

**Paweł SOPATA**

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków  
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

## **Wykorzystanie metody GPS-RTK do pomiarów przemieszczeń powierzchni terenów górniczych**

### **Słowa kluczowe**

Teren górniczy, wpływy eksploatacji górniczej, GPS-RTK, ASG-EUPOS, przemieszczenie pionowe i poziome powierzchni terenu

### **Streszczenie**

Pomiary deformacji powierzchni terenu w obszarach objętych wpływami podziemnej działalności górniczej prowadzone są w Polsce od dziesiątków lat. Obejmują one w większości przypadków rozległe powierzchnie, liczone często w dziesiątkach km<sup>2</sup>. Z tego względu obserwacje geodezyjne zmian zachodzących na tych terenach są pracochłonne i czasochłonne. Aby zminimalizować nakład pracy i czas trwania pomiarów wprowadza się nowoczesne technologie. Jedną z nich stanowi metoda satelitarnych pomiarów GPS, która realizowana w trybie RTK może dostarczać informacji o przemieszczeniach przestrzennych punktów w relatywnie krótkim czasie. Dokładność otrzymywanych wyników wymaga dyskusji w aspekcie wielkości obserwowanych w terenie zmian. W referacie przedstawiono możliwości wykorzystania satelitarnej techniki pomiarowej GPS do pomiarów przemieszczeń powierzchni terenów górniczych. Szczególną uwagę zwrócono na aspekt dokładnościowy metody, wykorzystującej nowoczesną sieć stacji permanentnych ASG-EUPOS. W tym względzie skorzystano z licznych obserwacji geodezyjnych (również autorskich), wykonanych na terenach górniczych na przestrzeni ostatnich lat.

### **1. Wstęp**

Górnictwo w Polsce stanowi nadal ważną gałąź gospodarki. Eksploatacja złóż surowców mineralnych przynosi korzyści ekonomiczne i społeczne, powodując jednak przy tym niekorzystne zjawiska związane z ruchami powierzchni terenu w rejonach górniczych. Są one przyczyną potencjalnych zagrożeń dla zabudowy i infrastruktury technicznej, które w skrajnych przypadkach mogą prowadzić nawet do utraty bezpieczeństwa powszechnego. Z tego względu konieczne jest prowadzenie cyklicznych obserwacji powierzchni terenu, w celu monitorowania zachodzących jej zmian na skutek realizowanej eksploatacji górniczej.

Zakres i rodzaj obserwacji zależy od wielu czynników. Do najważniejszych zaliczyć można wielkość powierzchni objętej wpływami górniczymi, intensywność i skalę prowadzonego wydobycia oraz rodzaj zagospodarowania powierzchni, związany z występującymi tam obiektami podlegającymi ochronie. W każdym przypadku należy stosować odpowiednią do

potrzeb metodykę obserwacji, dobraną optymalnie pod względem ekonomicznym z równoczesnym zapewnieniem spodziewanej jakości i dokładności wyników. W tym względzie można postawić wniosek, że obecny rozwój techniki, w aspekcie monitorowania wpływów górniczych, nadąża za potrzebami. Obserwowany w ostatnich latach rozwój metod satelitarnych, wykorzystujących globalny system pozycjonowania GPS, umożliwia prowadzenie pomiarów geodezyjnych, z których praktycznie na bieżąco uzyskiwać można przestrzenne pozycje obserwowanych punktów. Okresowe pomiary tego rodzaju umożliwiają wyznaczenie przemieszczeń punktów przestrzennej sieci obserwacyjnej (Sopata, Stoch 2011), służące w dalszej kolejności ocenie ewentualnych zagrożeń dla obiektów zlokalizowanych w rejonach eksploatacji górniczej.

W artykule przedstawiono dwa przykłady zastosowania metody pomiarów GPS-RTK, prowadzonych w nawiązaniu do nowoczesnej sieci stałych stacji permanentnych ASG-EUPOS, wykorzystanych do monitorowania wpływów podziemnej eksploatacji górniczej złóż węgla kamiennego. W każdym przypadku zastosowano indywidualne, adekwatne do potrzeb, podejście do zagadnienia monitoringu zmian powierzchni terenu, co skutkowało nieco odmienną specyfiką zastosowanej metodyki pozyskiwania danych. Na koniec przeprowadzono krótką dyskusję na temat możliwości wykorzystania metody GPS-RTK, odnosząc się do klasycznych metod pomiarowych, które mogłyby być zastosowane w prezentowanych przypadkach.

