

prof. dr hab. inż. **Antoni TAJDUŚ**
dr inż. **Edward STEWARSKI**
mgr inż. **Paweł KAMIŃSKI**

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Monitoring satelitarny GPS mikroprzemieszczeń szczytów wież szybowych w kopalni LW „Bogdanka”

Treść

W artykule przedstawiono obserwacje monitoringowe GPS mikroprzemieszczeń szczytów wież szybów S 1.2 i S 1.3 kopalni LW „Bogdanka”. Zebrano i przeanalizowano wyniki pomiarów z całego, 20 miesięcznego okresu trwania monitoringu. Wyniki przedstawiono w formie wizualizacji wykresów przemieszczeń z dwóch następujących zbiorów, obejmujących wyniki obserwacji monitoringowych z okresu ostatnich 12 miesięcy oraz podsumowanie wyników obserwacji z okresu 20 ostatnich miesięcy, tj. z całego okresu trwania monitoringu przemieszczeniowego szczytów wież szybów S 1.2 i S 1.3, w kopalni LW „Bogdanka”. Wartości przemieszczeń, wyznaczone na podstawie aproksymacji liniowej zrealizowanej programem Trimble 4D Control, są efektem interpretacji obliczonych dla danego okresu, wartości prędkości przemieszczeń punktów zamocowania anten GPS na wieżach szybów S 1.2 i S 1.3 kopalni LW „Bogdanka”.

Słowa kluczowe: monitoring przemieszczeniowy, GPS, LW „Bogdanka”

1. Układ pomiarowy monitoringu przemieszczeniowego w technologii GPS, na kopalni LW „Bogdanka”

W kopalni „Bogdanka” uzyskano nie tylko rekordy wydobywania przy użyciu najnowszej technologii urabiania węgla (patrz miesięcznik „Bogdanka”, numer 175, marzec 2012), ale także wdrożono aplikację metody monitoringu przemieszczeniowego, realizowanego w technologii GPS.

Od 20 miesięcy kopalnia LW „Bogdanka”, jako pierwsza w Europie, jest wyposażona w urządzenia GPS i oprogramowanie informatyczne do monitoringu przemieszczeniowego, trójwymiarowego, dozoru w sposób ciągły przemieszczenia wież szybów S 1.2 i S 1.3 w technologii satelitarnej GPS.

Układ pomiarowy monitoringu przemieszczeniowego szczytów wież szybów składa się z anten GPS, umocowanych trwale w szczytowych punktach pomiarowych wież

szybowych, i odbiorników GPS (rys. 1–5) połączonych łączami kablowymi i światłowodami z kopalnią i ogólną siecią internetową. Dokładność pomiarów przemieszczeń szczytów wież szybów podwyższa dystrybucja korekt, z ustawionej w tym celu kopalnianej stacji referencyjnej GPS, umieszczonej na dachu budynku cechowni (rys.6). Rysunki 3,4,5,6 są zawarte także w publikacji [8]. Połączenie stacji referencyjnej z układem pomiarowym GPS, monitoringu przemieszczeniowego wież szybowych i przesyłanie poprawek korygujących jest realizowane w kopalnianej sieci internetowej, bez pośrednictwa operatorów sieci komórkowych.

Aktualnie trwają prace przygotowawcze do montażu anten i odbiorników GPS na konstrukcji 3,5 kilometrowej estakady przenośnikowej Stefanów-Bogdanka, na odcinku zagrożonym oddziaływaniem wpływów podziemnej eksploatacji górniczej.

Opracowana i przetestowana w Dziale Mierniczo-Geologicznym kopalni „Bogdanka”, wspólnie z zespołem naukowym AGH, metoda monitoringu przemieszczeniowego, oparta o ciągły pomiar przy użyciu technologii GPS, jest obecnie realizowana w sposób automatyczny, nie wymagający obsługi i ingerencji operatora.

Obserwacja ciągła i rejestracja wyników monitoringu przemieszczeń odbywa się w stacji serwera komputerowego w Dziale Mierniczo-Geologicznym oraz równocześnie w serwerze komputerowym na AGH, gdzie jest prowadzona analiza naukowa efektów monitoringu.

