

Krzysztof Karsznia, Leopold Czarnecki*, Lucjan Stawowy**

SYSTEM CIĄGŁEGO MONITORINGU PRZEMIESZCZEŃ I DEFORMACJI WYROBISK GÓRNICZYCH W PGE KWB BEŁCHATÓW SA — ASPEKT FUNKCJONALNY I DOKŁADNOŚCIOWY

1. Wstęp

Węgiel brunatny w Polsce jest niewątpliwie jednym z tych surowców, których znaczenie dla gospodarki przybiera wymiar strategiczny. Z węglem brunatnym powiązanych jest wiele gałęzi przemysłu, rolnictwo i energetyka, a polityka energetyczna państwa znajduje się w czołówce najważniejszych tematów ostatnich lat.

Proces wydobywania omawianej kopaliny niesie ze sobą wiele aspektów natury technicznej oraz przyrodniczej. Rozwój technologii budowy maszyn, automatyki przemysłowej czy teleinformatyki ułatwia efektywne sterowanie procesem produkcji oraz jej optymalizację. Nie bez znaczenia pozostają również technologie geoinformatyczne. To właśnie od jakości stosowanych czujników i instrumentów pomiarowych, zależy prawidłowe zarządzanie wydobywaniem surowca. Proces wydobywania węgla brunatnego skutkuje także powstawaniem odkształceń i deformacji górotworu oraz zaburzeniem stosunków wodnych. Teoria ruchu górotworu na terenach objętych pracami wydobywczymi stanowi przedmiot badań i wielu analiz [2]. Zdejmowanie nadkładu, a następnie urabianie warstwy węgla skutkuje zmianą naprężeń w okolicznych warstwach geologicznych oraz zmianą ciśnienia, co z kolei przekłada się na występowanie deformacji, spękań i zapadlisk. W przypadku kopalń odkrywkowych, kluczowy problem stanowi powstawanie osuwisk. Niestabilność zboczy wyrobisk górniczych może być dużym zagrożeniem dla życia ludzkiego i pozostawionego w odkrywcę mienia. Może także spowodować przerwę w wydobywaniu surowca lub nawet całkowicie uniemożliwić produkcję. Ponadto, należy mieć na uwadze złożoność procesów geotechnicznych — jeden czynnik wpływa na powstawanie kolejnego, a zachodzące zjawiska składają się na ogół z bardzo wielu elementów składowych [9].

* PGE KWB Bełchatów SA, Rogowice

2. Monitoring strukturalny

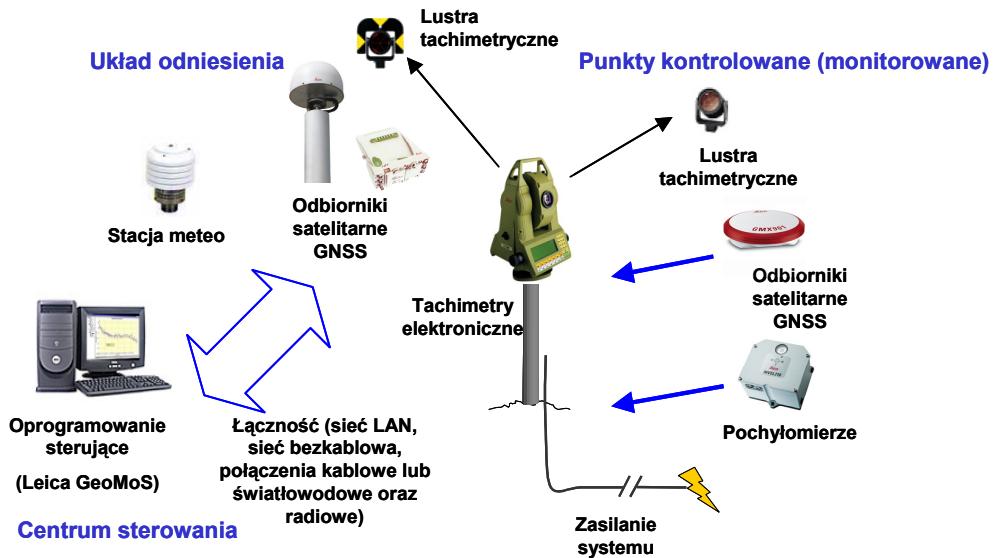
Wspomniane czynniki powodują, iż jednym z czołowych zadań stawianych służbom geodezyjnym i geologicznym kopalni odkrywkowej jest prowadzenie efektywnego monitoringu deformacji górotworu. Należy przy tym wyraźnie oddzielić proces monitoringu od zwykłego pomiaru kontrolnego. Praca systemu monitoringu obiektów inżynierskich nie polega bowiem na wykonaniu samych pomiarów kontrolnych (np. okresowej niwelacji reperów, pomiaru tachimetrycznego, satelitarnego itp.). Zgodnie z treścią jednego z najnowszych opracowań Instytutu Techniki Budowlanej [3], monitoring nie jest obserwacją, aczkolwiek w jego skład wchodzi obserwacja. Monitoring jest bowiem działalnością polegającą na wykrywaniu zagrożeń, a co za tym idzie, niezbędne jest wcześniejsze ustalenie rodzaju zagrożenia oraz odpowiednie dostosowanie projektowanego systemu. Niezbędne jest także określenie sposobu powiadamiania o zaistniałym zagrożeniu, np. w formie alarmu, komunikatów sms, wiadomości elektronicznej (e-mail) czy uruchomieniu innej aplikacji umożliwiającej podjęcie przez odpowiednie służby kroków zaradczych.