## **2. Specyfika rejonów i zakres obserwacji**

Pierwszy rejon (Rejon I) obejmował tereny górnicze Górnego Śląska, w których co najmniej od 5 lat nie realizowano bieżącej eksploatacji złoża węgla kamiennego. Obejmował on swym zasięgiem ponad 4-ro kilometrowy pas inwestycji drogowej, która przebiegając nad zrealizowanym w kilku pokładach wydobywaniem węgla wymagała monitorowania ewentualnych ruchów powierzchni terenu z tytułu reaktywacji zrobów na skutek realizowanych prac budowlanych (Śliwa 2010).

Ze względu na rodzaj monitorowanej inwestycji w zakresie obserwacji uwzględniono zarówno poziome jak i pionowe przemieszczenia powierzchni terenu. W tym celu dane obserwacyjne pozyskiwane były na sieci trwale stabilizowanych punktów ziemnych. Sieć tę stanowiła grupa ponad 240 punktów, rozmieszczonych wzdłuż realizowanej budowy drogi, po obu jej stronach. W czasie obserwacji wykorzystano dwie metody pomiarowe. Jedną z nich była klasyczna, precyzyjna niwelacja geometryczna, stanowiąca bazę porównawczą dla zrealizowanych pomiarów wysokościowych drugą metodą (GPS-RTK), podlegającą wówczas ocenie. Pomiary wysokościowe, realizowane w klasyczny sposób, poprzedzono kontrolą stałości odpowiednio dobranych punktów nawiązania, wymaganą szczególnie na terenach górniczych. Wyniki tej kontroli zostały uwzględnione w przeprowadzonych analizach pozyskanych wyników obserwacji.

W artykule omówiono dwie serie obserwacyjne, obejmujące pięciomiesięczny przedział czasowy. W każdej serii prowadzono równoległe pomiary klasyczne i satelitarne. Pomiary wysokościowe wykonywano w dwóch różnych układach odniesienia, odpowiednio Kronsztadt 86 i elipsoida WGS-84. Jednak ze względu na różnicowy charakter otrzymywanych wyników (okresowe przemieszczenia pionowe) w aspekcie porównania wyników nie miało to praktycznie znaczenia. Dla współrzędnych płaskich punktów sieci, otrzymywanych z pomiarów GPS, wykorzystano państwowy układ współrzędnych 2000. Brak istotnych

ruchów powierzchni terenu w okresie objętym pomiarem umożliwił poprawne wnioskowanie również na temat dokładności pomiarów przemieszczeń poziomych punktów sieci, wykonanych metodą GPS-RTK.

Drugi rejon (Rejon II) stanowił zlokalizowany we wschodniej Polsce teren górniczy kopalni LW „Bogdanka” S.A. Ze względu na charakter jego zagospodarowania (rolno-leśny z rozproszoną zabudową wiejską o małej gęstości) i występujące tam problemy zalewiskowe, w zakresie obserwacji znalazły się pomiary osiadań powierzchni terenu, obejmujące obszar kilkudziesięciu km<sup>2</sup> (Hejmanowski i in. 2011). Ze względu na słabo rozwiniętą sieć punktów stałych, pomiarem w większości objęto niestabilizowane punkty powierzchni terenu, markowane w czasie pomiarów. W związku z tym punkty obserwowane sytuowane były głównie wzdłuż ciągów komunikacyjnych przebiegających w terenie (łatwość markowania farbą i później identyfikacji tożsamyh punktów w kolejnych seriach obserwacyjnych). Układ punktów utworzył charakterystyczne profile pomiarowe a liczebność punktów, przy przyjętej średnio odległości między nimi około 50 m, w każdej serii przekraczała 1,5 tys. Kontrolę wysokościową pomiaru przeprowadzano każdorazowo na punktach zastabilizowanych trwale w rejonach poza wpływami robót górniczych (głównie w rejonach placów szybowych).

Wyniki prezentowanych w artykule dwóch serii obserwacyjnych GPS-RTK (obejmujących okres 1 miesiąca) dostarczyły informacji o przyrostach obniżen powierzchni terenu w rejonach aktywnych, znajdujących się w zasięgu wpływów eksploatacji górniczej. Wartości rzędnych wysokościowych zarejestrowane w terenie stabilnym (poza wpływami górniczymi) wykorzystano do bieżącej oceny dokładnościowej zrealizowanych tą techniką pomiarów.

