

Ryszard HEJMANOWSKI, Agnieszka MALINOWSKA,
Tomasz STOCH
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków
Marek WARCHAŁA
KGHM Polska Miedź SA O/ZG „Rudna”, Polkowice

MAPA DYNAMICZNA MIASTA POLKOWICE – PROJEKT NOWOCZESNYCH POMIARÓW DEFORMACJI ZG „RUDNA”

Streszczenie. Technologie pomiarów GPS spełniają współczesne wymagania dokładnościowe, odnoszące się do monitoringu deformacji na terenach górniczych. Wyniki tego typu pomiarów dostarczają pełniejszych informacji o ruchach punktów niż np. klasycznych pomiarów geodezyjnych realizowanych na liniach obserwacyjnych. ZG „Rudna” realizują od kilku lat projekt pod nazwą „Mapa dynamiczna miasta Polkowice”, którego celem jest badanie przemieszczeń terenu w filarze ochronnym miasta Polkowice. W referacie zaprezentowano założenia i efekty realizacji projektu. W przeprowadzonych analizach zaproponowano nowatorską interpretację wyników pomiarów prowadzonych na terenach podlegających wpływom eksploatacji ZG „Rudna”.

DYNAMIC MAP OF THE POLKOWICE CITY AREA” – PROJECT OF MODERN DEFORMATION SURVEYING OF “RUDNA” COPPER MINE

Summary. GPS surveying fulfill actual accuracy requirements corresponding to monitoring of surface subsidence in the mining area. Results of this kind of measurements supply fullest information about surface movements. The “Rudna” mine has realized „Dynamic map of the Polkowice city area” project since 2000. Purpose of this project is an examination of surface movements in protective pillar of the Polkowice city. Goals and effects of the project were discussed in this article. Innovatory interpretation of measurement results was presented as new suggestion to improve project viability.

1. Projekt „mapa dynamiczna miasta Polkowice” – charakterystyka i założenia

W granicach filara ochronnego miasta Polkowice wykonywane są od wielu lat różnego rodzaju pomiary deformacji powierzchni terenu. Są to między innymi klasyczne pomiary podstawowej osnowy wysokościowej LGOM oraz szczegółowej sieci wysokościowej O/ZG Rudna (linie obserwacyjne, repery rozproszone ścienne i ziemne). Od kilku lat wykonywane są także pomiary deformacji z wykorzystaniem techniki GPS. Są to pomiary wykonywane w ramach podstawowej i szczegółowej osnowy GPS LGOM, pomiarów przemieszczeń punktów w granicach terenu górniczego O/ZG Rudna oraz pomiary powstrząsowe GPS. Jednak szczególne znaczenie dla miasta Polkowice mają pomiary deformacji powierzchni terenu wykonywane w ramach pracy „Mapa dynamiczna miasta Polkowice”.

W 1998 r. została opracowana „Koncepcja budowy osnowy realizacyjnej XYZ dla terenów niecki dynamicznej na przykładzie miasta Polkowice, opartej na technologii GPS”. Koncepcja ta przewidywała pomiar klasyczny osnowy realizacyjnej w mieście Polkowice dowiązanej do punktów GPS. Koncepcja ta w późniejszym czasie uległa jednak zmianie i aktualnie wszystkie punkty sieci mierzone są wyłącznie przy zastosowaniu techniki GPS. Pierwszy pomiar w ramach tematu „Mapa dynamiczna miasta Polkowice” został wykonany w 2000 r. i od tego czasu pomiary wykonywane są corocznie. Pomiary początkowo obejmowały ok. 120 punktów, a od 2003 r. obejmują ok. 150 punktów pomiarowych położonych w rejonie miasta Polkowice.

Na punkty sieci składają się specjalnie wytypowane, przydatne do pomiarów GPS punkty linii obserwacyjnych, repery rozproszone ziemne oraz punkty osnów państwowych. Przed przystąpieniem do pomiarów planowane są sesje pomiarowe, uwzględniające lokalizację punktów, optymalizację czasu przejazdów między punktami sieci w poszczególnych sesjach oraz geometrię sieci. Jest także uwzględniany rozkład geometryczny satelitów (współczynnik PDOP) oraz liczba satelitów w czasie danej sesji pomiarowej.

Pomiary nawiązywane są do punktów odniesienia położonych poza zasięgiem eksploatacji górniczej, a także poza zasięgiem wieloprzestrzennej niecki odwodnieniowej. Są to punkty osnowy podstawowej GPS LGOM wielokrotnie wykorzystywane przy różnego rodzaju pomiarach GPS wykonywanych od 1993 r. w rejonie LGOM przez AGH Kraków, UWM Olsztyn czy OPGK Wrocław. Pomiary każdorazowo dowiązywane są także do jednego punktu sieci państwowej EUREF.

Pomiary wykonywane są metodą statyczną GPS przy wykorzystaniu odbiorników Trimble 4000 SSI, Trimble 5700 i 5800 oraz Spectra Precision Geotracer. Długość sesji pomiarowych wynosi 90-120 minut w zależności od długości wektorów.

Obliczenia wykonywane są za pomocą oprogramowania Trimble Total Control. Do wyrównania ścisłego w układzie satelitarnym przyjmowany jest punkt EUREF.