Najdogodniejszym rozwiązaniem, dającym pełen obraz zachowania się badanej struktury jest pomiar ciągły prowadzony na odpowiednim poziomie dokładności. Jak wiadomo, do każdego zadania geodezyjnego przeznaczone jest odpowiednie instrumentarium. O zgoła różnych dokładnościach mówimy w przypadku niwelacji precyzyjnej, tachimetrii elektronicznej, zastosowania precyzyjnych pochyłomierzy czy wykonania pomiarów GNSS (GPS, GLONASS oraz inne systemy pozycjonowania satelitarnego). Dodać należy, iż istnieje szeroki zakres urządzeń innych niż geodezyjne, dzięki którym pozyskujemy informacje o obiekcie — mowa o sensorach geotechnicznych, hydrotechnicznych itd. Każdy instrument pomiarowy mierzy w nieco inny sposób, z inną częstotliwością pracy oraz inne cechy danego obiektu. Łącząc zalety wszystkich tych urządzeń oraz zapewniając ich skoordynowane działanie kontrolowane przez system komputerowy, można uzyskać wiarygodne informacje na temat rzeczywistego stanu obiektu w danym momencie. Zintegrowany system realizujący takie podejście nazywany jest systemem monitoringu strukturalnego.

3. Monitoring przemieszczeń i deformacji w PGE KWB Belchatów SA

Przykładem takiego kompleksowego rozwiązania, stosowanego w ciągłym badaniu deformacji wyrobisk górniczych w Kopalni Węgla Brunatnego Belchatów jest system GeoMoS (skrót od *Geodetic Monitoring System*) firmy Leica Geosystems [4]. System działa w sposób zintegrowany — tzn. przetwarza dane pomiarowe z klasycznych geodezyjnych pomiarów kątowno-liniowych oraz pomiarów satelitarnych GNSS. Ważnym elementem jest także pomiar rejestrowany na stacji meteorologicznej (temperatura, ciśnienie atmosferyczne, wilgotność powietrza), dzięki któremu w sposób automatyczny wyznaczany jest współczynnik refrakcji — zjawiska wpływającego na wyniki pomiarów kątowych i odległości.

Schemat działania monitoringu inżynierskiego Leica Geosystems przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Ogólny schemat funkcjonowania zintegrowanego systemu monitoringu geodezyjnego

Przed uruchomieniem, system musi zostać przede wszystkim odpowiednio skonfigurowany, skalibrowany i zaprogramowany do wykonywania określonych sekwencji pomiarowych. Sygnał pochodzący z danego urządzenia, czyli wynik pomiaru punktu kontrolowanego musi zostać odpowiednio zinterpretowany i przygotowany do dalszej analizy. Instrumenty mierzą powiem zgodnie z ustalonym porządkiem — czy to pojedyncze punkty kontrolowane, czy też całe strefy składające się z wielu punktów (grupy). Oprogramowanie GeoMoS umożliwia przyjmowanie wyników wyznaczenia pozycji z pomiarów klasycznych i satelitarnych GNSS, budowanie wykresów przemieszczeń i odkształceń, prezentację trendów i korelacji między wynikami oraz informowanie użytkownika o występujących zdarzeniach (co zgodnie z definicją jest istotą systemu monitoringu). Wspomniane wykresy obrazujące dynamikę obiektu prezentowane są w różnych formach — wizualizacji przemieszczeń pionowych, poziomych, względem osi lokalnego układu odniesienia, a także zaobserwowanych różnic wysokości punktów kontrolowanych. Dzięki funkcji umożliwiającej wczytanie podkładu rastrowego lub mapy bitowej badanego obiektu (np. mapa odkrywki), operator systemu uzyskuje łatwy wgląd do jego punktów charakterystycznych. Praca systemu odbywa się w połączeniu z bazą danych. Daje to możliwość zintegrowania wyników z dowolnym innym systemem informatycznym, umożliwiającym np. zarządzanie procesem wydobycia węgla (automatyczna kontrola urobku).