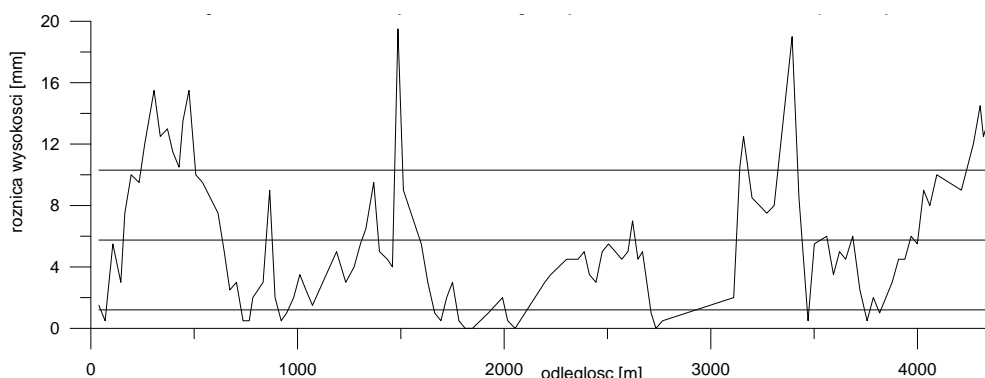
### **3. Wyniki pomiarów wraz z oceną dokładności**

#### **3.1. Rejon I**

W pierwszej fazie prac opracowano wyniki pomiarów niwelacyjnych, które wykorzystano do weryfikacji rezultatów metody satelitarnej. W tym celu obliczono różnice wysokości pomierzonych punktów sieci z dwóch serii obserwacyjnych, obejmujących wspomniany okres 5 miesięcy. Generalnie zaobserwowano niewielkie wartości różnic wysokości poszczególnych punktów, mieszczące się w zakresie  $\pm 20$  mm. Zakres ten odpowiada oszacowanej wcześniej a priori dokładności wyznaczenia wskaźnika (obniżenia punktu), uwzględniającej wyniki kontroli stałości punktów nawiązania ciągów niwelacyjnych (Hejmanowski i in. 2010).

W celu oceny dokładnościowej tego pomiaru wykonano prostą analizę statystyczną, przeprowadzoną dla bezwzględnych wartości wyznaczonych różnic wysokości wszystkich punktów. W tym celu wyliczono średnią (bezwzględną) wartość obliczonych różnic wysokości analizowanych punktów sieci wraz z odchyleniem standardowym, świadczącym o przeciętnym rozproszeniu poszczególnych wyników wokół tej średniej.

Bezwzględna średnia wartość stwierdzonych pomiędzy seriami niwelacyjnymi różnic wysokości punktów wyniosła 5.75 mm z odchyleniem standardowym  $\pm 4.55$  mm. Wyniki te zobrazowano na poniższym wykresie (rys. 3.1). Wartości statystyk nie przekraczają oszacowanego wcześniej przedziału  $\pm 20$  mm, który w tym przypadku można rozpatrywać w kategoriach błędu granicznego. Świadczy to, szczególnie przy braku bieżącej eksploatacji górniczej, o stabilności powierzchni terenu w rejonie obserwacji na wykazanym dwucentymetrowym poziomie istotności.

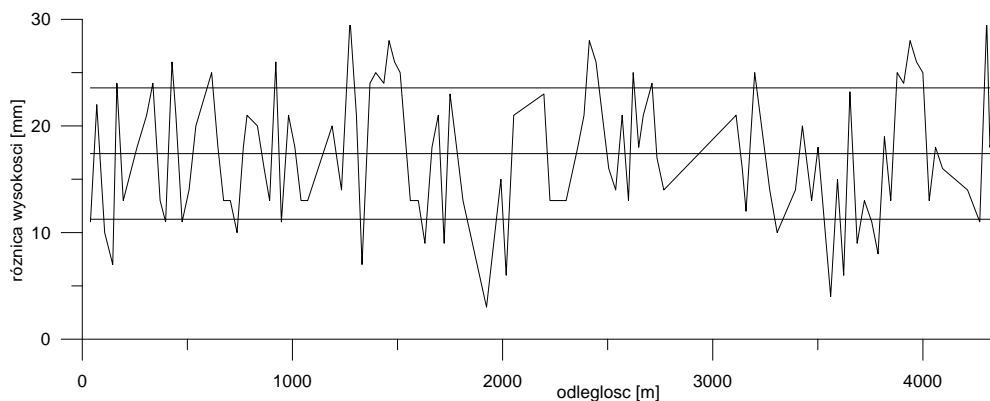


**Rys. 3.1.** Bezwzględne wartości różnic wysokości z wartością średnią i zakresem odchylenia standardowego (metoda niwelacji precyzyjnej)

**Fig. 3.1.** Absolute value of differences with average value and scope of standard deviation (method of precise leveling)

Z analogicznego zestawienia wyników pomiarów wysokościowych, zrealizowanych metodą GPS-RTK wynika, że różnice wysokości punktów mieściły się w granicach  $\pm 30$  mm.