Współrzędne punktów określone są w układach państwowych 1965 i 2000 oraz lokalnym układzie współrzędnych „Pieszkowice”. Transformacja z układu satelitarnego na układ państwowy 1965 wykonywana jest za pomocą programu TRANSWGS. Do transformacji przyjmuje się punkty nawiązania jako punkty łączne. Transformacja z układu państwowego 1965 na układ lokalny „Pieszkowice” wykonywana jest na podstawie wartości współczynników według odpowiednich wzorów. Wykorzystane parametry transformacji stosowane są dla obszaru LGOM od wielu lat, sposób przeliczenia jest jednoznaczny i nie wprowadza dodatkowej błędności punktów. Przeliczenie z układu satelitarnego do układu państwowego 2000 wykonywane jest według parametrów odwzorowania Gaussa-Krugi dla południka 15, zgodnie z Instrukcją Techniczną G-2 i Wytycznymi technicznymi G-1.10.

Uzyskiwane końcowe dokładności położenia punktów mieszczą się poniżej 10 [mm].

Na podstawie otrzymanych wyników tworzone są izoliniowe mapy przemieszczeń poziomych i pionowych terenu w rejonie miasta Polkowice.

Operat z wynikami pomiaru (współrzędnymi punktów w różnych układach współrzędnych) jest także każdorazowo przekazywany do Powiatowego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Polkowicach. Dzięki temu z aktualnych współrzędnych punktów mogą korzystać geodeci przy różnego rodzaju pomiarach powierzchniowych. Ponieważ punkty sieci „Mapy dynamicznej miasta Polkowice” były dobierane w miarę możliwości w ten sposób, aby stanowiły pary lub triady punktów, tj. dwa lub trzy sąsiednie punkty na linii obserwacyjnej, umożliwia to obecnie bezproblemowe dowiązywanie pomiarów klasycznych.

2. Dokładnościowe aspekty projektu a klasyczne pomiary deformacji

Pomiary deformacji na terenach górniczych należą do pomiarów o dużej precyzji. Wymogi dotyczące dokładności stawiane urządzeniom pomiarowym są odpowiednio wyższe niż przy zwykłych pracach geodezyjnych. W prowadzonych obecnie metodami klasycznymi obserwacjach najczęściej wykorzystuje się elektroniczne tachimetry precyzyjne. Współczesne

instrumenty charakteryzują się wysoką dokładnością pomiaru zarówno kąta (średni błąd pomiaru: $\pm 1'' - 3''$), jak i odległości (błąd standardowy dalmierza: $\pm 1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$).

Stosowane przy klasycznych pomiarach linii obserwacyjnych niwelatory precyzyjne to obecnie instrumenty elektrooptyczne wykorzystujące do pomiaru łąty z naniesionym kodem kreskowym. Dokładność tego typu urządzeń przy pomiarze z użyciem inwarowych łąt kodowych jest bardzo wysoka: $mH < \pm 1 \text{ mm/km}$ ciągu niwelacyjnego.

Coraz częściej stosowane są pomiary hybrydowe (Pielok, 2002) obejmujące tachimetryczne lub poligonowe wyznaczanie położenia punktów pomiarowych (szczególnie w przypadku linii obserwacyjnych) w nawiązaniu do punktów odniesienia wyznaczanych w drodze pomiarów GPS. Daje to istotne korzyści, jeśli chodzi o nakład pracy i czas przeznaczony na wykonanie pomiarów. Osiągana dokładność wyznaczenia wartości wskaźników deformacji metodami hybrydowymi podaje tabela 1 (Stoch T., Wójcik A., 2000).

Tabela 1

Błędy średnie określenia wskaźnika deformacji wyznaczone bezpośrednio z pomiarów na linii obserwacyjnej

| | Obniżenie w [mm] | Odkształcenie poziome ε [mm/m] | Nachylenie T [mm/m] |
|-------------------------------------|-----------------------------|---|------------------------------|
| Błąd średni wskaźnika deformacji | ± 4 do ± 8 | $\pm 0,08$ do $\pm 0,20$ | $\pm 0,14$ do $\pm 0,23$ |
| ŚREDNIO | $\pm 4,8$ | $\pm 0,12$ | $\pm 0,19$ |

Technologia GPS jest coraz szerzej stosowana w pomiarach deformacji na terenach górniczych. Wielu specjalistów podkreśla zalety pomiarów GPS jako pomiarów nawiązawczych oraz pomiarów przemieszczeń punktów kontrolnych (Cacoń S., 1999, Bałut A., 2001; Góral W., Szewczyk J., 1997; Chrzanowski A. i inni 1988; Sroka A., Ballhaus N., Korittke N., 1997; Popiołek E., Hejmanowski R., Wójcik A., 1997; Pielok J., 2002). Technologia ta znajduje jednak coraz częściej zastosowanie w pomiarach przemieszczeń sieci punktów na terenach podlegających deformacjom górniczym. Uzyskiwana dokładność pomiarów GPS zależy w głównej mierze od metody pomiaru, tzw. otwartości horyzontu, długości sesji pomiarowej czy warunków atmosferycznych. Dla precyzyjnego wyznaczenia położenia punktu stosuje się różnicową metodę statyczną, gdzie długości sesji pomiarowych wynoszą od kilkudziesięciu minut do kilku godzin. Opisywana przez autorów niemieckich (Sroka A., Ballhaus N., Korittke N., 1997) dokładność wyznaczenia położenia punktu sieci obserwacyjnej przy tego rodzaju pomiarach nie przekracza $m_p = \pm 3 \div 4 \text{ mm}$. J. Pielok (2002)