Zastosowany system pomiaru w trybie GPS-RTK i w trybie POSTPROCESSINGU, umożliwia pomiar i rejestrację wyników w odstępach sekundowych i ich natychmiastową wizualizację na ekranie monitora komputerowego. Dalsza filtracja i przetwarzanie w dwóch trybach; RTK i POSTPROCESSINGU, stwarza zbiory wyników do automatycznego wizualizowania efektów monitoringu w formie przejrzystych do interpretacji wykresów przemieszczeń (rys.7 i 8). Wykresy przemieszczeń można analizować z okresu wstecz, z uwzględnieniem wyniku pomiaru w aktualnej chwili, w czasie rzeczywistym, lub w dowolnie wybranym odcinku czasu z przeszłości, stosownie do potrzeb analizy dozoru, wykonywania ocen i podejmowania decyzji.

Program komputerowy T 4D Control przetwarza wyniki pomiarów i oblicza trend przemieszczeń w postaci prędkości ruchu punktów szczytowych elementów konstrukcyjnych monitorowanych wież szybowych we wszystkich kierunkach przestrzeni trójwymiarowej.

Cel monitoringu polega na rejestracji trendów przemieszczeń i ocenie stopnia zagrożeń przemieszczeniowych, związanych z dynamiką konstrukcji wież i charakterem przemieszczeń wynikających z wpływów przyrodniczych i wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu, na której są posadowione wieże szybowe i inne wysokie budowle znajdujące się na terenie górniczym [3].

Na rysunkach 1–6, przedstawiono fotografie wież szybowych, ze wskazaniem elementów montażowych układu pomiarowego, monitoringu przemieszczeniowego na szczytach wież szybów S 1.2 i S 1.3, kopalni LW „Bogdanka”.



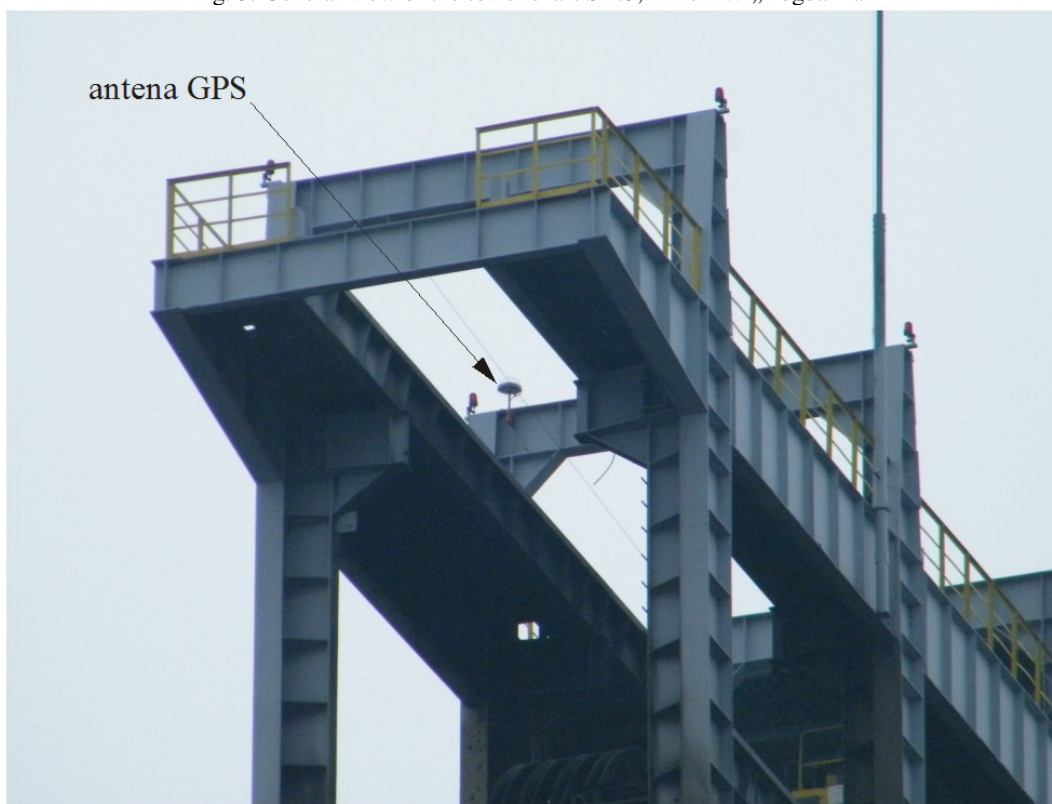
Rys. 1. Widok ogólny wieży szybu S 1.2, kopalni LW „Bogdanka”
Fig. 1. General view of the tower shaft S 1.2, mine LW „Bogdanka”