Podobnie jak w przypadku pomiarów niwelacyjnych, oceny dokładnościowej pomiaru dokonano przy pomocy prostej analizy statystycznej. Średnia bezwzględna wartość wyznaczonych różnic wysokości punktów wyniosła w tym przypadku 17.41 mm, z odchyleniem standardowym  $\pm 6.16$  mm. Również w tym w przypadku zakres  $\pm 30$  mm można uznać za przedział błędu granicznego. Wyniki obliczeń zobrazowano poniżej na wykresie (rys. 3.2).



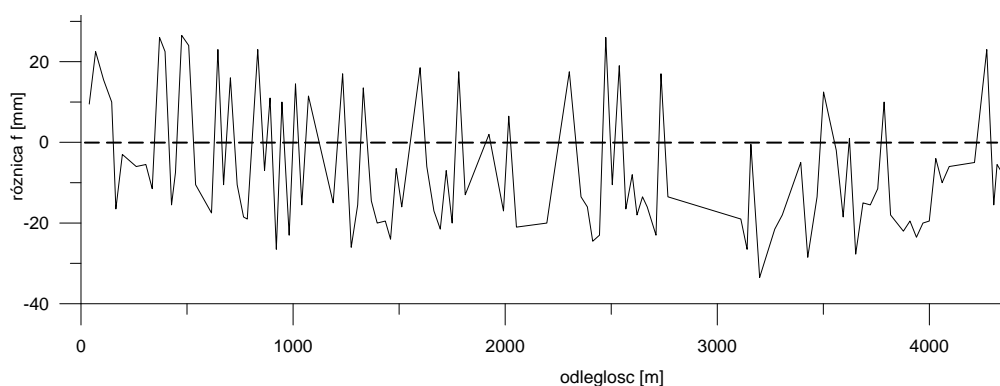
**Rys. 3.2.** Bezwzględne wartości różnic wysokości z wartością średnią i zakresem odchylenia standardowego (metoda GPS-RTK)

**Fig. 3.2.** Absolute value of differences in height with average value and scope of standard deviation (GPS-RTK method)

Wykonane w tym samym czasie pomiary niwelacyjne i satelitarne umożliwiły porównanie wyników obu metod. W tym celu obliczono różnice („odchyłki”  $f$ ) pomiędzy odpowiadającymi sobie wynikami uzyskanymi na poszczególnych punktach, przedstawionymi na rysunkach 3.1 i 3.2. Przebieg „odchyłek” (rys.3.3) nie wykazuje konkretnego trendu, wartości te są losowe,

zawierając się w przedziale od -33 mm do +29 mm. Przedział ten ze względów formalnych poddano również kontroli.

Korzystając z wyznaczonych błędów granicznych różnic wysokości punktów z obu metod, można wyznaczyć przedział wartości granicznych dla wyliczonych „odchyłek”. Wykorzystując prawo przenoszenia błędów średnich uzyskuje się  $m = \sqrt{30^2 + 20^2} = \pm 36$  mm. Jak wynika z danych przedstawionych na wykresie (rys.3.3) żadna z „odchyłek” nie przekracza wyznaczonych granic tego przedziału. Wszystkie „odchyłki”, mieszcząc się w granicach błędów ich wyznaczenia, świadczą o poprawności dotychczasowego wnioskowania na podstawie wyników wykonanych analiz dokładnościowych. Stanowi to również potwierdzenie postawionego wcześniej wniosku o stabilności powierzchni terenu, uwzględniając poziom istotności ( $\pm 2 \div 3$  cm), wynikający z wykonanych pomiarów geodezyjnych.



**Rys. 3.3.** Odchyłki różnic wysokości wyznaczonych z metody niwelacji geometrycznej i z metody GPS-RTK

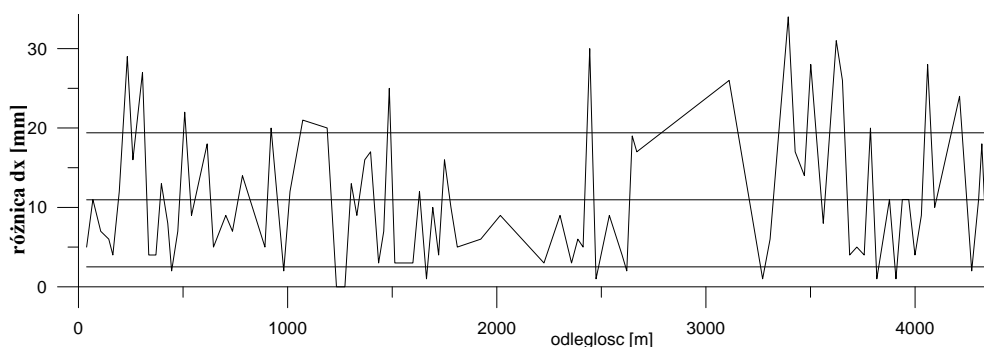
**Fig. 3.3.** Deviation between differences in height measured with precise leveling and GPS-RTK methods

Brak bieżącej działalności górniczej w rejonie obserwacji, a także stwierdzony na podstawie omówionych powyżej pomiarów wysokościowych brak istotnych ruchów (obniżeń) powierzchni terenu umożliwił przeprowadzenie analizy dokładności pomiaru sytuacyjnego GPS-RTK. W tym celu skorzystano z wyników dwóch serii pomiarowych, zakładając poziomą stałość punktów obserwowanych.