Do pozyskiwania danych terenowych w ramach systemu GeoMoS zalecane jest stosowanie instrumentarium dedykowanego specjalnie na potrzeby monitoringu strukturalnego, aczkolwiek istnieje również możliwość pracy z innymi urządzeniami znanymi z codziennej praktyki terenowej. Przewidziano zatem wykorzystanie zarówno precyzyjnych tachimetrów elektronicznych, precyzyjnych pochyłomierzy, niwelatorów cyfrowych jak też jedno oraz dwuczłonowościowych odbiorników GPS/GNSS oraz sensorów geotechnicznych.

Dzięki zastosowaniu zautomatyzowanych tachimetrów elektronicznych punkty kontrolowane podlegają ciągłym obserwacjom w ramach kolejnych serii pomiarowych. Urządzenia te cechuje bardzo wysoka dokładność pomiarów kąta (dla celów monitoringu strukturalnego jest to nie więcej niż $\pm 1''$) i odległości (od $\pm 0,5$ do ± 2 mm dla standardowych długości celowych do 1000 m).

Celowanie na punkty kontrolowane odbywa się w sposób automatyczny. Umożliwia to system automatycznego rozpoznawania celu — *Automated Target Recognition* (ATR).

Technologia ta polega na skanowaniu przez instrument zdefiniowanego wcześniej obszaru wiązką laserową. Po odbiciu od napotkanych obiektów, wiązka ta powraca do układu odczytowego tachimetru padając na specjalną matrycę CCD. Następnie, układ ten bada natężenie takiej powracającej wiązki i jeśli w polu widzenia lunety zlokalizowane zostanie lustro geodezyjne (najsilniejsze odbicie), serwomotor automatycznie naprowadzi lunetę na znaleziony cel, z milimetrową dokładnością. Dzięki zastosowaniu specjalnych algorytmów, lokalizowane są nawet daleko położone punkty kontrolowane (obecnie maksymalną odległością gwarantującą sprawność tej metody jest 3000 m). Zastosowanie zautomatyzowanych tachimetrów umożliwia efektywne wyznaczenie przemieszczeń nawet dla wielkoobszarowych obiektów jak kopalnie odkrywkowe, zapory wodne czy duże skarpy. Instrumenty umieszczone są na ogół na stanowiskach stałych, w przeszklonych i klimatyzowanych kontenerach posiadających stałe źródło zasilania. W takich warunkach instrument może pracować w trybie ciągłym, niezależnie od warunków atmosferycznych, zabezpieczony przed uszkodzeniami, korozją i wandalizmem.

4. Studium przypadku — PGE KWB Belchatów SA

Na terenie KWB Belchatów, pomiary przemieszczeń powierzchniowych sieci obserwacyjnych zakładanych w rejonach zagrożonych osuwiskami wykonywane są w sposób klasyczny z wykorzystaniem metod pomiarowych:

- metodą tachimetryczną,
- metodą satelitarną GPS – pomiar statyczny,
- metodą satelitarną GPS – RTK z ustawianiem anteny na statywie nad obserwowanymi punktami przy wykorzystaniu pionu optycznego.

Z uwagi na dużą ilość obserwowanych punktów (280 w 14 rejonach zagrożeń) oraz potrzebę stałego monitorowania zbocza południowego wyrobiska górniczego Pola Belchatów

w rejonie Rowu II rzędu w czasie schodzenia z eksploatacją do poz. –110 m n.p.m., podjęto decyzję o wdrożeniu systemu monitoringu przemieszczeń GeoMos firmy Leica Geosystems.