podaje błąd położenia punktu $m_p \leq \pm 5$ mm. Przy zastosowaniu szczególnych rygorów pomiarowych, odpowiednio długich sesji i właściwej konfiguracji sieci obserwacyjnej można osiągnąć większą dokładność rzędu $\pm 2\div 3$ mm (Cacoń S., 1999, Bałut A., 2001), a nawet $m_p = \pm 1\div 2$ mm (Góral W., Szewczyk J., 1997). Tak niewielkie błędy charakteryzują jedynie wewnętrzną dokładność sieci nawiązanej do punktów referencyjnych (np. sieci POLREF lub EUREF) uznawanych za bezbłędnie wyznaczone. Z reguły tak dokładne pomiary prowadzone są w celach badawczych, zatem można przyjąć, że realna dokładność pomiarów GPS charakteryzowana średnim błędem położenia punktu wynosi $m_p = \pm 3\div 5$ mm.

Porównanie dokładności w odniesieniu do wyznaczanych wartości wskaźników deformacji z pomiarów klasycznych i prowadzonych techniką GPS nie jest łatwe ze względu na specyfikę uzyskiwanych danych. Przykładowo, wyznaczanie odkształceń poziomych z pomiaru GPS daje gorsze rezultaty niż w przypadku pomiaru tachimetrem precyzyjnym. Natomiast wykorzystanie pomiarów klasycznych do uzyskania wektorów przemieszczeń bezwzględnych będzie zdecydowanie mniej korzystne od zastosowania pomiarów GPS. Zastrzeżenia odnośnie do dokładności metody GPS dotyczyły dotychczas pomiaru pionowej współrzędnej punktów wykorzystywanej do obliczenia obniżeń terenu. Na chwilę obecną precyzyjna niwelacja daje lepsze rezultaty. Prowadzenie jednak wielokilometrowych ciągów niwelacyjnych zwiększających błędy m_H w stosunku do dokładności metody GPS jednakowej dla wszystkich wyznaczanych punktów powoduje, że wyniki uzyskiwane tą metodą mają coraz szersze zastosowanie w analizach deformacji na terenach górniczych.

Dokładności prowadzonych obecnie pomiarów GPS są w zupełności wystarczające do określania nawet stosunkowo niewielkich wartości deformacji. Najlepiej jednak sprawdzają się w warunkach, gdzie eksploatacja prowadzona jest szybko i wpływy uwidaczniają się na powierzchni w krótkim czasie, a ich wartości są kilkakrotnie większe od błędu średniego obserwacji.

W projekcie „mapa dynamiczna miasta Polkowice” wykorzystuje się wysokiej klasy sprzęt pomiarowy, odpowiednio planuje się sesje pomiarowe na podstawie przemyślanej konfiguracji sieci obserwacyjnej. Te elementy powodują, że osiągnięta dokładność wykonywanych pomiarów jest bardzo wysoka. Szczególnie współrzędne w układzie WGS84 charakteryzują się małymi błędami. Zwiększenie błędów położenia punktów pomiarowych powoduje transformacja współrzędnych punktów z układu WGS84 do układów 1965, 2000 i lokalnego Pieszkowice.

Zgromadzony przez ZG „Rudna” materiał dokumentacyjny zawiera dane obliczeniowe, określające błędy wszystkich współrzędnych mierzonych punktów X, Y i H, a także błędy położenia punktów. Tabela 2 prezentuje wartości średnie i ekstremalne błędów współrzędnych (m_x , m_y , m_H) oraz błędów położenia punktów (m_p).

Tabela 2

Uzyskane dokładności pomiarów sieci GPS

| | 2000 [mm] | 2001 [mm] | 2002 [mm] | 2003 [mm] | 2004 [mm] | 2005 [mm] |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Wyrównanie wyników obserwacji w układzie satelitarnym WGS-84 | | | | | | |
| Zakres m_x , m_y | 3.2 – 17.0 | 0.9 – 7.2 | 0.7 – 5.3 | 1.1 – 5.0 | 0.6 – 3.9 | 0.0 – 2.8 |
| Zakres m_H | 8.8 – 32.6 | 2.7 – 11.5 | 2.6 – 12.0 | 0.8 – 3.4 | 1.6 – 10.3 | 0.0 – 3.5 |
| Średnia wartość m_H | ± 10.2 | ± 2.4 | ± 3.1 | ± 2.2 | ± 1.8 | ± 1.5 |
| Średnia wartość m_p | ± 15.7 | ± 4.1 | ± 5.1 | ± 3.5 | ± 2.8 | ± 1.5 |
| Transformacja z układu satelitarnego WGS-84 do układu państwowego „1965” | | | | | | |
| Zakres m_x , m_y | 3.0 – 4.0 | 2.0 – 3.0 | 4.0 – 7.0 | 3.0 – 6.0 | 5.0 – 9.0 | 0.0 – 11.3 |
| Zakres m_H | 9.0 – 21.0 | 3.0 – 6.0 | 4.0 – 7.0 | 3.0 – 6.0 | 6.0 – 11.0 | 3.0 – 6.0 |
| Średnia wartość m_H | ± 4.3 | ± 2.9 | ± 5.8 | ± 4.9 | ± 7.3 | ± 7.2 |
| Średnia wartość m_p | ± 10.0 | ± 5.0 | ± 4.1 | ± 6.5 | ± 7.1 | ± 3.5 |

