ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: GÓRNICTWO z. 246 Nr kol.1480

Ryszard MIELIMĄKA, Krzysztof OPAŁKA
Politechnika Śląska, Gliwice

WSPÓŁCZESNE METODY POMIARU DEFORMACJI POWIERZCHNI TERENU

Streszczenie. Pomiar i opis deformacji powierzchni terenu wynikających z działalności górniczej to zagadnienie złożone, technicznie niejednorodne, często spóźnione w czasie i nie zawsze spełniające wymagania dokładnościowe. Dlatego należy prowadzić badania nad doskonaleniem metod oceny wpływu eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu i obiekty. Zagadnienie to zostało podjęte w artykule, w którym sklasyfikowano nowoczesne techniki pomiarowe służące do badania deformacji i opisano badania z zastosowaniem GPS do wyznaczania przemieszczeń punktów sieci obserwacyjnej. Wyniki badań potwierdziły w pełni przydatność tej technologii w pomiarach deformacji.

MODERN METHODS OF SURFACE AREA DEFORMATION SURVEYS

Summary. The survey and description of surface area deformation, which is an effect of a mine exploitation, is a complicated issue, technically heterogeneous, often carried out too late and not always fulfilling precision demands. That is why researches should be carried out to improve methods of estimation how mine exploitation influences surface area and structures. Modern survey technics were presented and classified. Surveys with the use of GPS technics were carried out to calculate the point's translation on an observational net. Findings prooved GPS method's usability in deformation surveys which are going to be pursued.

1. Wstęp

Podziemna eksploatacja górnicza powoduje naruszenie pierwotnego stanu równowagi górotworu. W górotworze narastają naprężenia, które po przekroczeniu wytrzymałości warstw skalnych prowadzą do deformacji tych warstw, tworząc nieckę poeksploatacyjną. Wszystkie elementy powierzchni terenu znajdujące się w zasięgu tej niecki podlegają przemieszczeniom wywołując skutki określane mianem szkody górnicze. Występują one zarówno w obszarach

kopalń czynnych, jak i likwidowanych, przy czym w odniesieniu do tych drugich proces przekształcania się powierzchni terenu ma charakter długotrwały i wymaga obserwacji na dużych obszarach.

Ustawa z 4 lutego 1994 r. „Prawo geologiczne i górnicze" określa pojęcie szkody i odpowiedzialności za szkody. Również plany zagospodarowania uwzględniają ochronę środowiska w zakresie szkód górniczych. Pomimo to istnieje szereg trudnych do rozwiązania problemów natury technicznej, prawnej i socjalnej związanej z tymi zagadnieniami. Problemy te implikują konieczność badań między innymi nad coraz precyzyjniejszym określeniem ilościowego i jakościowego kształtowania się deformacji.

2. Metodyka pomiarów deformacji powierzchni terenu

Przez pojęcie deformacji ogólnie można rozumieć zmiany położenia punktów w przestrzeni trójwymiarowej, w określonym czasie i układzie odniesienia. Mogą one podlegać obserwacjom „in situ" metodami geodezyjnymi lub fizycznymi, a także być badane i prognozowane metodami eksperymentalnymi, takimi jak badania modelowe z zastosowaniem materiałów ekwiwalentnych lub poprzez zastosowanie symulacji komputerowej. Schemat przedstawiający podział współczesnych metod badania deformacji pokazano na rys. 1.

W praktyce pomiarowej przemieszczenia punktów i inne wskaźniki charakteryzujące deformacje mogą być określane jako wielkości bezwzględne, które są wyznaczane przy zdefiniowanych zewnętrznych układach odniesienia oraz, znacznie częściej, jako wielkości względne. Pomiar wielkości bezwzględnych jest z reguły bardziej skomplikowany technicznie, bardziej czasochłonny i wymaga zastosowania wyrafinowanych technik pomiarowych. Szczególnie trudny jest on na terenach górniczych, gdzie z uwagi na ruchy powierzchni brak jest stałych punktów nawiązania. Zastosowanie nowoczesnych technologii do badania deformacji w znacznej części ułatwia wyznaczenie bezwzględnych przemieszczeń punktów.