Rys. 2. Widok górnej części wieży szybu S 1.2, z widoczną anteną GPS na belce szczytowej
Fig. 2. View the top of the tower shaft S 1.2, with a visible GPS antenna on the beam peak



Rys. 3. Widok ogólny wieży szybu S 1.3, kopalni LW „Bogdanka”
 Fig. 3. General view of the tower shaft S 1.3, mine LW „Bogdanka”



Rys. 4. Widok górnej części wieży szybu S 1.3, z widoczną anteną GPS na belce szczytowej

Fig. 4. View the top of the tower shaft S 1.3, with a visible GPS antenna on the beam peak



Rys. 5. Sposób zamocowania anteny GPS na szczycie wieży szybu S 1.3, kopalni LW „Bogdanka”
Fig. 5. The mounting of GPS antenna on top of the tower shaft S 1.3, mine LW „Bogdanka”



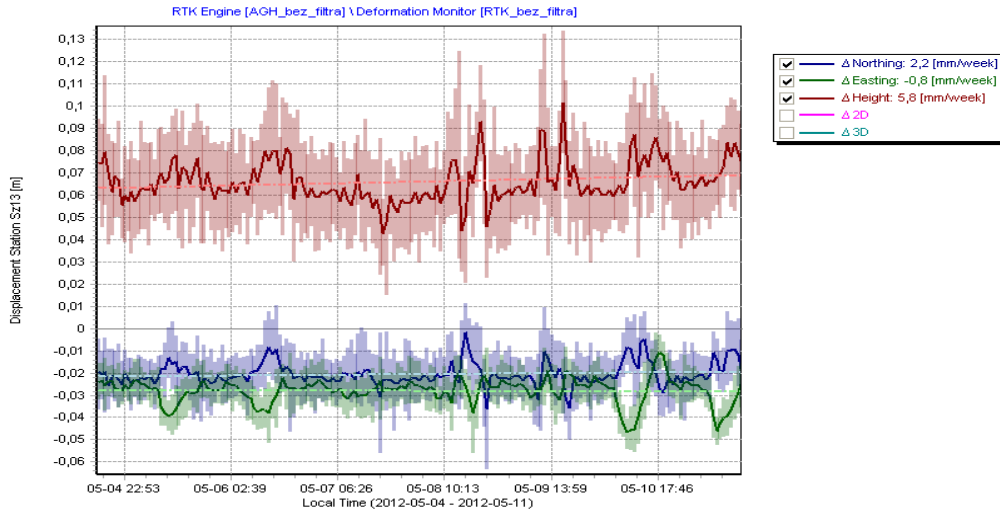
Rys. 6. Antena GPS na dachu budynku Cechowni (nad siedzibą Działu Mierniczo-Geologicznego kopalni LW „Bogdanka”)
Fig. 6. The GPS antenna on the roof guildhall (based on Department of surveying - Geological Mine LW „Bogdanka”)