Są to błędy obliczone po wyrównaniu w układzie WGS-84 oraz po dokonaniu transformacji, a zatem obarczone niekorzystnym wpływem procedury transformacyjnej, zwłaszcza przy transformacji z układu WGS84 do państwowego układu współrzędnych „1965”. Transformacja do układu lokalnego „Pieszkowice” jest obliczeniem jednoznacznym i nie wprowadza dalszych błędów z tytułu transformacji współrzędnych.

Z tabeli 2 wynika, że średnia dokładność pomiaru w poszczególnych latach nie zmienia się w sposób istotny. Zauważalnie wzrosła w ostatnim roku dokładność wyznaczenia pionowej współrzędnej punktów (WGS-84), co może wynikać ze stosowania coraz doskonalszego sprzętu oraz większego doświadczenia w planowaniu sesji pomiarowych, a także w wyborze lokalizacji punktów pomiarowych.

Wartości średnich błędów współrzędnych obliczonych ze wszystkich wykonanych dotychczas obserwacji wynoszą:

$$m_x = \pm 3.8 \text{ mm}$$

$$m_y = \pm 3.8 \text{ mm}$$

$$m_H = \pm 6.0 \text{ mm}$$

oraz średni błąd położenia punktu:

$$m_p = \pm 5.4 \text{ mm}$$

Biorąc pod uwagę, że teren miasta Polkowice w dalszym ciągu poddawany jest intensywnym deformacjom, są to wartości, które pozwalają z dużym współczynnikiem pewności wykrywać zarówno poziome, jak i pionowe ruchy punktów powierzchni terenu.

Poprawę dokładności wykonywanych pomiarów można byłoby uzyskać poprzez wydłużenie czasu trwania sesji pomiarowych, nawet do kilku godzin, lecz ze względu na specyfikę pomiaru na terenach górniczych oraz liczbę mierzonych punktów sieci obserwacyjnej mogłoby to nie dać spodziewanych rezultatów. Uzyskiwana aktualnie dokładność przy sesjach obserwacyjnych trwających od 60-90 min jest zadowalająca.

3. Możliwości analizy i interpretacji przemieszczeń punktów powierzchni terenu uzyskanych z pomiarów satelitarnych

Zastosowanie technik GPS do monitoringu deformacji terenu pozwoliło na zebranie obszernego materiału obserwacyjnego, który umożliwił znacznie szerszą niż wykonywana dotychczas, analizę tego zjawiska. Wstępne opracowanie zebranego materiału obejmowało wyznaczenie zmian położenia punktów zarówno w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej. W tym celu dla rocznego interwału czasowego wyznaczono składowe przemieszczeń poziomych (u_x , u_y) i pionowych (u_z):

$$u_{x_{i,i+1}} = x_{i+1} - x_i, \quad \text{dla } i=2000 \dots 2005 \quad (1)$$

$$u_{y_{i,i+1}} = y_{i+1} - y_i, \quad \text{dla } i=2000 \dots 2005 \quad (2)$$

$$u_{z_{i,i+1}} = z_{i+1} - z_i, \quad \text{dla } i=2000 \dots 2005 \quad (3)$$

gdzie:

x_i , y_i , z_i – wartości współrzędnych płaskich i rzędnej wysokościowej, pomierzonych w kolejnych latach.

Ponadto wyznaczono w interwałach rocznych przemieszczenia poziome wypadkowe (u_{xy}) oraz przemieszczenia całkowite (u_c):

$$u_{xy_{i,i+1}} = \sqrt{(u_{x_{i,i+1}})^2 + (u_{y_{i,i+1}})^2}, \quad \text{dla } i=2000 \dots 2005 \quad (4)$$