W zależności od postawionego celu badań deformacji różny może być zakres obserwacji prowadzonych metodami geodezyjnymi i fizycznymi. W ramach tych badań najczęściej wykonuje się pomiary zmian odległości i wysokości, zmian nachyleń oraz współrzędnych punktów. Dobór metod, zastosowanych przyrządów pomiarowych, rodzaju sieci obserwacyjnej, a także zakresu obserwacji deformacji zależy przy tym, oprócz zdefiniowanego celu badań, również między innymi od takich czynników, jak:

- *rodzaj mierzonych i przewidywanych wielkości deformacji.*

  Wyznaczanie składowych przemieszczeń pionowych na powierzchni terenu sprowadza się do pomiarów wysokościowych na drodze niwelacji geometrycznej, trygonometrycznej, hydrostatycznej, czy też satelitarnej. Przy wyznaczaniu składowych poziomych przemieszczeń punktów wykorzystuje się klasyczne pomiary liniowe i kątowe, tachimetrię elektroniczną, pomiary laserowe, satelitarne, fotogrametryczne oraz pomiary metodami fizycznymi.

- *wymagana dokładność wyznaczenia przemieszczeń.*

  Dokładność pomiaru zależy głównie od metodyki pomiarów, rodzaju sieci obserwacyjnej oraz od zastosowanych przyrządów. Niekiedy zleceniodawca określa wymagania dokładnościowe wyznaczanych wielkości deformacji, do których należy dostosować metodykę.

- *warunki powierzchniowe i geologiczno - górnicze.*

  Sieć obserwacyjna i metody obserwacji muszą być dostosowane do istniejącej infrastruktury powierzchni, a także takich czynników determinujących wielkość, zakres i rozkład deformacji, jak budowa geologiczna złoża i nadkładu, warunki hydrogeologiczne oraz rozkład czasoprzestrzenny eksploatacji górniczej. Istotne znaczenie dla doboru metodyki ma wielkość powierzchni terenu objętej pomiarami deformacji.

- *szybkość ujawniania się deformacji.*

  Znajomość prędkości ujawniania się wpływów jest jednym z ważniejszych czynników determinujących metodę pomiaru. Jest ona ściśle związana z warunkami geologiczno -górniczymi, w tym z prędkością frontu wybierania.

Analizując czynniki determinujące przyjęcie odpowiedniej do stawianego celu badań metodyki pomiarowej nie sposób pominąć również czynnika ekonomicznego i technicznych możliwości zastosowania odpowiedniej aparatury pomiarowej.

W przypadku pomiarów deformacji konstrukcji inżynierskich wpływ na dobór metody mają również takie elementy, jak:

- obciążenia i naprężenia konstrukcji,
- warunki atmosferyczne (zmiany temperatury, wiatr i wilgotność),
- stopień zużycia konstrukcji.

Jak już wcześniej wspomniano, spośród wszystkich metod pomiaru deformacji największe znaczenie praktyczne mają metody geodezyjne, powszechnie stosowane pomimo

ich zasadniczej wady, jaką jest punktowość obserwacji w przestrzeni i w czasie. Aktualnie najczęściej stosowane są metody geodezyjne wykorzystujące nowoczesne instrumenty, a mianowicie: niwelatory kodowe, tachimetry elektroniczne oraz GPS-y i lasery. Pozwalają one zwiększyć dokładność pomiaru, optymalizować kształt i wielkość sieci obserwacyjnej oraz warunki nawiązania. Istotny jest również fakt skrócenia czasu pomiaru, co ma znaczenie w większych sieciach obserwacyjnych i przy znacznych prędkościach ujawniania się wpływów.

Nie mniej ważnym elementem badań deformacji, oprócz określenia metodyki, jest ustalenie właściwego toku realizacji badań. Przykładowy schemat blokowy pomiarów pokazujący kolejność poszczególnych etapów badań oraz ich wzajemne powiązania przedstawiono na rys. 2. Wyróżniono w nim prace jednorazowe i powtarzalne. Niektóre przedstawione elementy mogą nie wystąpić lub mogą być wzajemnie połączone.

Szczególną uwagę należy przypisać etapowi badań deformacji obejmującemu techniczno-ekonomiczne wykorzystanie wyników obserwacji. Wnioski wypływające z jego realizacji mają istotny wpływ na podejmowanie decyzji w procesie projektowania eksploatacji, doskonalenia prognozowania wpływów oraz profilaktyki i likwidacji szkód.