2. Przykładowe wykresy przemieszczeń szczytu wieży szybu S 1.3

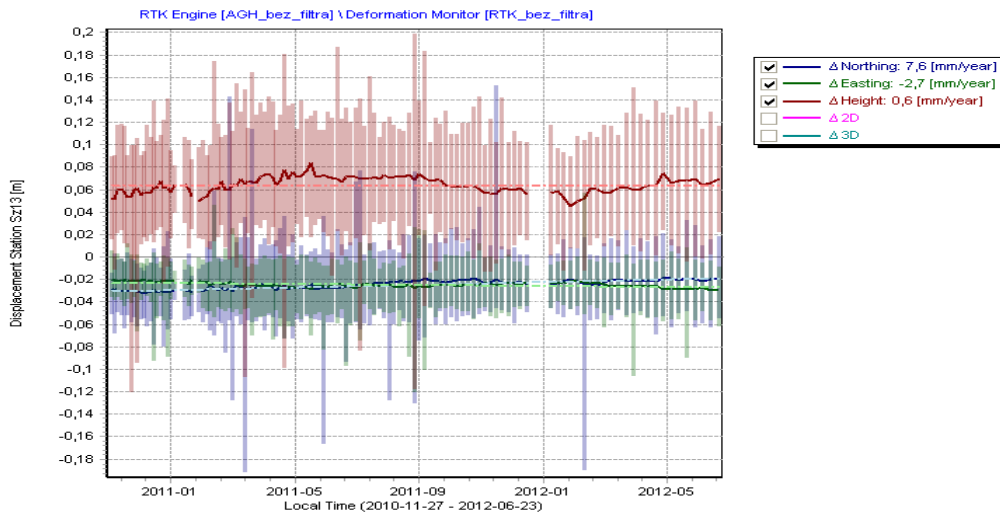
Na rysunkach 7 i 8, pokazano przykładowe wykresy przemieszczeń szczytu wieży szybu S 1.3, kopalni LW „Bogdanka”. Rysunek 7 przedstawia wykres przemieszczenia z okresu 1 tygodnia (4–11 maja 2012), a rysunek 8 wykres przemieszczenia w czasie 20 miesięcy (27.11.2010–23.06.2012).

Krótkie omówienie wykresów: wykresy przedstawiają zmiany położenia punktów zamocowania anten GPS na szczytach wież szybowych, w funkcji czasu, w trzech prostopadłych kierunkach przestrzeni. Kierunki są wyróżnione kolorami (objaśnienia w podpisach pod rysunkami). W prawym górnym rogu na rysunkach 7 i 8, są wyeksponowane tabelki zawierające zestawienia obliczeń wartości prędkości przemieszczeń w kierunkach na północ, na wschód i w pionie. Wartości prędkości przemieszczeń uzyskano na podstawie aproksymacji linowej wyników pomiarów w postaci nie filtrowanej. Obliczenia wyników wykonano programem T 4D Control. Cytowany program posiada także opcje obliczeń wyników filtrowanych metodą Kalmana, średnią ważoną i inne. Obliczenia filtrowane także posiadamy, ale nie są one znamienne różnie od przedstawionych w tym artykule wyników nie filtrowanych. W oryginalnym programie T 4D Control, zgodnie z naszymi zaleceniami dokonano zmian i uzupełnień modułów w celu lepszego dostosowania do potrzeb monitoringu przemieszczeniowego.

Monitoring przemieszczeniowy wież szybów w LW „Bogdanka”, jest rozwiązaniem powstałym w wyniku realizacji projektu celowego [6] oraz prac poprzedzających [4,5] i prac wdrożeniowych [7]. Prace nad metodą zastosowania GPS do monitoringu przemieszczeniowego trwały w kopalni LW „Bogdanka” 4 lata. W okresie ostatnich 20 miesięcy trwa nieprzerwanie ciągły monitoring przemieszczeniowy szczytów głównych wież szybowych kopalni. Układ monitoringu w kopalni LW „Bogdanka” jest poligonem badawczym, na którym uzyskano i przetestowano technologie, sprzęt GPS i rozwiązania najwyższej generacji. Opis uzyskanych efektów w formie przejrzystych wykresów i ich ocenę zestawiono syntetycznie we wnioskach 1÷7, w niniejszym artykule.



Rys. 7. Wykresy przemieszczeń szczytu wieży S 1.3, w okresie 1 tygodnia (4–11 maja 2012), w 3 kierunkach prostopadłych: **Northing** (północ), **Easting** (wschód), **Height** (pion)
 Fig. 7. Charts displacements top of the tower S 1.3, for 1 week (4 to May 11 2012) in three orthogonal directions: Northing (North), Easting (East), Height (V)



Rys. 8. Przemieszczenia szczytu wieży S 1.3. w okresie 20 miesięcy (27.11.2010–23.06.2012), w 3 kierunkach prostopadłych: **Northing** (północ), **Easting** (wschód), **Height** (pion)
 Fig. 8. Movements top of the tower S 1.3. a period of 20 months (27.11.2010–23.06.2012r.) in three orthogonal directions: Northing (North), Easting (East), Height (V)