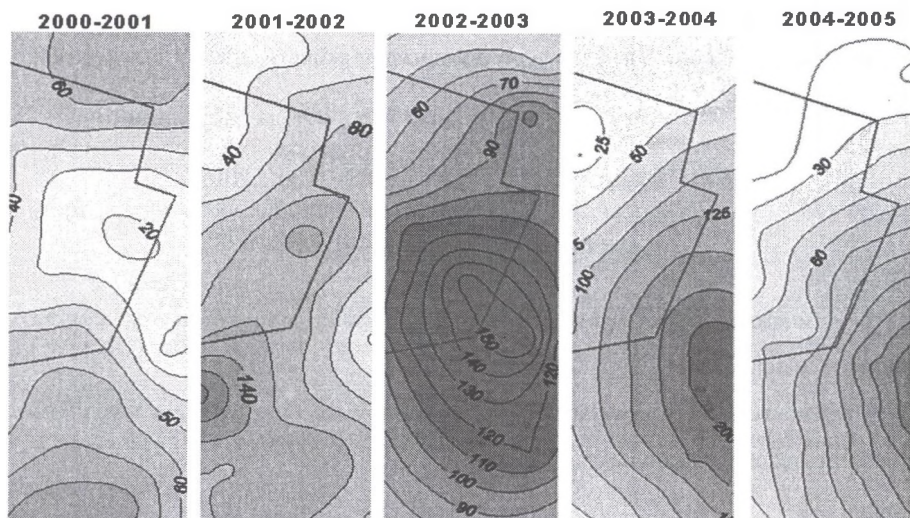
$$u_{c_{i,i+1}} = \sqrt{(u_{x_{i,i+1}})^2 + (u_{y_{i,i+1}})^2 + (u_{z_{i,i+1}})^2}, \quad \text{dla } i=2000 \dots 2005 \quad (5)$$

Dodatkowo wyznaczono przemieszczenia poziome wypadkowe i przemieszczenia całkowite, które wystąpiły w przeciągu całego okresu prowadzenia obserwacji, tj w okresie 2000-2005. Wizualizację powyższych danych przeprowadzono w dwojaki sposób, poprzez wykonanie map izol linii przemieszczeń poziomych, pionowych i całkowitych oraz poprzez prezentację

przemieszczeń całkowitych w formie wektorów. Narzędziem wykorzystanym do sporządzenia mapy wektorów była platforma typu GIS, dla której stworzony został serwer tekstowy, umożliwiający wektorową wizualizację przemieszczeń poziomych terenu. Podkreślić należy, że wykorzystanie programu typu GIS do analiz dynamiki obserwowanej deformacji terenu pozwoliło na zintegrowanie wielu danych dotyczących zarówno prowadzonej eksploatacji, jak i zjawisk jej towarzyszących, występujących na powierzchni terenu. Dzięki temu możliwe było szersze niż stosowane dotychczas spojrzenie na przebieg zjawiska deformacji.

3.1. Analiza przemieszczeń poziomych

Na podstawie analizy map izolinii przemieszczeń poziomych w interwałach rocznych możliwe było określenie obszarów, na których zarejestrowano wzmożone ruchy poziome punktów obserwacyjnych. Ponadto określono przedziały czasowe, dla których dynamika poziomych ruchów powierzchni terenu była największa.

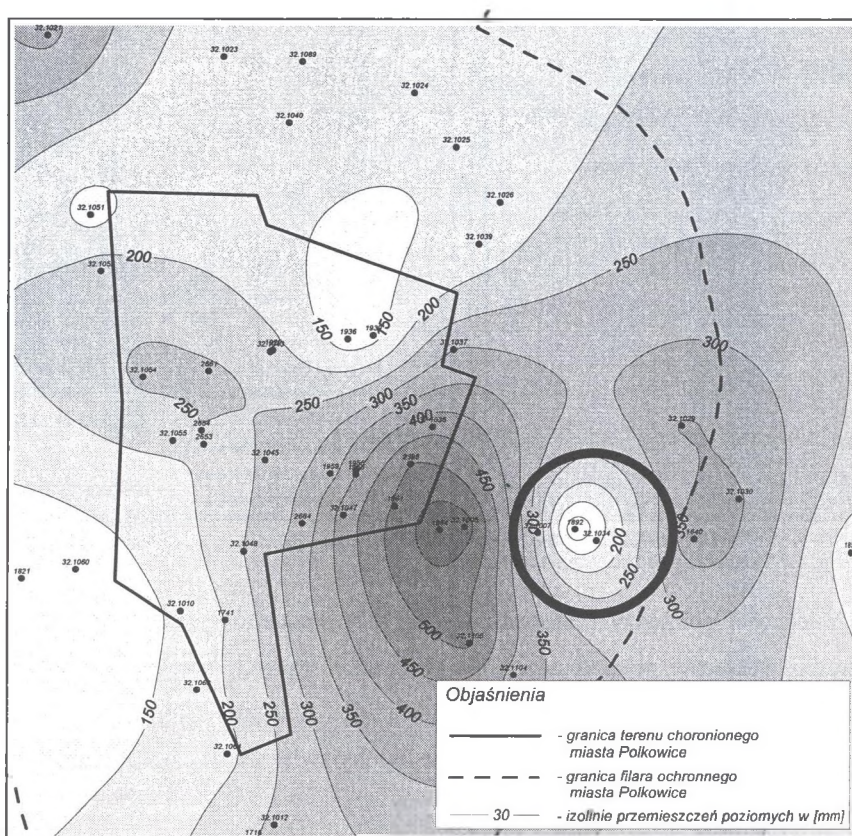


Rys. 1. Porównanie przebiegu izolinii przemieszczeń poziomych w latach 2000-2005
Fig. 1. Comparison of horizontal displacement in years 2000-2005

W celu wizualizacji przemieszczeń poziomych, jakie wystąpiły na powierzchni terenu w przeciągu 5 lat, wyinterpolowano mapę izolinii przemieszczeń poziomych wypadkowych. Podkreślić należy, że mapa ta pozwala na określenie całkowitych wartości przemieszczeń poziomych jedynie w przypadku, gdy wektory przemieszczeń poziomych narastały w tym

samym kierunku. Natomiast gdy punkt pomiarowy w przeciągu 5 lat przemieścił się w jednym kierunku, a następnie wrócił do położenia początkowego, wartości zaprezentowane na mapie przedstawiać będą zafałszowany lokalnie obraz kształtowania się przemieszczeń poziomych (zaznaczony fragment na rysunku 2).