WSPÓŁCZESNE METODY BADANIA DEFORMACJI

Obserwacyjne

Geodezyjne

- niwelacja geometryczna,
- niwelacja trygonometryczna,
- niwelacja hydrostatyczna,
- poligonizacja (sieci trilateracyjne, sieci trygonometryczne) z zastosowaniem tachimetrów elektronicznych,
- satelitarna technika GPS,
- aliniometria laserowa i skaning laserowy,
- fotogrametria analogowa i cyfrowa,
- satelitarna interferometria,

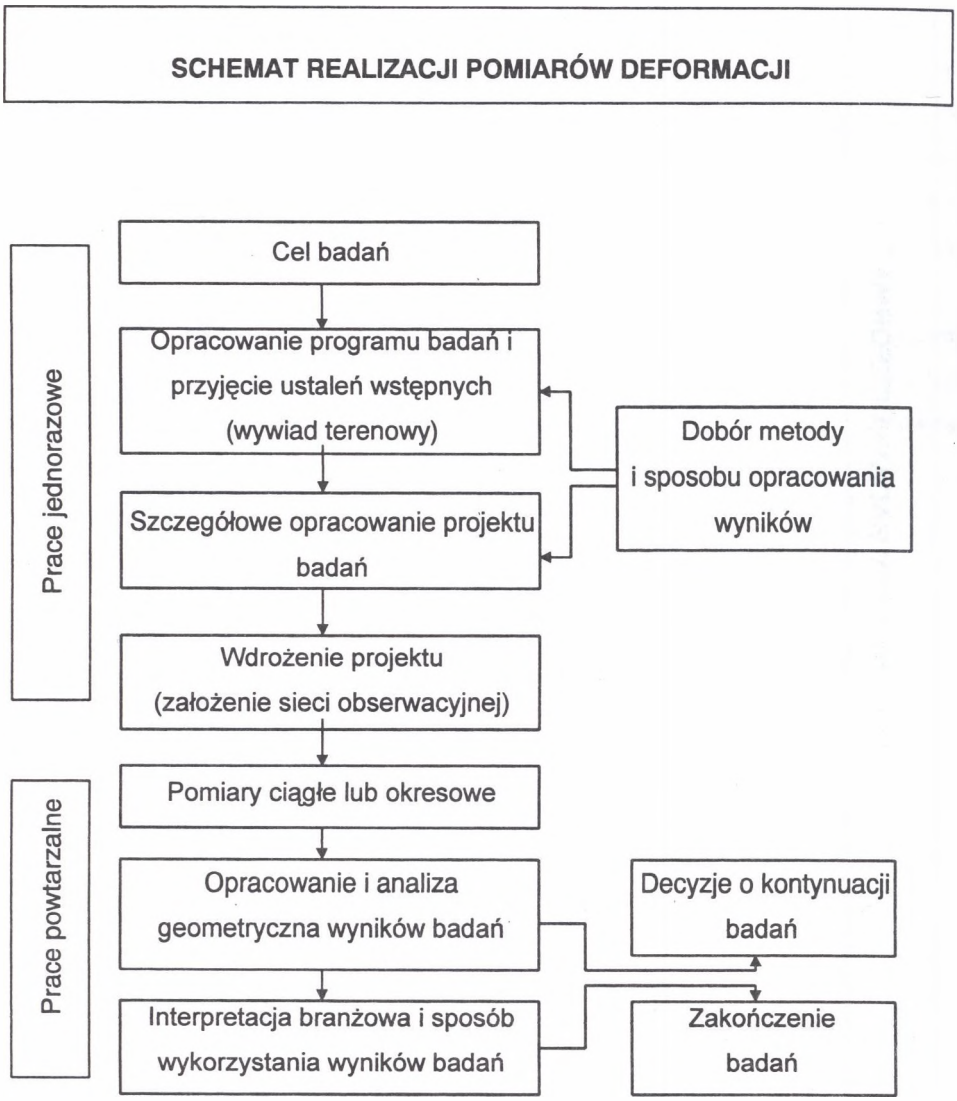
Fizyczne

- wahadła,
- pochyłomierze,
- szczelinomierze,
- inklinometry,
- tensometry,
- przetworniki przemieszczeń

Eksperymentalne

- badania modelowe z zastosowaniem matriałów ekwiwalentnych
- badania z zastosowaniem symulacji komputerowej

Rys. 1. Podział metod badania deformacji powierzchni terenu
Fig. 1. Division of the study methods of surface area deformation



Rys. 2. Etapy realizacji pomiarów deformacji i ich wzajemna zależność
Fig. 2. Stages of the realization of deformation surveys and theirinterdependences

3. Przykład zastosowania nowoczesnej techniki pomiarowej do wyznaczania deformacji powierzchni

Próbę zastosowania nowoczesnej techniki pomiarowej opierającej się na wykorzystaniu odbiorników GPS, tachimetrów elektronicznych oraz niwelatorów kodowych w pomiarach deformacji powierzchni terenu Zakład Geodezji Górniczej Politechniki Śląskiej przeprowadził w O G KWK „Jankowice".