3. Podsumowanie i wnioski

W kopalni LW „Bogdanka”, wykonano obserwacje monitoringowe GPS, mikroprzemieszczeń szczytów wież szybów S 1.2 i S 1.3. Zebrano i przeanalizowano wyniki pomiarów monitoringowych z całego, 20 miesięcznego okresu trwania monitoringu [9]. Wyniki obserwacji monitoringowych przedstawiono w formie dwóch głównych zbiorów obejmujących wyniki monitoringu z okresu ostatnich 12 miesięcy

oraz podsumowanie wyników monitoringu z okresu 20 ostatnich miesięcy, tj. z całego okresu trwania monitoringu przemieszczeniowego szczytów wież szybów S 1.2 i S 1.3, w kopalni LW „Bogdanka”.

Wnioski

1. Wartości przemieszczeń wyznaczone na podstawie aproksymacji liniowej zrealizowanej programem Trimble 4D Control są efektem interpretacji, obliczonych dla danego okresu, wartości prędkości przemieszczeń punktów zamocowania anten GPS na wieżach szybów S 1.2 i S 1.3 kopalni LW „Bogdanka” [8, 9].
2. Tak wyinterpretowane wartości przemieszczenia mają sens kinematyczny, ale mogą być wykorzystane do oceny trendu przemieszczeń i wartości przemieszczeń, dla celów oceny wpływów górniczych na powierzchnię terenu i obiekty posadowione, pod warunkiem ścisłego sprecyzowania okresu, z którego wybrano zbiór wartości wyników pomiarów do obliczeń wartości przemieszczeń w okresie trwania monitoringu przemieszczeniowego [1, 2].
3. Dla uzyskania wysokiej wiarygodności oceny, quasistatycznej zmiany współrzędnych położenia punktów zamocowania anten GPS na obiektach górniczych, wskazanym jest dysponowanie zbiorem wartości obliczonych prędkości wyrażonych w: **[mm/min, mm/h, mm/dzień, mm/tydzień, mm/miesiąc, mm/rok]** z okresu obejmującego czas ciągłego monitoringu przemieszczeniowego, w którym sezonowe wpływy przyrodnicze (temperatura, wilgotność, zmiany hydrogeologiczne itp.) wystąpiły przynajmniej dwukrotnie. Zatem, powinien to być okres obejmujący dwukrotne przejście wszystkich pór roku, czyli 2 lata.
4. W analizowanym okresie 20 miesięcy (tyle trwa nieprzerwanie, od chwili uruchomienia, monitoring przemieszczeniowy w kopalni LW „Bogdanka”), brakuje 4 miesięcy. Po upływie brakujących 4 miesięcy, zostanie wykonana ostateczna weryfikacja wyników monitoringu przemieszczeniowego wież szybów kopalni LW „Bogdanka”.
5. Analiza wykonana w tej pracy i w poprzednich [4, 5, 7], etapowych opracowaniach oraz w projekcie celowym [6] uprawnia do stwierdzenia, że w zastosowanej metodzie, monitoringu przemieszczeniowego przy wykorzystaniu technologii GPS, reprezentatywnym, wystarczającym dla celów technicznych, jest

zestawienie wartości wyników pomiarów przemieszczeń szczytów wież szybów na podstawie wykresów przemieszczeń z obserwacji monitoringowych GPS w trybie DEFORMATION RTK, zgodnie z procedurą uśredniania co 5 sekund, bez filtra.

6. W myśl powyższych stwierdzeń, na podstawie 20 miesięcznych obserwacji monitoringowych szczytów wież szybów S 1.2 i S 1.3, kopalni LW „Bogdanka”, wartości przemieszczeń są następujące [9]:

Wieża szybu	Przemieszczenie szczytu wieży na północ [mm]	Przemieszczenie szczytu wieży na wschód [mm]	Przemieszczenie szczytu wieży w pionie [mm]
S 1.2	+4,9	-0,5	+0,3
S 1.3	+7,6	-2,7	+0,6

7. Zestawione powyżej wartości przemieszczeń są liczbami bardzo małymi, świadczącymi o potwierdzeniu stabilności konstrukcji monitorowanych wież szybowych i aktualnym braku wpływów górniczych na deformację powierzchni terenu w obszarze posadowienia monitorowanych wież szybowych S 1.2 i S 1.3.