Główne zadania stawiane systemowi to:

- wykonywanie quasi-ciągłych pomiarów punktów przez 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu (założono stałą obserwację 50 punktów);
- możliwość przemieszczania stanowiska pomiarowego wraz z postępem frontów wydobywczych;
- monitorowanie stałości położenia stanowiska pomiarowego i punktu kontrolnego;
- obliczanie przemieszczeń punktów kontrolowanych z funkcją alarmowania wybranych osób w Kopalni w przypadku przekroczenia wartości alarmowych.

5. Charakterystyka obiektu wdrożenia

Złoże węgla brunatnego Bełchatów położone jest około 15 km na południe od miejscowości Bełchatów, w centralnej części jednostki tektonicznej zw. Rowem Kleszczowa. Dzieli się na trzy pola: Pole Kamieńsk, Pole Bełchatów, Pole Szczerców. Rów Kleszczowa stanowi wąską, ok. 2,5–3 km strefę dyslokacyjną założoną w utworach mezozoicznych. Zlokalizowany jest w północnym obrzeżeniu elewacji radomskowskiej zwanej rygłem Kodrąbia, rozdzielającej nieckę łódzką od niecki miechowskiej. Od zachodu graniczy z monokliną śląsko-krakowską, zaś od wschodu z Górami Świętokrzyskimi, rozciągając się od rzeki Warty na zachodzie, aż po rzekę Pilicę na wschodzie, tworząc łuk o długości około 80 km łagodnie wygięty ku północy.

Złoże położone jest w równoleżnikowo przebiegającej strukturze rowu tektonicznego zw. Rowem Kleszczowa. Eksploatacja złoża w ZG KWB Bełchatów odbywa się metodą odkrywkową. Roboty prowadzone są systemem zabierkowym podłużnym z równoległym i równoległo-wachlarzowym postępem frontów robót. Prowadzone przez wiele lat obserwacje pozwoliły na wydzielenie szeregu cech strukturalnych predysponujących tego typu górotwór do generowania zjawisk powierzchniowych ruchów masowych o niespotykanej skali dla polskiego górnictwa odkrywkowego. Te główne cechy strukturalne to:

- równoleżnikowy przebieg uskoków brzeżnych rowu, powodujący zaburzenia osadów wzdłuż krawędzi uskokowych skrzydła zrzuconego;
- obecność na południowym brzegu rowu zróżnicowanej paleomorfologii stropu podłoża mezozoicznego, wymodelowanej przez procesy krasowo-wietrzeniowe i paleosuwiskowe;
- głębokie doliny erozyjne biegnące przy południowym i północnym brzegu lub skośnie do rowu, powodujące rozwój wielkoskalowych paleosuwisów oraz sedymentację osadów zastoiskowych w trakcie procesu zasypywania tych dolin;
- zaburzenia warstw zalegających w rowie spowodowane zaciskaniem się struktury rowu ku spągowi i wzrostowi znaczenia naprężeń poziomych;

- obecność powierzchni nieciągłości w różnych litologicznie warstwach gruntowych, często o stromo nachylonych kontaktach, głównie w brzeżnych partiach rowu, a zwłaszcza współwystępowanie w bezpośrednim sąsiedztwie zawodnionych utworów przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych gruntów spoistych, co powoduje osłabienie kontaktów warstw wskutek uplastycznienia stropowej partii utworów spoistych, a w konsekwencji znaczną anizotropię cech wytrzymałościowo-deformacyjnych górotworu;
- występowanie w obrębie rowu struktur niższego rzędu (np. rów II-rzędu, rów Kucyka, wysad solny Dębina) powodujących lokalne zaburzenia i wzrost stopnia deformacji warstw. Obecność w otoczeniu rowu i w jego wnętrzu tzw. naprężeń rezydualnych będących pozostałością procesów odpowiedzialnych za utworzenie rowu. Naruszenie tego pierwotnego stanu naprężeń skutkuje wzrostem objętości gruntów w wyniku ich odprężenia. Niejednorodność górotworu i różne przyrosty objętości poszczególnych warstw skutkują powstaniem dodatkowych naprężeń stycznych na kontaktach warstw i innych powierzchni strukturalnych. Przy obniżonej wytrzymałości gruntów na ścinanie procesy te mogą doprowadzić do zniszczenia więzi strukturalnych (spójności) i rozwoju osuwisk;
- występowanie gruntów przekonsolidowanych.