Problemem w pomiarach bezwzględnych przemieszczeń, szczególnie poziomych, metodami klasycznymi jest brak stałych punktów odniesienia. Jedynie na obrzeżach GOP znajdują się punkty, które można uznać za stałe w dłuższym okresie czasu. Pomiar do tych punktów w celu nawiązania lokalnych sieci obserwacyjnych wymagał dotychczas prowadzenia praco- i czasochłonnych pomiarów geodezyjnych.

Rozwój technologii GPS oraz tachimetrii elektronicznej spowodował, że podjęto szereg prób zastosowania ich do wyznaczania bezwzględnych deformacji powierzchni.

Nowoczesną technikę pomiarową wykorzystano przy badaniu deformacji filara ochronnego szybów 5a i 6 KWK „Jankowice". Zastosowana tutaj technologia GPS oparta jest na przestrzennej sieci obserwacyjnej, na której klasyczne pomiary nawiązania zastąpiono pomiarami satelitarnymi. Wynikiem tych pomiarów były współrzędne punktów odniesienia. Te z kolei przy zastosowaniu tachimetrów elektronicznych pozwoliły określić bezwzględne przemieszczenia dowolnych punktów sieci obserwacyjnej służącej do wyznaczania wielkości deformacji powierzchni terenu.

Filar ochronny dla szybów 5a i 6 KWK „Jankowice" podlega stale deformacjom pionowym i poziomym w wyniku eksploatacji pozafilarowej. Znaczny stopień naruszenia górotworu w filarze i w jego otoczeniu, warunki geologiczne oraz tektonika spowodowały niekorzystne sumowanie się deformacji w granicach chronionego terenu, a ich przebieg był nie zawsze zgodny z obliczeniami teoretycznymi. W wyniku ich oddziaływania powstały uszkodzenia obudowy szybu 6, wychylenia rury szybowej i pochylenie wieży szybowej, zmiany w geometrii układu maszyna wyciągowa - wieża szybowa oraz uszkodzenia budynków kubaturowych.

Od czerwca 1992 r. rozpoczęto obserwacje deformacji w granicach filara ochronnego na specjalnie zaprojektowanej osnowie pomiarowej. Składała się ona z poziomej sieci liniowo - kątowej i wysokościowej, w skład której wchodziły 3 linie obserwacyjne (48 punktów), ziemne i ścienne punkty rozproszone, a ponadto punkty na fundamentach zastrzałów wieży

szybowej, na trzonie wieży, budynku i fundamentach maszyny wyciągowej. Szkic sieci pomiarowej przedstawiono na rys. 3.

Obserwacje geodezyjne prowadzono tak, aby w każdym cyklu wyznaczane były bezwzględne wielkości deformacji punktów na powierzchni terenu chronionego i obiektach.