Zaprezentowana mapa (rys. 2) przedstawia powierzchniowy rozkład całkowitych przemieszczeń poziomych w okresie 5 lat. W strefie oznaczonej czarnym kółkiem zaobserwowano przemieszczanie się punktów, początkowo w kierunku zachodnim, a następnie w kierunku wschodnim. Dlatego też wyinterpolowane wartości przemieszczeń są niewielkie w stosunku do pobliskich rejonów. Nie należy jednak wykluczać tego typu map z analiz przemieszczeń, gdyż w większości przypadków mogą one stanowić cenną ilustrację ruchów powierzchni terenu na większych obszarach.

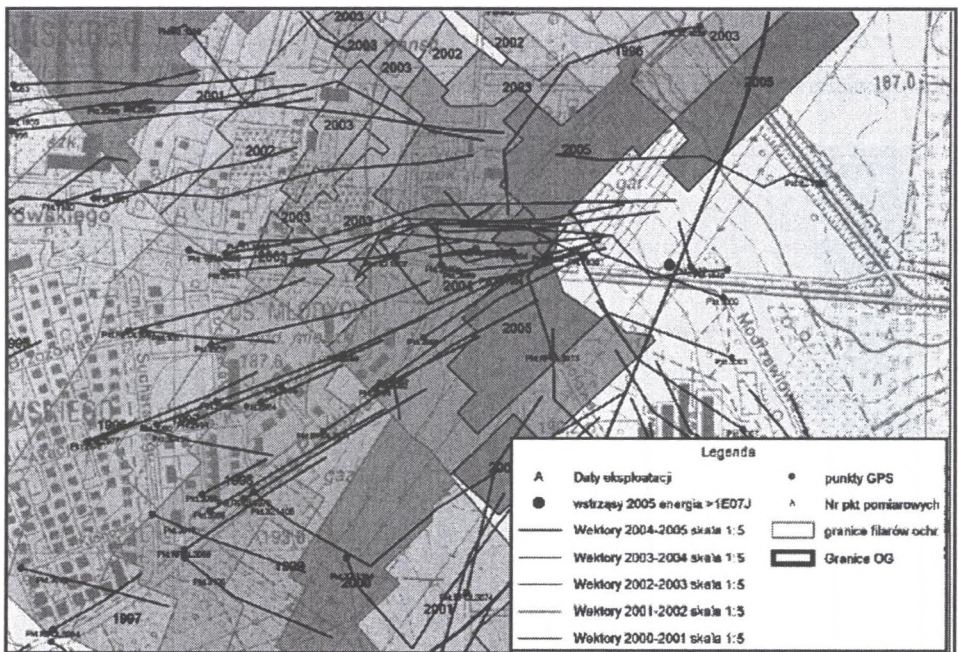


Rys. 2. Izolinie przemieszczeń poziomych w latach 2000-2005

Fig. 2. Horizontal displacement in years 2000-2005

Innym, alternatywnym sposobem analiz przestrzennych rozkładów przemieszczeń są mapy wektorów przemieszczeń poziomych, które wygenerowano dla poszczególnych

interwałów pomiarowych (2000-2005). W utworzonej bazie zintegrowano dane dotyczące eksploatacji prowadzonej w okresie 1990-2005, lokalizacji epicentrów wstrząsów o energii większej niż 10^7 J, które wystąpiły w okresie 2000-2005 oraz wektorów przemieszczeń poziomych w latach 2000-2005. Takie podejście pozwoliło na prześledzenie trajektorii ruchu poziomego punktów obserwacyjnych w powiązaniu z kształtowaniem się w czasie eksploatacji. Stwierdzono jednoznaczną korelację kierunków wektorów przemieszczeń poziomych oraz ich wartości z lokalizacją parcel eksploatacyjnych oraz ich rozwojem i koncentracją w czasie.

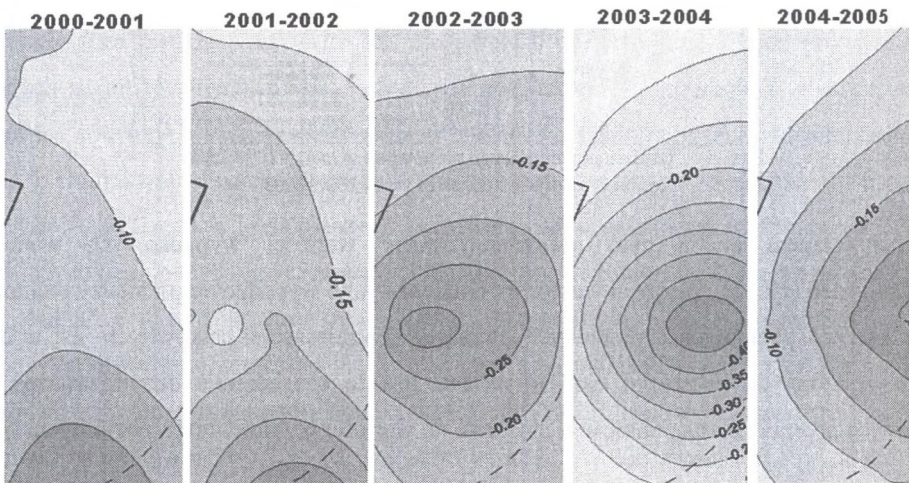


Rys. 3. Wektorowa mapa przemieszczeń poziomych
Fig. 3. Vector map of horizontal displacement