Wyniki zrealizowanych pomiarów współrzędnych płaskich umożliwiły wyznaczenie różnic  $dx$  i  $dy$  współrzędnych punktów sieci z dwóch serii obserwacyjnych. Obliczone wartości  $dx$  i  $dy$  dla poszczególnych punktów sieci osiągały różnice w przedziale  $\pm 30$  mm, który przyjęto, analogicznie jak w przypadku pomiarów wysokościowych, za zakres błędu granicznego.

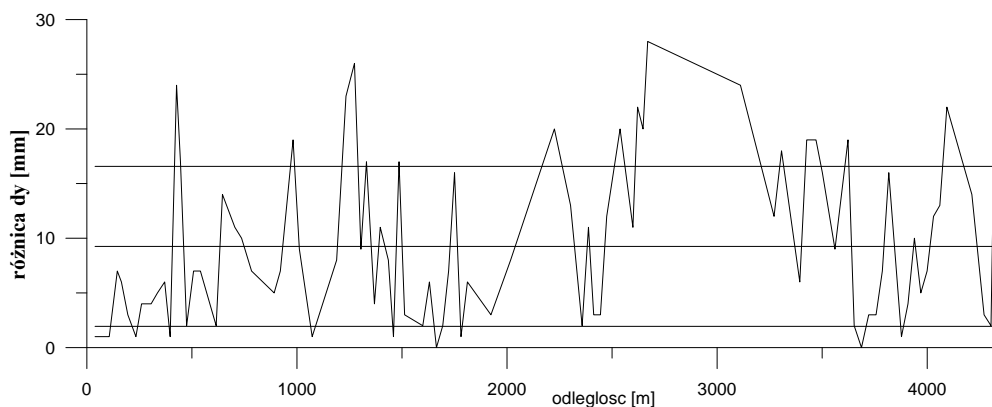
- Analizy statystyczne przeprowadzone osobno dla różnic współrzędnych  $dx$  i  $dy$  wykazały:
- średnią bezwzględną wartość różnic  $dx$  wynoszącą 11.42 mm z odchyleniem standardowym  $\pm 8.92$  mm,
  - średnią bezwzględną wartość różnic  $dy$  wynoszącą 9.59 mm z odchyleniem standardowym  $\pm 7.83$  mm.

Poniżej przedstawiono dwa wykresy bezwzględnych wartości różnic współrzędnych punktów  $dx$  (rys.3.4) i  $dy$  (rys.3.5) między wykonanymi seriami obserwacyjnymi.



**Rys. 3.4.** Bezwzględne wartości różnic dx z wartością średnią i zakresem odchylenia standardowego (metoda GPS-RTK)

**Fig. 3.4.** Absolute vale of dx differences with average value and scope of standard deviation (GPS-RTK method)



**Rys. 3.5.** Bezwzględne wartości różnic dy z wartością średnią i zakresem odchylenia standardowego (metoda GPS-RTK)

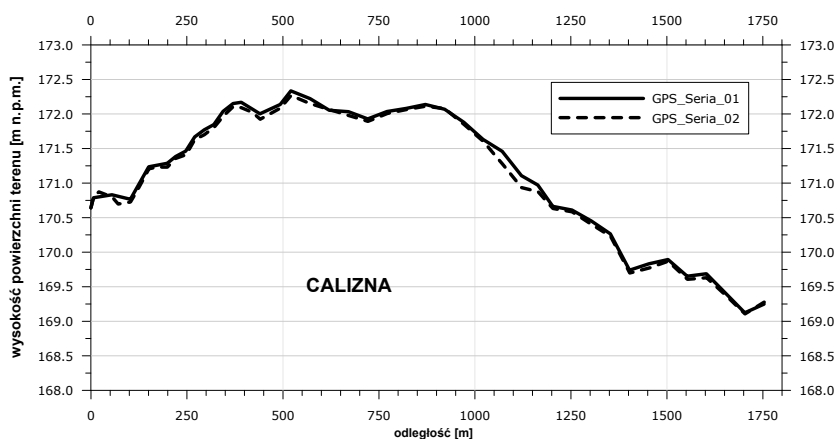
**Fig. 3.5.** Absolute vale of dy differences with average value and scope of standard deviation (GPS-RTK method)