Prowadzone od początku istnienia kopalni prace dokumentacyjne pozwoliły na dokładne skatalogowanie w latach 1977–1988, 238 osuwisk o kubaturze nie mniejszej niż 2 tys. m³. W późniejszym czasie skoncentrowano się jedynie na tych osuwiskach, które stanowiły bądź mogły stanowić zagrożenie dla ruchu zakładu górniczego. W całej historii kopalni zarejestrowano 48 większych osuwisk na zboczach stałych, z których 25 powstało na zboczu południowym, 11 na północnym i 12 na wschodnim. Ponadto zarejestrowano w prognozowanych rejonach zagrożeń szereg zjawisk geodynamicznych, które poprzedzały rozwój osuwisk. Jednakże dzięki odpowiednim działaniom nie dopuszczono do ich rozwoju.

Generalnie osuwiska wieloskarpowe i rejonu zagrożeń osuwiskowych, można podzielić w zależności od ich usytuowania w stosunku do uskoków ramowych rowu tektonicznego na dwa typy:

- 1) osuwiska zewnętrzne;
- 2) osuwiska wewnętrzne, zlokalizowane wzdłuż powierzchni uskokowych ograniczających Rów Kleszczowa od południa i północy.

Osuwiska wieloskarpowe powodują konkretne starty w zasobach infrastruktury kopalni a szczególnie w podstawowym polu działania kopalni tj. w eksploatowanych zasobach przemysłowych węgla.

Przedstawione uwarunkowania geologiczne oraz zjawiska występujące na terenie KWB Bełchatów stały się podstawą do poszukiwań kompleksowego systemu monitoringu, dającego możliwość prowadzenia stałego pomiaru z jednoczesnym zapewnieniem wykonania analiz i wygenerowania ewentualnych ostrzeżeń o ponadnormatywnych osuwiskach i zachodzących deformacjach terenu.

6. System monitoringu deformacji w PGE KWB Belchatów SA

Układ odniesienia systemu stanowi sieć GNSS, której głównym punktem jest stacja referencyjna „Kalinówka”, w której prowadzone są permanentne obserwacje satelitarne przy użyciu precyzyjnego odbiornika z anteną *choke-ring*. Kolejnymi elementami sieci układu odniesienia są punkty GNSS znajdujące się w okolicy masztu transmisyjnego „Karolew” oraz bezpośrednio na dachu samego kontenera. Stanowisko w Karolewie jest jednocześnie głównym punktem orientacyjnym dla pomiarów kątowno-liniowych realizowanych precyzyjnym zautomatyzowanym tachimetrem elektronicznym usytuowanym w kontenerze na słupie metalowym z wymuszonym centrowaniem. Pomiar punktów kontrolowanych (lustra geodezyjne zamontowane na słupach metalowych wypełnionych zaprawą betonową) metodą tachimetryczną odbywa się w seriach godzinnych, natomiast stabilność układu odniesienia sprawdzana jest poprzez rozwiązanie sieci GNSS w tzw. *post-processingu* [1] co 6 godzin. Dane o przemieszczeniach punktów przesyłane są automatycznie do centrum zarządzania bezprzewodową bezpieczną transmisją WiFi i GPRS.

Wyniki pomiaru przemieszczeń punktów kontrolowanych przetwarzane są w czasie rzeczywistym w centrum zarządzania oraz udostępniane przez system w formie graficznej (wykresy zmian położenia punktów oraz obrazy zachodzących trendów) jak również numerycznej (wykazy współrzędnych, obserwacje źródłowe, wyniki pomiarów). Dane zapisywane są automatycznie w bazie SQL Server, skąd dodatkowo można je pozyskać w dowolnym czasie przy zastosowaniu komend strukturyzowanego języka zapytań SQL [7].

Punkty kontrolowane zlokalizowane w wyrobiskach górniczych są odpowiednio grupowane ze względu na charakterystykę miejsca ich położenia. Dla każdej grupy definiowane są wartości krytyczne przemieszczeń (tolerancje), po przekroczeniu których system generuje w sposób automatyczny powiadomienia kierowane do właściwych służb (np. mierzniczej czy geologicznej). Informacje o zaistniałych deformacjach wysyłane są w postaci wiadomości sms lub poczty elektronicznej. Istnieje również możliwość skonfigurowania skrzynek alarmowych, które w przypadku wystąpienia zagrożeń, uruchomią alarm.

