

Cezary Toś, Leszek Zielina**

OPTIMALIZACJA ZADAŃ POMIAROWYCH W ASPEKTCIE DOKUMENTOWANIA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIEGO OBSZARÓW OSUWISKOWYCH

1. Wstęp

Skuteczność podejmowanych działań, mających na celu ochronę obszarów osuwiskowych, w dużej mierze zależy od rozpoznania geologiczno-inżynierskiego terenu. Sporządzenie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej wymaga wykonania szeregu różnorodnych pomiarów geodezyjnych. Przeprowadzenie pomiarów z odpowiednią dokładnością, w krótkim czasie, na dużym obszarze wymaga doboru optymalnych metod, aparatury oraz dobrej organizacji pomiaru. Autorzy prowadzili badania w szczególnie trudnych warunkach, na terenach przybrzeżnych budowanego zbiornika wodnego Świnna-Poręba. Rozległy obszar, strome zbocza poprzecinane jarami i wąwozami, trudno dostępne tereny gęsto zalesione i zakrzaczone oraz ograniczenia czasowe wynikające z konieczności koordynowania prac pomiarowych z prowadzonymi badaniami geologicznymi i geofizycznymi znacznie utrudniały prace geodezyjne. W tych warunkach, dobór optymalnych metod i sprzętu miał zasadnicze znaczenie dla prawidłowego wykonania zadania. Na podstawie doświadczeń sformułowano wnioski dotyczące optymalizacji pomiarów geodezyjnych na obszarach osuwiskowych.

2. Zadania pomiarowe w procesie dokumentowania geologiczno-inżynierskiego

Zadania pomiarowe w procesie dokumentowania geologiczno-inżynierskiego regulują następujące przepisy:

- Prawo geologiczne,
- Dokumentacja geologiczno-inżynierska,

* Zakład Geodezji i Kartografii Środowiska, Instytut Geotechniki, Politechnika Krakowska, Kraków

- Dokumentowanie Geotechniczne PN-B-02479,
- Wytyczne do sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.

Do zadań geodezyjnych należy: wytyczenie na podstawie projektu geologicznych otworów badawczych, punktów monitoringu geodezyjnego, linii badań geofizycznych, pomiary powykonawcze oraz przygotowanie map przeglądowych i topograficznych w skalach 1:10 000–1:100 000, sporządzenie planów lokalizacyjnych na mapach 1:500–1:5000 i przekrojów terenu [3].

W żadnym z przepisów nie ma informacji o wymaganych dokładnościach, a jest to warunek wpływający na odpowiedni dobór metody pomiaru. Wyjątkiem jest opis sposobu pomiaru sieci monitoringu powierzchniowego osuwisk [1]. W związku z tym można założyć, że dokładność pomiaru zależy od rodzaju opracowania kartograficznego, z jakiego korzystamy w procesie tyczenia oraz do jakiego dążymy w procesie kartowania. Z drugiej strony istnieje też zapotrzebowanie na współrzędne charakteryzujące się odpowiednimi dokładnościami. Zapotrzebowanie to czasem jednak formułowane jest mało precyzyjnie, dlatego warto wiedzieć, jakie możliwości oferują stosowane techniki pomiarowe oraz materiały kartograficzne.

3. Metody pozyskiwania danych przestrzennych

Pozyskanie informacji przestrzennej dla dokumentowania geologiczno-inżynierskiego może przebiegać dwutorowo. Pierwszym sposobem jest bezpośredni pomiar, drugim natomiast wykorzystanie istniejących opracowań geodezyjnych. Przydatność różnych technik zależy od rodzaju zadania. Najpewniejsze i najbardziej dokładne są techniki pomiaru bezpośredniego (tab. 1). Pomiaru te są jednak pracochłonne i kosztowne.

TABELA 1
Techniki pomiaru bezpośredniego

Metoda	Efekt pomiaru	Dokładność
Domiaru do szczegółów istniejących	Współrzędne płaskie X, Y	±10 cm
Pomiar tachimetryczny	Współrzędne płaskie X, Y Rzędne wysokościowe H	±1 cm
Niwelacja techniczna	H	±5 mm
Pomiar GPS odbiornikiem nawigacyjnym	X, Y, H	±2 m
Pomiar GPS odbiornikiem geodezyjnym RTK	X, Y, H	±1 cm

Dane przestrzenne można również pozyskać z istniejących materiałów kartograficznych. Przy korzystaniu z tego rodzaju materiałów należy mieć świadomość ich dokładności (tab. 2).