### 3.1. Rejon II

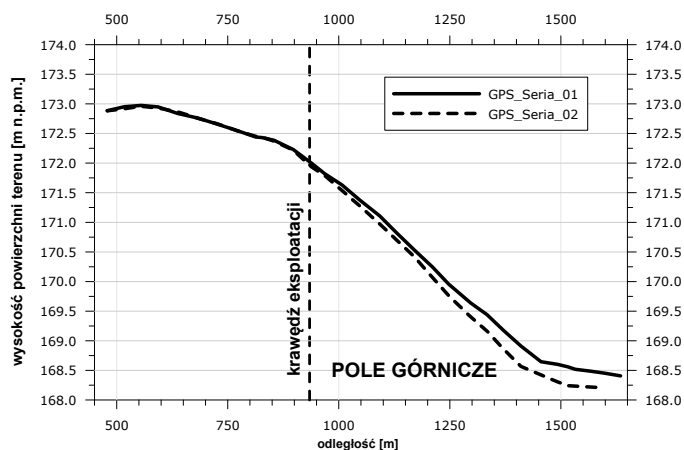
Wyznaczenie osiadań powierzchni terenu na dużym obszarze, pozbawionym odpowiedniej sieci trwale zastabilizowanych punktów geodezyjnych, bez konieczności ich stabilizacji, wymagało nowatorskiego podejścia do rozwiązania problemu.

Dysponując nowoczesną techniką pomiaru GPS-RTK, korzystając z sieci stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS, zdecydowano się na obserwacje punktów terenowych zamarkowanych jedynie przy pomocy farby, rozmieszczonych głównie wzdłuż charakterystycznych ciągów komunikacyjnych przebiegających przez teren pomiarów. Stanowiły je szczególnie drogi asfaltowe, linia kolejowa a także (w dużo mniejszym zakresie) drogi gruntowe. Niewielką część punktów obserwowanych wybrano w miejscu posadowienia trwałych szczegółów terenowych (przydrożne słupy, studzienki kanalizacyjne, itp.). Układ pomierzonych punktów utworzył ponad 30 charakterystycznych profili terenowych, obejmujących obszar o powierzchni ponad 50 km<sup>2</sup>.

W efekcie interpretacji i opracowania wyników zestawionych dwóch serii pomiarów GPS-RTK, uzyskano przekroje powierzchni terenu, przebiegające wzdłuż pomierzonych profili. Dwa z nich, charakterystyczne dla rejonu stabilnego oraz aktywnego, będącego w zasięgu wpływów eksploatacji górniczej, zaprezentowano na rysunkach 3.6 i 3.7.



Rys. 3.6. Wyniki pomiarów profilu terenowego w rejonie stabilnym  
Fig. 3.6. Measurements results of an area profile in a stable area



Rys. 3.7. Wyniki pomiarów profilu terenowego w rejonie aktywnym  
Fig. 3.7. Measurements results of an area profile in an active area

Na profilu przedstawionym na rysunku 3.6, ze względu na brak prowadzonego wydobycia w jego rejonie (w okresie objętym pomiarem), stwierdzić można brak pionowych ruchów powierzchni terenu. Świadczą o tym przede wszystkim uzyskane w miesięcznym interwale czasu wysokości odpowiadających sobie punktów. Niewielkie różnice pomierzonych wysokości punktów wynikają bezpośrednio z dokładności metody pomiarowej i przyjętej metodyki prowadzenia obserwacji. Na tej podstawie dokonano oceny dokładnościowej zrealizowanego pomiaru GPS-RTK. W tym celu wyselekcjonowano próbę o liczebności ponad 90 punktów o odpowiadających sobie parami lokalizacjach w układzie płaskim. W obu pomiarach odległość pozioma punktów mierzonych nie przekraczała 7 cm. Nie miała ona

istotnego wpływu na zmianę wysokości, wynikającą z niejednoznaczności określenia centra mierzzonego punktu.

Różnice pomierzonych wysokości punktów terenu zawierały się w zakresie od 0 cm do maksymalnie 6 cm. Lepsze rezultaty, gdzie różnice wysokości punktów nie przekraczały 3 cm, uzyskiwano w terenie o otwartym horyzoncie (szacunkowo 90% punktów pomiarowych). Średnia, bezwzględna wartość tych różnic wyniosła 2,0 cm z odchyleniem standardowym  $\pm 1,3$  cm. Ostatecznie dokładność pomiaru obniżeń powierzchni terenu oszacowano w tym przypadku na  $\pm 3,5$  cm z błędem granicznym w zakresie  $\pm 6$  cm. Ten ostatni można przyjąć praktycznie za zakres granicznych, minimalnych wartości osiadań powierzchni terenu możliwych do wykrywania przy zastosowaniu prezentowanej metodyki pomiaru.