Analiza zależności pomiędzy miejscami wystąpienia epicentrów wstrząsów a kierunkami i wartościami wektorów przemieszczeń nie wykazała istotnych korelacji. Zaobserwowano zaledwie jeden prawdopodobny przypadek takiego związku. W celu wychwycenia ewentualnych zależności tego typu uzasadnione byłoby zwiększenie częstotliwości pomiarów przemieszczeń.

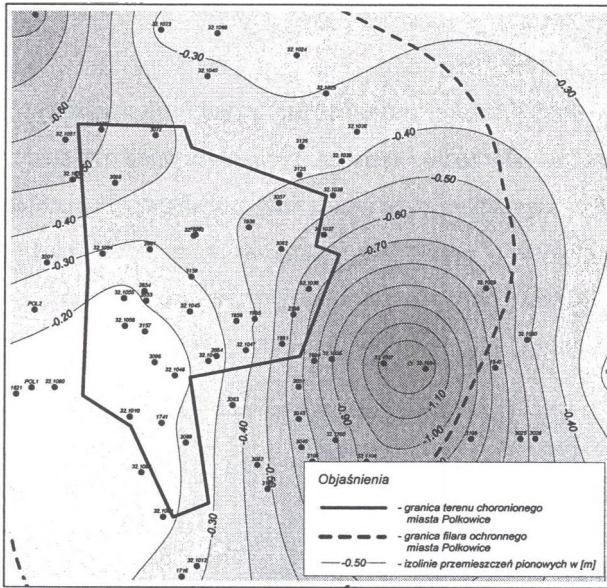
3.2. Analiza przemieszczeń pionowych

Uzyskana wysoka dokładność pomiaru GPS składowej pionowej wektora przemieszczeń punktów pozwoliła na włączenie wyników tych obserwacji do analizy deformacji terenu. Podobnie jak w przypadku przemieszczeń poziomych sporządzono mapy izolinii przemieszczeń pionowych w interwałach rocznych oraz w okresie pięcioletnim (2000-2005). Przedstawienie osiadań w okresach rocznych pozwoliło na prześledzenie dynamiki osiadań poprzez określenie stref oraz okresów największych przemieszczeń pionowych punktów (rys. 4).



Rys. 4. Porównanie przebiegu izolinii przemieszczeń pionowych w latach 2000-2005
Fig. 4. Comparison of subsidence in years 2000-2005

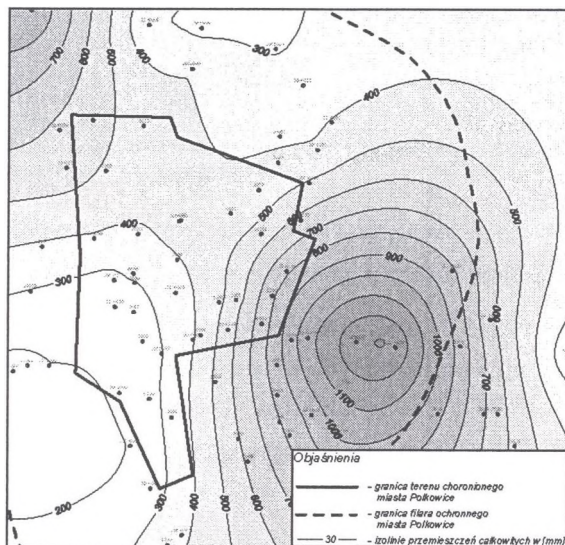
Wygenerowano mapę izolinii osiadań całkowitych w latach 2000-2005, na podstawie której możliwe jest określenie stref podlegających największym osiadaniom (rys. 5).



Rys. 5. Izolinie przemieszczeń pionowych w latach 2000-2005

Fig. 5. Contour map of subsidence in years 2000-2005

Ostatnim etapem analiz było utworzenie mapy wartości wypadkowych wektorów przemieszczeń (rys. 6). Wartości wektorów obliczono jako wypadkowe pomiędzy wektorami przemieszczeń poziomych a pionowych. Przebieg przemieszczeń całkowitych jest w dużej mierze zbliżony do przebiegu osiadań terenu. Jest to uzasadnione dużymi wartościami pionowych przemieszczeń punktów w stosunku do wartości przemieszczeń poziomych.