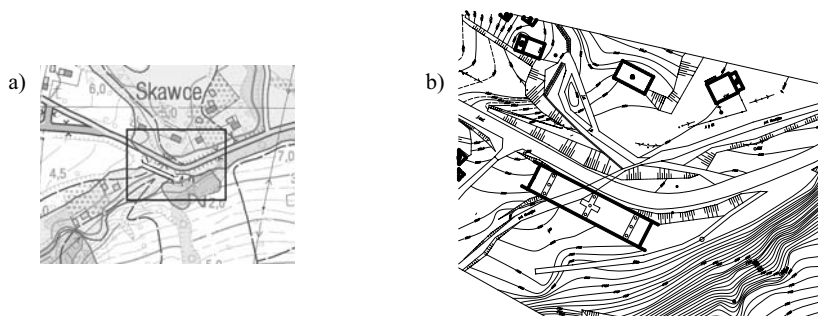
Z uwagi na generalizację treści mapy, wraz ze zmniejszaniem skali pogarsza się dokładność wyznaczenia współrzędnych.

TABELA 2

Dokładność opracowań kartograficznych

Rodzaj opracowania	Dokładność współrzędnych płaskich (X,Y)	Dokładność współrzędnych wysokościowych (H)
Mapa zasadniczaSkala 1:500–1:5000	$\pm 0,1-0,5$ m	$\pm 0,1-0,5$ m
Mapa topograficznaSkala 1:10 000–1:25 000	$\pm 1-5$ m	$\pm 2-10$ m
Zobrazowania satelitarne	do 1 m	

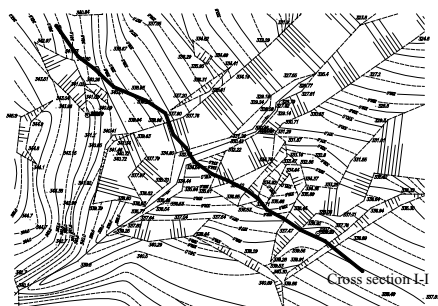
Dlatego dopuszcza się jedynie dwukrotne zmniejszanie bądź zwiększanie skali dla materiałów kartograficznych. Na rysunku 1 przedstawiono ten sam obszar na mapach przygotowanych dla różnych skal. Można zaobserwować jak zwiększa się szczegółowość map wraz ze zwiększaniem skali.



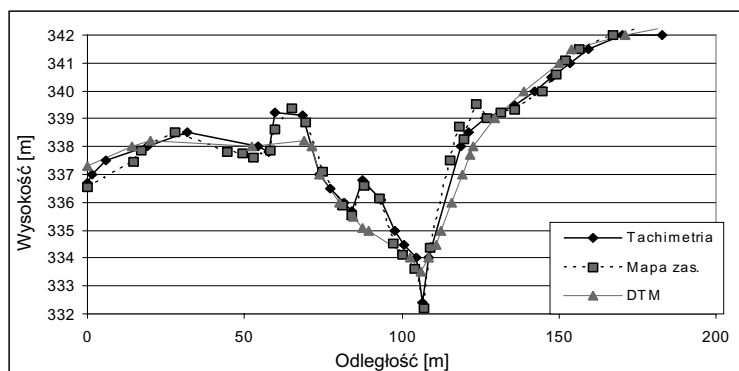
Rys. 1. Opracowania kartograficzne: a) mapa topograficzna 1:10 000, b) mapa zasadnicza 1:500

W przypadku współrzędnej wysokościowej ważny jest dodatkowo stopień komplikacji terenu. Warstwice są tworzone w procesie interpolacji na podstawie zbioru punktów wysokościowych. Punkty te pomierzone w terenie powinny być tak rozmieszczone, aby możliwie wiernie przedstawić ukształtowanie terenu. Maksymalny błąd odczytu wysokości na podstawie warstwic może sięgać od 1/3 do 1 cięcia warstwicowego. W przypadku technik zdalnych (fotogrametria, teledetekcja) teren pokrywany jest regularną siecią punktów pomiarowych oraz linii charakterystycznych terenu, na podstawie których tworzony jest DTM (*digital terrain model*). Model ten nie zawsze uwzględnia mniejsze elementy terenu niż rozdzielczość siatki [2]. Dla zobrazowania tego problemu porównano trzy przekroje terenu (rys. 2, 3) wykonane na podstawie danych pozyskanych: z bezpośredniego pomiaru, z mapy zasadniczej oraz z DTM stworzonego dla ortofotomapy. Przyjmując, że wyniki pomiaru bezpośredniego są bezbłędne, obliczono średnie błędy wysokości punktów na profilu dla pozostałych metod i tak:

- błąd wysokościowy dla mapy zasadniczej wyniósł 0,35 m,
- błąd wysokościowy dla DTM ortofotomapy wyniósł 0,64 m.



