kartki dokładnie mieszano. Ogółem wylosowano 4880 błędów dla poszczególnych obserwacji. Błędy te wprowadzono do poszczególnych obserwacji z właściwym znakiem. W ten sposób powstały dzienniki pomiaru boków i azymutów.

#### PRACE KARTOGRAFICZNO-OBLICZENIOWE

Na podstawie otrzymanych wartości boków i azymutów sporządzono 40 wariantów map oddziału, poprzez graficzne nanoszenie i wyrównanie danych. Dla każdej mapy wyznaczono powierzchnię wyłączeń leśnych sposobem mechanicznym — planimeterem biegunowym przy stałej 100.

Odczytane na koordynatografie współrzędne załamania granic wyłączeń wprowadzono do obliczenia powierzchni przyjętych jako prawdziwe. Wyznaczono różnice między powierzchniami prawdziwymi a otrzymanymi z planimetrowania i uznano je za błędy prawdziwe powierzchni wyłączeń. Błąd średni powierzchni wszystkich wyłączeń obliczono z wzoru

$$m_p = \pm \sqrt{\frac{[\Sigma\Sigma]}{n}}$$

i otrzymano  $m_p = \pm 4,7$  m. Średnia powierzchnia wyłączenia jest 2,54 ha. Błąd względny powierzchni wszystkich wyłączeń wynosi:

$$\frac{m_p}{P} = \frac{1}{54} = 1,85\%$$

Następnie obliczono błędy średnie powierzchni poszczególnych wyłączeń, co przedstawia tab. 2. Z powyższego zestawienia widać, że błąd średni względny jest mniejszy dla dużych powierzchni, gdzie wynosi 1,18%, a dla małych wzrasta i wynosi 3,75%. Jest to zgodne z dotychczasową wiedzą o błędach powierzchni przy planimetrowaniu — powierzchnie większe wyznaczają się dokładniej niż małe.

Powierzchnie a i b zostały tak zaprojektowane jakby powstały przez wykonanie zrębów zupełnych, równoległe do dłuższej granicy oddziału. Granice ich są prawie prostoliniowe. Przy wykonywaniu inwentaryzacji granice takie nie są dokładnie wyznaczane, przyjmuje się, że zręb jest prostoliniowy i mierzy się tylko odcięte na liniach oddziałowych, do których granica zrębu dochodzi. Z tych powodów obliczono powierzchnie wyłączeń a i b przyjmując miary ich szerokości mierzone wzdłuż krótszych granic oddziału, aby sprawdzić dokładność powierzchni tak obliczonych. Średnie powierzchnie tych wyłączeń i ich błędy przedstawiono w tab. 3.

Przedstawione w powyższej tabeli błędy mieszczą się w tych samych granicach, które podano w tab. 2. Wprawdzie dla dużej powierzchni b otrzymano gorszy wynik niż przy wyznaczaniu całej granicy wyłączenia

Tabela 2

## Błędy średnie powierzchni wyznaczonych planimetrem

Wyłączenie	Powierzchnia (w ha)	Błąd średni m (w a)	Błąd średni względny (%)
a	4,43	6,44	1,45
b	6,21	7,30	1,18
c	4,79	6,47	1,35
d	3,31	4,38	1,32
f	1,02	3,09	3,03
g	1,14	2,60	2,28
h	0,39	1,36	3,49
i	1,10	4,12	3,75
j	2,68	4,60	1,72
k	0,31	0,89	2,87

Tabela 3

## Błędy średnie powierzchni wyznaczonych metodą analityczno-graficzną

Wyłączenie	Średnia powierzchnia obliczona (w ha)	Powierzchnia prawdziwa (w ha)	Błąd prawdziwy (w a)	Błąd względny (%)
a	4,37	4,43	- 6	1,37
b	6,33	6,21	+12	1,93

za pomocą ciągu busolowego, jednak i ten wynik należy uznać za całkowicie zadowalający.

Przy wykonywanych tu wyznaczeniach powierzchni wyłączeń nie uwzględniono zmiennej powierzchni oddziału. Jak wiadomo, powierzchnie grup oddziałów wyznacza się analitycznie, natomiast powierzchnie poszczególnych oddziałów planimetruje się i wyrównuje w ramach grup. Dokładność tak wyznaczonej powierzchni oddziału należy szacować na 1/200 — 0,5%. Ten błąd przenosi się na powierzchnie poszczególnych wyłączeń — błąd bezwzględny jest proporcjonalny do ich wielkości. Błąd powierzchni oddziału może wpłynąć na zmniejszenie lub zwiększenie błędu powierzchni wyłączenia. Jeśli przyjmiemy układ mniej korzystny — zwiększenie błędu wyłączenia, to w naszym przypadku największy błąd względny wynosi 3,75% i mógłby zostać zwiększony o 0,5%, a więc wyniósłby 4,25%.