Rys. 6. Izolinie przemieszczeń całkowitych w latach 2000-2005

Fig. 6. Contour map of entire displacement in years 2000-2005

4. W kierunku nowych rozwiązań

Badania deformacji, których celem jest zobrazowanie zmian dużych powierzchni terenu, prowadzone na podstawie pomiarów linii obserwacyjnych są w stanie dostarczyć jedynie bardzo fragmentarycznych danych. Tymczasem w ciągu ostatniego półwiecza w dalszym ciągu pomiary prowadzone są głównie w sieciach linii obserwacyjnych bądź poprzez obserwację reperów fundamentowych. Te dominujące w polskim górnictwie tendencje już od początku lat 90 XX w. podlegały przekształceniom w innych centrach górniczych świata. Rozwój nowoczesnego sprzętu geodezyjnego w ostatnich latach wskazuje na zupełnie nowe zastosowania, zmierzające do stopniowej eliminacji osnów geodezyjnych w klasycznym znaczeniu tego pojęcia. Oczywiście jest, że pomiary deformacji są i będą prowadzone na punktach stabilizowanych trwale, jednak niewykluczone są pomiary z wykorzystaniem stanowisk straconych bądź pomiary pikiet wcinanych z punktów wyznaczanych satelitarne. Takie kierunki zmian wskazują także na nieuchronne zmiany w podejściu do pomiarów deformacji na terenach podlegających wszelkim, także górniczym deformacjom. Pewne przykłady takiego odmiennego i nowatorskiego podejścia zostały wdrożone przed 6 laty przez ZG „Rudna”, a wyniki zaprezentowane zostały w tym artykule. Niniejszy artykuł wskazuje ponadto na nowe możliwości analiz, interpretacji i wizualizacji wyników takich pomiarów deformacji. Autorzy nie negują konieczności stabilizacji osnowy pomiarowej, wskazują natomiast na możliwość wyciągania wniosków o ruchach terenu chronionego przed wpływem eksploatacji górniczej poprzez zastosowanie alternatywnych metod pomiarowych. Metody te, jak pokazano:

- a) dostarczają danych do analizy pełnego obrazu pola przemieszczeń,
- b) dają informacje dalece dokładniejsze niż tradycyjne pomiary linii obserwacyjnych,
- c) są realizowane na punktach mogących stanowić fragment klasycznych osnów geodezyjnych.

Pomiary bez ich właściwego opracowania nie spełniałyby swojego zasadniczego zadania, stąd należy podkreślić zaprezentowane tutaj:

- a) możliwości integracji danych różnego typu celem prowadzenia analiz korelacji ruchów punktów z rozwojem eksploatacji i lokalizacją epicentrów wstrząsów,
- b) metody analizy wartości przemieszczeń punktów i rozkładu tych wartości na powierzchni terenu chronionego,
- c) metody analizy kierunków przemieszczeń w krótkich okresach oraz w dłuższej perspektywie.

Pomiary prowadzone przez O/ZG „Rudna” stanowią przykład wdrażania nowoczesnej metodyki pomiarowej poprzez wykorzystanie potencjału sprzętowego i kwalifikacji zespołu mierniczych górniczych. Potencjalnie możliwe są poszerzone analizy zgromadzonych wyników, co stanowi przedmiot dalszych badań.

LITERATURA

1. Bałut A.: Zastosowanie GPS w geodezji inżynierskiej i pomiarach odkształceń. Mat. Konferencji Naukowej "Nowoczesne technologie w geodezji górniczej i inżynierii środowiska", Kraków 2001.
2. Cacoń S.: Zastosowanie techniki satelitarnej GPS w obserwacjach deformacji górotworu KWB "Turów". Mat. Konferencji nauk.-techn. V Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Szczyrk 1999.
3. Chrzanowski A., Yong-qi, C.Leeman R. Leal J.: Integration of the Global Positioning System with geodetic leveling surveys in ground subsidence studies. 5th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Fredericton Canada 1988.
4. Góral W., Szewczyk J.: Efektywność technologii GPS w wyznaczaniu deformacji powierzchni. Mat. Konferencji nauk.-techn. IV Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Rytro 24-27.09.1997.
5. Hejmanowski R.: Analiza przemieszczeń pionowych i poziomych terenu miasta Polkowice za okres 2000 – 2005, mapa dynamiczna. Praca naukowo-badawcza na zlecenie KGHM „Polska Miedź” SA O/ZG „Rudna”, Stowarzyszenie Naukowe im. S. Staszica, Kraków 2006.
6. Hejmanowski R., Kwinta A.: Implementation of GPS satelitary technique for monitoring of point displacements on mining areas. Proceedings (of) Second World Mining Environment Congress, Vol.1, Katowice, 13-16 May 1997.
7. Hegemann M.: Neue Erkenntnisse über horizontale Bodenbewegungen auf Grund von GPS - Messungen bei der Deutschen Steinkohle AG (DSK AG). Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja, Tom 9, Z. 2/1, Kraków 2003.
8. Pielok J.: Badania deformacji powierzchni terenu i górotworu wywołanych eksploatacją górniczą. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, 2002.
9. Stoch T., Wójcik A.: Doświadczenia w zastosowaniu nowoczesnych metod pomiarów geodezyjnych do opisu wektorowego pola przemieszczeń punktów nad eksploatacją górniczą. Mat. XI Międzynarodowego Kongresu ISM, Kraków 2000.

Recenzent: Dr hab. inż. Jan Białek, prof. w Pol. Śl.