Uwzględniając wyniki analizy dokładnościowej można natomiast stwierdzić występowanie pionowych ruchów powierzchni terenu w przypadku pomierzonego profilu terenowego zaprezentowanego na rysunku 3.7. Miesięczne obniżenia z tytułu bezpośrednich wpływów eksploatacji górniczej osiągnęły wartości do 0,25 m z przyjętą dokładnością  $\pm 0,035$  m.

#### **4. Pomiary GPS i pomiary klasyczne**

Wykorzystywanie metody GPS-RTK do pomiarów przemieszczeń punktów powierzchni terenu w rejonach eksploatacji górniczej warunkuje dokładność tych obserwacji. Od tego zależy bowiem poziom istotności otrzymywanych w końcowym efekcie wyników. Problem ten można sprowadzić do określenia pewnej granicznej wartości (w tym przypadku przemieszczenia punktu), poniżej której należy uznać, że pomierzona wielkość mieści się w zakresie dokładności metody, a zatem nie stanowi wiarygodnego wyniku zarówno pod względem ilościowym jak i jakościowym. Jeśli obserwowane zjawisko deformacji powierzchni terenu generuje wartości przemieszczeń tego terenu wykraczające poza przedziały błędów pomiarowych metody, wówczas jej stosowanie jest uzasadnione. Równocześnie występujące wartości wskaźników w zakresie tej dokładności nie mogą powodować zagrożenia dla monitorowanych obiektów, zlokalizowanych w zasięgu wpływów działalności górniczej.

Powyższe warunki wystąpiły w przypadku dwóch zaprezentowanych w artykule przykładów. Zarówno przemieszczenia poziome jak i obniżenia powierzchni terenu o wartościach do 3 cm nie zagrażały pracom budowlanym (szczególnie ziemnym) przy realizacji inwestycji drogowej nad zrobami zakończonej eksploatacji górniczej. W zakresie deformacji ciągłych (Popiołek 2009) nie stanowią one także poważnego zagrożenia dla zrealizowanej inwestycji, nie mając istotnego wpływu na bezpieczeństwo jej użytkowania. To samo należy stwierdzić w aspekcie monitorowania obniżeń terenu górniczego, zagrożonego występowaniem zalewisk. Dokładność pomiaru obniżeń w zakresie  $\pm 6$  cm jest w tym przypadku wystarczająca.

W obu omówionych przypadkach masowe pozyskiwanie danych, stosowanymi od lat w rejonach górniczych metodami klasycznymi (niwelacja, tachimetria), stało się ekonomicznie nieopłacalne. Metody te wymagają bowiem większych zespołów ludzi, są bardziej czasochłonne i w każdym przypadku konieczna jest stabilizacja kosztownej sieci obserwacyjnej, która w późniejszym czasie musi być utrzymywana w należytym stanie. Dodatkowy problem stanowi zapewnienie odpowiednio stabilnych punktów nawiązania, które często zlokalizowane są w znacznych odległościach od rejonów prowadzenia obserwacji.

Pomiary klasyczne, zapewniające wyższe (subcentymetrowe) dokładności, należy prowadzić w celach monitorowania mało odpornych na wpływy górnicze obiektów, przy



których prezentowana technika GPS, ze względów dokładnościowych lub ewentualnie z powodu niekorzystnych warunków terenowych, nie może być wykorzystana.

## 5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki i analizę pomiarów przemieszczeń powierzchni terenu, zrealizowanych na terenach górniczych metodą GPS-RTK, zarówno na zastabilizowanej sieci punktów geodezyjnych jak również na punktach zamarkowanych. W przypadku pomiarów wysokościowych sieci trwałej wyniki skonfrontowano z rezultatem klasycznych pomiarów niwelacji precyzyjnej. Zrealizowane pomiary, tak klasyczne jak i satelitarne (prowadzone z wykorzystaniem sieci ASG-EUPOS), każdorazowo oceniono pod względem dokładnościowym, co umożliwiło ostatecznie wnioskowanie o ich przydatności do wyznaczania przemieszczeń powierzchni terenu w konkretnych zastosowaniach.

Porównanie wyników pomiarów wysokościowych (różnic wysokości punktów sieci trwałej) zrealizowanych w tym samym czasie metodą niwelacji geometrycznej i metodą GPS-RTK wykazało zbieżność wyników, z uwzględnieniem uzyskanych dokładności pomiarów. W analizowanym przypadku, głównie ze względu na problem stałości punktów nawiązania pomiaru niwelacyjnego na terenie górniczym, dokładność pomiarów niwelacyjnych tylko nieznacznie przewyższała dokładność pomiaru wysokościowego GPS-RTK.