Kolejnym elementem opracowania było (tak jak to wspomniano we wstępie) obliczenie współrzędnych wszystkich punktów na podstawie symulowanych danych, które uprzednio służyły do graficznego wyznaczenia granic wyłączeń. Obliczono powierzchnie ze współrzędnych i porównano je z powierzchniami bezbłędnymi. Analogicznie jak dla sposobu mechanicznego wyznaczono błąd średni wszystkich wyłączeń:

$$m_p = \pm \sqrt{\frac{[\Sigma\Sigma]}{n}} = 1,2 \text{ a}$$

Błąd względny powierzchni wszystkich wyłączeń wynosi:

$$\frac{m_p}{P} = \frac{1}{210} = 0,48\%$$

Błędy średnie powierzchni poszczególnych wyłączeń przedstawiono w tab. 4.

Tabela 4

**Błędy średnie powierzchni wyznaczonych metodą analityczną**

Wyłączenie	Powierzchnia (w ha)	Błąd średni m (w a)	Błąd średni względny (%)
a	4,43	1,6	0,36
b	6,21	2,4	0,39
c	4,79	1,8	0,37
d	3,31	0,6	0,18
f	1,02	0,9	0,88
g	1,14	0,8	0,70
h	0,39	0,5	1,28
i	1,10	0,7	0,64
j	2,68	0,7	0,26
k	0,31	0,3	0,97

Porównując dokładności otrzymane dla powierzchni planimetrowanych z dokładnościami powierzchni obliczonych ze współrzędnych widzimy, że te ostatnie są ok. 4 razy dokładniejsze. Jest to istotna różnica dokładności. Widzimy jak niekorzystnie wpływa na dokładność wyznaczenia współrzędnych graficzne nanoszenie ciągów busolowych i ręczne planimetrowanie. Należałoby się zastanowić, czy przy obecnym rozwoju elektronicznej techniki obliczeniowej i kartograficznej nie byłoby korzystne zmienić dotychczasową technologię sporządzania leśnych map gospodarczych. Można by przygotować program obliczeniowy dla obliczenia i wyrównania współrzędnych w ciągach busolowych. Otrzymane współrzędne nanosiłoby się automatycznie na mapy gospodarcze oraz obliczało powierzchnie ze współrzędnych. Można przypuszczać, że nakład pracy nie byłby większy niż obecnie, a jednocześnie rysunek sytuacji na mapach gospodarczych byłby znacznie pewniejszy od dotychczasowego.

## LITERATURA

1. Hausbrandt S.: Rachunki Geodezyjne. Warszawa: PPWK 1953.
2. Hausbrandt S.: Rachunek wyrównawczy. Obliczenia geodezyjne. Warszawa: PPWK T. I 1970, T. II 1971.
3. Lazzarini T.: Wykłady Geodezji II. Warszawa: PWN 1980.
4. Leśniok H.: Wykłady z geodezji I. Warszawa: PWN 1981.
5. Łabęcki Z.: Geodezja leśna. Warszawa: PWRiL 1978.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 26 kwietnia 1985 r.

### Краткое содержание

Целью работы является определение точности площади лесных выделов, границы которых были измерены при помощи буссольных ходов.

Определена средняя ошибка площади при графическом нанесении на карту и установлении площади при помощи планиметра. На основании тех же самых данных вычислена площадь выделов из координат. Это дало возможность оценить точность установленных площадей.

Вместо выполнения многократных измерений границ лесных выделов на местности, смоделировано их на вымышленном примере, принимая величины средних ошибок измерений, а также нормальное разложение ошибок по Гауссу.

Сравнивая точности полученные для планиметрированных площадей с точностями площадей вычисленными из координат видно, что эти последние почти в четыре раза точнее.

### Summary

The work was aimed at determination of the exactitude of delimiting the areas of forest survey units, the limits of which were measured with the application of needle traverses.

The authors determined the mean error of areas at graphic marking the survey units in the map and at computing the areas with the help of a planimeter. On the base of the same data, the areas of survey units were calculated from the co-ordinates. This rendered possible to evaluate the exactitude of delimited areas.

Instead of making the repeated measurements of limits of the forest survey units on the ground, the authors simulated them on a fictitious example, using the values of mean measurement errors and the normal (Gaussian) distribution of errors.

A comparison of exactitudes obtained for areas computed with the help of the planimeter with exactitudes calculated from the co-ordinates shows the the last mentioned ones are about four times more exact.