Rys. 2. Lokalizacja linii przekroju na mapie zasadniczej



Rys. 3. Porównanie przekrojów wykonanych na podstawie danych pomiarowych, danych z mapy zasadniczej i modelu wysokościowego dla ortofotomapy DTM

4. Optymalizacja zadań pomiarowych

Znając charakterystykę dokładnościową technik pomiarowych i materiałów kartograficznych oraz wymagania, jakie stawiane są przed wykonawcą, należy zaprojektować możliwie optymalne wykonanie zadań. Poprzez optymalizację pomiarów należy rozumieć dobór technik do konkretnych zadań w celu minimalizacji nakładu i czasu pracy. Przyjęta metoda badań musi uwzględniać możliwości techniczne i sprzętowe wykonawcy oraz spełniać wymagania dokładnościowe. Autorzy przeprowadzili optymalizację tego typu w trakcie obsługi prac geologicznych wokół zbiornika Świnna-Poręba. Na powierzchni ok. 50 km² wytyczono i pomierzono 422 punkty odwiertów geologicznych i reperów powierzchniowych oraz ponad 20 000 m przekrojów geofizycznych. Teren był wyjątkowo trudny do pomiaru na skutek bardzo skomplikowanej rzeźby, stromych stoków, wąwozów i jarów, różnic wysokości dochodzących do 300 m. Jednocześnie były to obszary niezagospodarowane od 35 lat. Obsługa geodezyjna badań musiała być prowadzona w krótkim czasie przed lub tuż po wykonaniu prac geologicznych i geotechnicznych. Czynniki te

wymusiły szczególną dbałość o zoptymalizowanie pomiarów w zakresie doboru technik pozyskania danych przestrzennych i organizacji pracy.

Obsługa geodezyjna rozpoznania geologiczno-inżynierskiego wokół projektowanego zbiornika Świnna-Poręba polegała na:

- przygotowaniu podkładów mapowych,
- wytyczeniu w terenie otworów badawczych, tras rozpoznania geofizycznego oraz punktów monitoringu powierzchniowego,
- pomiarze współrzędnych w/w obiektów,
- skartowaniu wyników pomiarów i wykonaniu przekrojów terenu.

Docelowo wykonano plany lokalizacyjne:

- w skalach 1:2000 dla dokumentacji geologiczno-inżynierskiej,
- w skalach 1:10 000 dla mapy geologicznej.

4.1. Przygotowanie podkładów mapowych

Dla badanego obszaru dostępna była następująca dokumentacja kartograficzna:

- mapy topograficzne w skali 1:10 000,
- mapy zasadnicze w skali 1:1000 i 1:2000,
- ortofotomapy 1:5000,
- mapy projektowe przygotowane dla celów przebudowy drogi Wadowice — Sucha Beskidzka.

Mapy topograficzne, dostępne zarówno w formie tradycyjnej jak i rastrowej, były za mało dokładne, aby z nich korzystać. Najlepszym materiałem kartograficznym były mapy zasadnicze o dużej szczegółowości. Jednak dostępne były jedynie w formie tradycyjnej. Wykorzystanie tych map wymagałoby zakupienia około 90 arkuszy, ich zeskanowania i skaliowania. Duże koszty i czas takiej operacji sprawiły, że ograniczono się do 11 map dla wyjątkowo trudnych terenów.

Najbardziej przydatnymi okazały się ortofotomapy o szczegółowości pozwalającej na ich przeskalowanie do 1:2000. DTM dostarczany z tymi mapami zapewniał dokładność wyznaczania wysokości na poziomie $\pm 0,2$ m w przypadku terenów płaskich. Dla terenów o skomplikowanej rzeźbie, dokładność ta była niewystarczająca. Przydatną okazała się również mapa projektowa do celów przebudowy drogi Wadowice — Sucha Beskidzka wykonana w formie wektorowej. Niestety zasięg tej mapy ograniczony był tylko do 5 stref osuwiskowych.

4.2. Wytyczenie punktów badawczych

Położenie otworów badawczych odczytano z mapy projektu badań geologicznych. Mapa ta, przygotowana na podkładzie mapy topograficznej 1:10 000, zapewniała dokładność rzędu ± 3 m. W przypadku takiej dokładności, najprościej było użyć do tyczenia odbiornika nawigacyjnego GPS [6]. W podobny sposób postąpiono z liniami badań geofizycznych oraz punktami monitoringu powierzchniowego.