Pomiary satelitarne prowadzone w trybie RTK, w sprzyjających warunkach terenowych umożliwiają szybkie pozyskiwanie informacji o obniżeniach punktów z dokładnością około  $\pm 3$  cm. Okazuje się, że takie wyniki można uzyskać niezależnie od sposobu stabilizacji punktów, wystarczające jest ich zamarkowanie na stabilnym podłożu obiektów trwale związanych z gruntem. Podobny rezultat dokładnościowy otrzymano w przypadku pomiarów przemieszczeń poziomych, jednak wówczas pomiar GPS-RTK musi być realizowany w oparciu o punkty z precyzyjnie oznaczonym centrum.

W przypadku terenów górniczych za bardziej ekonomiczną metodę pomiarów obniżeń należy uznać pomiar GPS-RTK, wykorzystujący sieć stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS. Czas przeprowadzenia pomiarów klasycznych (niwelacja precyzyjna), włącznie z koniecznością kontroli stałości punktów nawiązania, jest znacznie dłuższy, a liczebność zespołu pomiarowego większa (minimum 3 osoby, dla pomiaru GPS-RTK wystarczy 1 osoba). Powoduje to, że koszt realizacji pomiarów klasycznych jest znacznie wyższy, przy uzyskaniu podobnych dokładności wyników, wystarczających dla monitorowania obniżeń powierzchni terenu, przekraczających zazwyczaj znacznie poziom centymetrowy. Wniosek ten może dotyczyć również przemieszczeń poziomych, o ile centymetrowa dokładność ich wyznaczania nie zawiera się w zakresie powodującym zagrożenie dla obiektów o niskiej wytrzymałości. Pomiar GPS-RTK daje w tym względzie pogląd o przemieszczeniach poziomych gruntu, zarówno co do wartości jak i kierunku.

Reasumując, ostatecznie należy stwierdzić, że metoda GPS-RTK jest w pełni przydatna do wyznaczenia przemieszczeń powierzchni terenu w rejonie podziemnej eksploatacji górniczej, umożliwiając monitorowanie ruchów tej powierzchni, zarówno pionowych jak i poziomych, na założonym poziomie istotności.

## **Literatura**

- [1] Hejmanowski R., Sopata P., Stoch T., Wójcik A. 2010: Zintegrowane pomiary obniżeń powierzchni terenu górniczego Puchaczów V w oparciu o technologię InSAR. Fundacja dla Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Praca naukowo-badawcza, (niepublikowana).
- [2] Hejmanowski R., Sopata P., Stoch T., Wójcik A. 2011: Wielkoobszarowe pomiary obniżeń powierzchni terenu górniczego z wykorzystaniem techniki GPS-RTK. Materiały konferencyjne XI Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, 18-20 maja 2011 r. Prace Naukowe GIG, kwartalnik nr 2/1/2011, 170–177.
- [3] Popiołek E. 2009: Ochrona Terenów Górniczych. Wydawnictwa AGH, Kraków.
- [4] Sopata P., Stoch T. 2011: Ocena przydatności pomiarów GPS-RTK do wyznaczania wartości obniżeń terenu w oparciu o przestrzenną sieć obserwacyjną. Materiały konferencyjne XI Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, 18-20 maja 2011 r. Prace Naukowe GIG, kwartalnik nr 2/1/2011, 474–482.
- [5] Śliwa K. 2010: Ocena możliwości zastosowania pomiarów GPS do wyznaczenia przemieszczeń punktów przestrzennej sieci obserwacyjnej nad podziemną eksploatacją górniczą. Praca dyplomowa, (niepublikowana).

## **Usage of GPS-RTK method to measure the spatial displacement of the mining areas**

### Key words

Mining areas, impact of mining exploitation, GPS-RTK, ASG-EUPOS, vertical and diagonal area displacement

### Summary

The measurements of the spatial deformation in the areas within the impact of underground mining exploitation have been carried out in Poland for dozens of years. Those measurements mostly cover vast areas of dozens of square kilometers. As a result, surveying observations of the aforementioned changes are both time and labour-consuming. In order to minimize amount of work and time, new technologies are introduced. One of them is GPS satellite measurement method, which when operated in RTK mode can provide information on spatial point displacement in a relatively short time. Precision of the obtained results requires further discussion when it comes to the size of the changes observed. This paper presents the possible use of the GPS measurement technique to measure the displacements of the mining areas. Special attention was paid to the precision aspect of the method that uses a modern network of permanent ASG-EUPOS stations. To obtain those results numerous surveying observations made in the mining areas (including the ones made by the author of this paper) were used.

*Przekazano: 30 marca 2012 r.*