7. Aspekt dokładnościowy

Analizując dokładność pomiarów monitorujących należy wziąć pod uwagę:

- ocenę dokładności pozycjonowania poziomego w kierunkach podłużnym i poprzecznym do osi profilu terenowego,
- ocenę dokładności wyznaczenia przemieszczeń pionowych.

Dla użytkownika systemu ważne jest również określenie wydajności (sprawności) pracy systemu. Wiąże się ona bezpośrednio z cechami użytkowymi jak też z trwałością, niezawo-

wodnością oraz powtarzalnością pomiarów. Kluczowego znaczenia nabiera tutaj prawidłowy projekt wykonawczy systemu monitoringu opatrzonej wstępną analizą dokładności w odniesieniu do geometrii konstrukcji wyznaczających. Należy pamiętać, iż dokładność pozycjonowania punktów uwarunkowana jest czynnikami takimi jak:

- gradient temperatury otoczenia miejsca pomiaru,
- temperatura, ciśnienie atmosferyczne oraz wilgotność,
- przewyższenia między stanowiskiem pomiarowym a punktami kontrolowanymi,
- stopień zapylenia,
- drgania podłoża/badanej konstrukcji,
- krzywizna Ziemi itp.

Zatem, dokładność znamionowa urządzeń podawana w specyfikacjach technicznych producenta ma jedynie częściowy wpływ na wynik końcowy realizowanych pomiarów. Świadomość tego faktu jest więc podstawą poprawnego sporządzenia projektu monitoringu. Wykresy potwierdzają zbieżność wyników, a ich rozrzut ma charakter systematyczny i spowodowany jest zmianami warunków panujących na obiekcie. Występujący okazjonalnie rozrzut (wywołany np. zakłóceniami pomiaru o różnym pochodzeniu) można wygładzać przy użyciu funkcji sklepanych. Zamiast bezwzględnych wartości chwilowych, obserwujemy wówczas bardziej reprezentatywny trend zachodzącego zjawiska. Należy jednak pamiętać o wspomnianych czynnikach podczas konstruowania zakresów alarmowych tak, by nie generować powiadomienia w przypadkach niezwiązanych z faktyczną pracą obiektu.

Analizując pracę systemu w KWB Belchatów możemy określić dokładność pozycjonowania horyzontalnego punktów na poziomie $\pm 10\text{--}20$ mm. Daje to możliwość bardzo precyzyjnego określenia linii trendu postępującego osuwiska. Po odfiltrowaniu takich szeregów danych, przebieg zjawiska można wyznaczyć na poziomie subcentymetrowym. Natomiast wyniki pozycjonowania poziomego punktów kontrolnych (układ odniesienia) za pomocą statycznej metody pomiaru satelitarnego GNSS można oszacować na $\pm 2\text{--}3$ mm. Realizacja układu odniesienia na poziomie o rząd wyższym jest prawidłowa i zgodna ze sztuką geodezyjną.

Pionowe wektory przemieszczeń są najbardziej newralgicznymi elementami charakteryzującymi pracę systemu monitoringu. Z teorii jak i praktyki geodezyjnej wynika, iż pozycjonowanie wysokościowe pozostaje na nieco niższym poziomie dokładnościowym od wyznaczania pozycji horyzontalnych. Spowodowane jest to głównie nierównoległościami linii pionów w miejscu obserwacji oraz celu, jak również wpływem czynników refrakcji. Problemem jest także sama dokładność wyznaczenia lokalnej linii pionu w punkcie pomiarowym. Precyzyjne tachimetry elektroniczne dają możliwość określenia lokalnego pionu z dokładnością $\pm 0,5''\div 1''$, co w znaczny sposób eliminuje jeden z głównych błędów wpływających na wyniki pomiarów tachimetrycznych [5]. Dokładność wyznaczenia przemieszczeń pionowych plasuje się na poziomie od kilku mm dla krótkich celowych (rzędu 250 m) do ± 10 mm w przypadku celowych dłuższych (około 500 m) oraz ± 20 mm przy pomiarach

do punktów znacznie oddalonych (1000 m i więcej), dodatkowo przy znacznych różnicach wysokości (niekiedy rzędu +250 m). Precyzja osiąganych wyników zależy tutaj w głównej mierze od rozpoznania warunków atmosferycznych (system GeoMoS dokonuje automatycznej redukcji pomiarów tachimetrycznych zgodnie z budowanym na bieżąco modelem refrakcji) oraz od posadowienia instrumentu i celu. Solidność wykonania kontenera pomiarowego ze słupem obserwacyjnym jest zatem bardzo istotna. W omawianym przypadku, mamy do czynienia z podejściem rzetelnym, gwarantującym prawidłową stabilność realizacji pomiarów kątów pionowych.