4.3. Pomiar punktów monitoringu powierzchniowego i otworów badawczych

Należało wyznaczyć położenie sytuacyjne i wysokościowe punktów, stanowiące wyjściowe dane porównawcze do wyników cyklicznie prowadzonych w przyszłości obserwacji. Pomiary musiały być przeprowadzone metodą pozwalającą na monitorowanie zachodzących przemieszczeń z milimetrową dokładnością. Pomiar sieci środkami konwencjonalnymi na tak rozległym i trudnym obszarze, z jednakową wysoką dokładnością, był praktycznie niewykonalny. Równocześnie pomiar pozycji zestawem GPS RTK dla wielu punktów okazał się niemożliwy, ponieważ usytuowane były w miejscach zakrytych, w lesie lub w głębokim wąwozie [5, 7]. W tej sytuacji na każdym osuwisku wybrano, co najmniej po dwa punkty położone w miejscach odkrytych. Punkty te pomierzone zestawem GPS RTK stanowiły bazę do pomiarów tachymetrycznych w obrębie osuwiska. Pomiar otworów badawczych prowadzono w ten sam sposób. Punkty, które nie mogły być pomierzone zestawem GPS pomierzono tachymetrycznie.

4.4. Linie geofizyczne i przekroje terenu

Dobór metody pomiaru linii geofizycznych zależał od stopnia skomplikowania morfologicznego terenu. Na terenach płaskich do wyznaczenia położenia sytuacyjnego linii zastosowano odbiornik nawigacyjny, wysokość natomiast wyznaczono na podstawie warstwic mapy zasadniczej lub DTM. Na terenach o bardziej skomplikowanej rzeźbie wykorzystano pomiar zestawem RTK lub tachymetryczny. Dobór metody musiał być szczególnie staranny ze względu na duże różnice wysokości terenu. Dla sprawdzenia wiarygodności wysokości odczytanych z DTM porównano je z punktami pomierzonymi metodą RTK. Różnice nieprzekraczające 25 cm świadczą o celnym doborze metody do rodzaju terenu. Przekroje terenu wykonano kierując się tymi samymi zasadami doboru. Punkty badawcze, punkty monitoringu powierzchniowego oraz przekroje naniesiono na ortofotomapy a następnie wydrukowano w skali dobranej do rodzaju zadania (rys. 4).

5. Wnioski

- Przy sporządzaniu dokumentacji geologiczno-inżynierskich dla terenów osuwiskowych wykonuje się zadania pomiarowe, o bardzo zróżnicowanych wymaganiach dokładnościowych od ± 1 mm do nawet kilku metrów,
- Przemysłany dobór metod pomiarowych do konkretnych zadań znacznie skraca czas i koszt ich wykonania,
- Najbardziej efektywną metodą jest pomiar RTK, ale nie wszędzie może być stosowany. Odbiornik GPS nie spełnia zadania w terenach o małej widoczności nieboskłonu,



Mapa przeglądowa
 Lokalizacja punktów badawczych
 Skawce gm. Mucharz
 Układ współrzędnych 1992' skala 1:2000

▼ PP1-1	Repery powierzchniowe
● OB1-1	Otworki badawcze
---	Linie badań geofizycznych

Rys. 4. Fragment mapy przeglądowej lokalizacji punktów badawczych

- Pomiar tachymetryczny jest najdokładniejszą metodą, ale najbardziej pracochłonną. W przypadku trudnego terenu, konieczność zakładania osnowy tachymetrycznej sprawia, że metoda może okazać się również najbardziej kosztowna,
- W przypadku trudnych terenów jedynym rozwiązaniem jest kombinacja technik satelitarnych i tradycyjnych,
- Do wykonania wielu zadań pomiarowych w zupełności wystarczy tani odbiornik nawigacyjny GPS,
- Ortofotomapy ze względu na brak generalizacji są bardzo dobrym podkładem kartograficznym, który można przeskalowywać w dużym zakresie. DTM dla tych map jest użyteczny jedynie w terenach o małym zróżnicowaniu morfologicznym.

LITERATURA

- [1] Bażyński J., Frankowski Z., Kaczyński R., Rybicki S., Wysokiński L.: Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich. Ministerstwo Środowiska i PIG, Warszawa 1999
- [2] Cleveland L.J., Wartman J.: Principles and Applications of Digital Photogrammetry for Geotechnical Engineering. Geotechnical Special Publication. vol. 149, 2006, p. 128–135
- [3] Cornforth D.H.: Landslides in Practice — Investigation, Analysis, and Remedial/Preventative Options in Soils. John Wiley & Sons, 2005

- [4] *Specht C.*: System GPS. Bernardinum, Gdynia 2007
- [5] *Toś C., Zielina L.*: Praktyczne aspekty zastosowania systemu DGPS w pomiarach geodezyjnych. Czasopismo Techniczne, Tom 1, 2008, s. 125–134
- [6] *Zielina L., Mroczek J.*: Zastosowanie ręcznych odbiorników nawigacyjnych GPS w pracach geologicznych. Czasopismo Techniczne, Tom 2, 2007, s. 239–247
- [7] *Zengin H., Yesil A.*: Comparing the Performances of Real-time Kinematic GPS and a Handheld GPS Receiver under Forest Cover. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, vol. 30 (2), 2006, p. 101–110