GPS satellite monitoring of micro-displacement peaks in the mine shaft towers LW „Bogdanka”

Summary: This paper presents observations of GPS monitoring wells micro-displacement peak towers S 1.2 and S 1.3 mine LW „Bogdanka”. Collected and analyzed the results of the measurements, 20 month duration of the monitoring. The results are presented in the form of graphs visualize movements of the two following sets, including the results of monitoring observations over the last 12 months, and a summary of observations from the period of the last 20 months, ie the entire duration of the displacement peaks towers monitoring wells S 1.2 and S 1.3, the mine LW „Bogdanka”. Displacement values derived from the linear approximation realized Trimble 4D Control software, are the result of the interpretation of calculated for a given period, the value of displacement speed GPS antenna mounting points on the towers shafts S 1.2 and S 1.3 mine LW „Bogdanka”.

Key words: monitoring, displacement, GPS, LW „Bogdanka”

4. Literatura i dokumentacje

1. Piwowarski W.: Model prognozy niestacjonarnego procesu odniesiony do opisu przemieszczeń pogórnich identyfikowany pomiarami geodezyjnymi. PIGiK Warszawa 1999.
2. Piwowarski W., Stewarski E.: Wpływ procesów przemieszczeń pogórnich na obiekty kopalniane, rejestrowany pomiarami GPS. Górnictwo i Geologia. t. 5, 2010, 169–179.

3. Stewarski E. (red.), Fajklewicz Z., Piwowski W., Radomiński J., Badania zmian deformacyjnych w górotworze w celu odtwarzania wartości budowlanej terenów pogórnich., Kraków 2004.
4. Stewarski E. (red.): Koncepcja naukowo-badawcza doboru odpowiedniej aparatury dla pomiarów w technologii GPS, celem obserwacji pola przemieszczeń. Praca zbiorowa. Archiwum Działu Mierniczo-Geologicznego LW „Bogdanka”(praca nie publikowana) 2008.
5. Stewarski E. (red.): Kompleksowy model wykorzystania satelitarnych pomiarów geodezyjnych GNSS powierzchni terenu górniczego i obiektów przemysłowych LW „Bogdanka” S.A. do monitoringu stanów deformacyjnych obiektów kopalnianych. Praca zbiorowa. Archiwum Działu Mierniczo-Geologicznego LW „Bogdanka”, 2010.
6. Stewarski E. (red.): Opracowanie kompleksowego modelu i oprogramowania informatycznego dla ciągłego pomiaru GNSS, pozycji punktów na powierzchni terenu górniczego Lubelski Węgiel „Bogdanka” i obiektów kopalnianych w celu określenia zmian deformacyjnych wywołanych aktualną i perspektywiczną podziemną eksploatacją górniczą. Praca zbiorowa. Projekt celowy 6 ZR8 2007 C/06998. Archiwum Działu Mierniczo-Geologicznego LW „Bogdanka” (praca nie publikowana), 2012.
7. Stopa Z., Bałchan J., Dudek T., Stewarski E.: Monitoring odkształceń powierzchni terenu i przemieszczeń wież szybowych, z wykorzystaniem GPS, na przykładzie kopalni „Bogdanka”. Ecoforum. Lublin 2011.
8. Stopa Z., Bałchan J., Dudek T., Stewarski E.: Monitoring przemieszczeniowy szczytów wież szybowych kopalni LW „Bogdanka” w technologii GNSS. XXI Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2012.
9. Stewarski E. (red.): Wykonanie sieci obserwacyjnej, koordynacja i nadzór naukowy prac pomiarowych w technologii GPS oraz monitoring wież szybowych i głównych obiektów wielkogabarytowych LW „Bogdanka” Etap III Wykonanie układu pomiarowego GPS i realizacja monitoringu przemieszczeniowego obiektów głównych wież szybowych i magazynu węgla w rejonie pola Stefanów. Archiwum Działu Mierniczo-Geologicznego LW „Bogdanka” (praca nie publikowana) 2012.