Dodatkowym atutem poprawiającym sprawność działania systemu jest użycie w punktach kontrolowanych odpowiednich lusterek geodezyjnych (GPR112 *Mine-Monitoring Prism*). Są to specjalnie dedykowane celom monitoringu strukturalnego reflektory wyposażone w obudowę z komorą powietrzną, która zapewnia stałość termiczną i higroskopijną powierzchni kryształu, od którego odbijana jest wiązka świetlna wysyłana przez tachimetr.

Podsumowując, na obiekcie KWB Bełchatów stwierdzić można wysoką stabilność pomiarów monitorujących — tak w przypadku tachimetrii precyzyjnej jak i techniki GNSS. Dzięki temu, wyniki obrazujące zachodzące zmiany (szeregi przemieszczeń punktów kontrolowanych w czasie) mogą w sposób wiarygodny zasilać bazę danych kopalnianego systemu informacyjnego.

8. Podsumowanie

Istotną rolę w przeciwdziałaniu powstawania osuwisk odgrywa znajomość charakteru zjawiska. Ostatnie dwa duże osuwiska w KWB Bełchatów dostarczyły bardzo dużo informacji na temat procesów przygotowawczych oraz inicjujących proces osuwiskowy. Określone zostały parametry charakteryzujące poszczególne fazy procesu. Są to dopuszczalne oraz krytyczne wartości przemieszczeń, a także prędkości inicjujące proces osuwiskowy. Dostarczyły także informacji o fazowości tego procesu, charakterze tychże faz i, co najważniejsze, o ich długości.

Dzięki stałemu monitoringowi odkształceń powierzchniowych i wgłębnych, wytypowanych rejonów zboczy stałych, uzyskiwane są na bieżąco informacje pozwalające na odpowiednio wczesne podejmowanie działań zapobiegawczych.

Charakter eksploatacji odkrywkowej, polegający na stopniowym „plastrowym” udostępnianiu i eksploataowaniu złoża, sprzyja stopniowemu rozpoznawaniu struktury geologicznej górotworu. Umożliwia także jego rozpoznawanie poprzez pomiar jego reakcji na działalność wydobywczą. Suma tych informacji oraz doświadczenie kadry inżynierskiej pozwala na odpowiednio wczesne zorientowanie się o skali zagrożenia i podjęcie próby przeciwdziałania rozwojowi wieloskarpowego procesu osuwiskowego.

Działanie zintegrowanego systemu monitoringu przemieszczeń i deformacji zwiększa zatem poziom bezpieczeństwa prac jak również wpływa na efektywność procesów produkcyjnych.

LITERATURA

- [1] *Czarnecki K.*: Geodezja współczesna w zarysie, Wydawnictwo Wiedza i Życie, Warszawa, 1997
- [2] *Guziel A.*: Deformacje górotworu, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2002
- [3] Instytut Techniki Budowlanej: System kompleksowego zarządzania jakością w budownictwie, Bezdotykowe Metody obserwacji i pomiarów obiektów budowlanych, Instrukcje, Wytyczne, Poradniki 443/2009, Warszawa, 2009
- [4] *Karsznia K.*: Nic nie jest statyczne, czyli system strukturalnego monitoringu przemieszczeń i odkształceń Leica GeoMoS, Geodeta — Magazyn Geoinformacyjny Nr 9 (148), wrzesień 2007, s. 54–58
- [5] *Karsznia K.*: Koncepcja pomiaru i wyrównania przestrzennych ciągów tachimetrycznych w zastosowaniach geodezji zintegrowanej, Acta Scientiarum Polonorum, Geodesia et Descriptio Terrarum 7(1) 2008, s. 35–46
- [6] *Maciejewska A.*: Węgiel brunatny jako źródło substancji organicznej i jego wpływ na właściwości gleb, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1998
- [7] *Ostrowska T.M.*: Relacyjne systemy bazodanowe, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2002
- [8] *Piwowarski W., Dżęgniuk B., Niedojadło Z.*: Współczesne teorie ruchów górotworu i ich zastosowania, Wydawnictwa AGH, Kraków, 1995
- [9] *Wolski B.*: Monitoring metrologiczny obiektów geotechnicznych, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2006