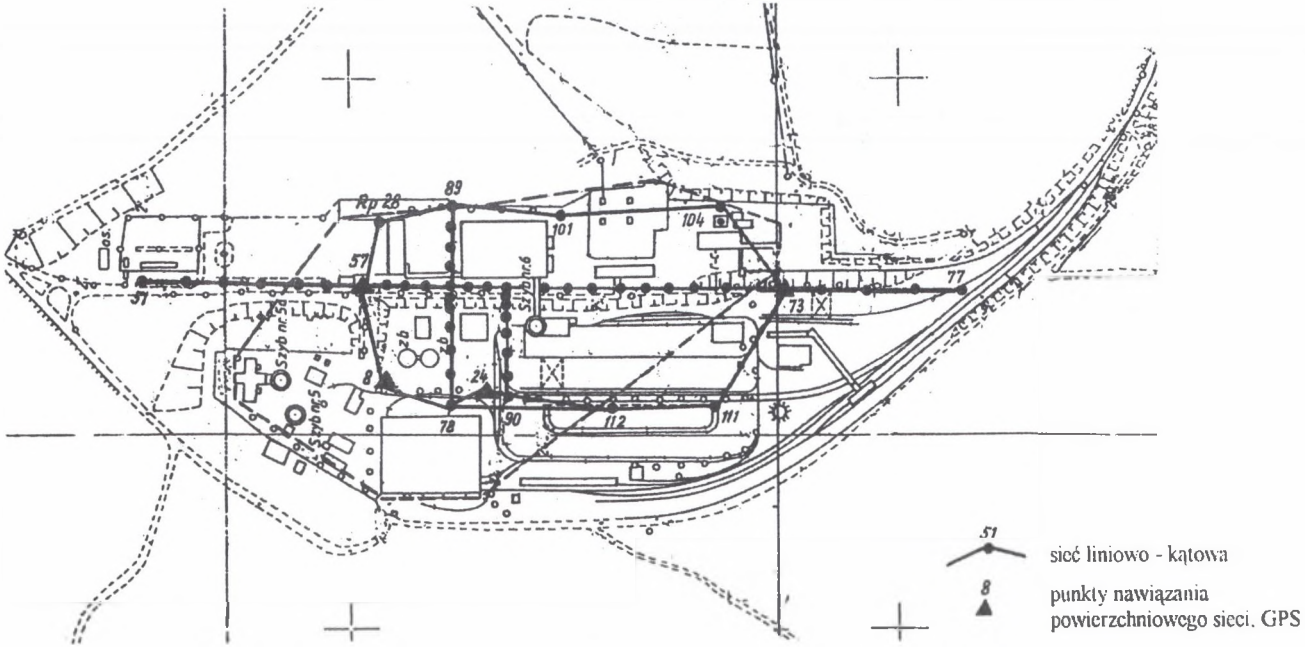
Pomiary wysokościowe nawiązywane były do kontrolowanych pod względem stałości reperów położonych w Boguszowicach i Świerklanach, tj. w odległości 3,5 - 5 km od rejonu obserwacji, i realizowane były techniką niwelacji precyzyjnej z zastosowaniem niwelatorów kodowych i łat inwarowych.

Natomiast pomiary sytuacyjne powierzchniowej sieci obserwacyjnej nawiązywane były do punktów 23, 24 i 8, których współrzędne wyznaczano na drodze wyniesienia giroskopowego z poziomu 565 m, z punktów położonych w rejonie szybu 6 KWK „Jankowice". Punkty pomiarowe położone na tym poziomie uznawane były za stałe i badania kontrolne nie wykazywały zmian ich położenia.

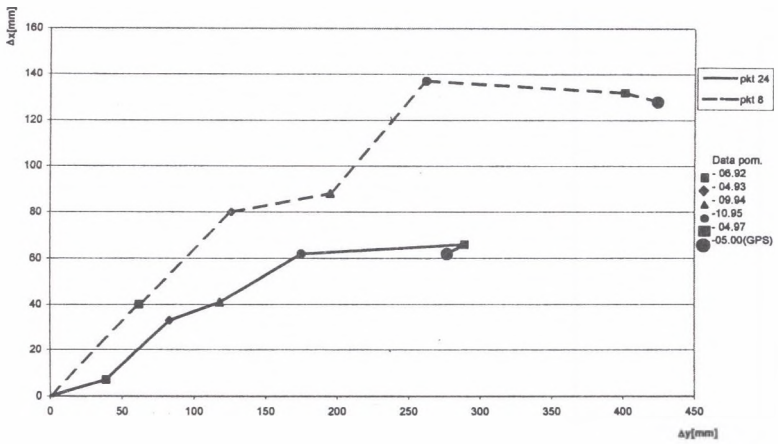
Na podstawie pomiarów wykonanych w latach 1992 - 1999 stwierdzono, że powierzchniowe punkty nawiązania (punkty 23, 24 i 8) sieci obserwacyjnej podlegają stałym przemieszczeniom. Przykładowo, punkt nawiązania nr 8 (rys. 3) w latach 1992-1999 przemieścił się w kierunku północnym o około 440 mm, zaś punkt 24 o około 295 mm w kierunku północnym. Wykres przemieszczeń punktów nawiązania 8 i 24 pokazano na rys. 4.

Prowadzone obserwacje metodami klasycznymi nie pozwoliły w sposób jednoznaczny określić przyczyn tych przemieszczeń, a tym samym odpowiedzieć na pytanie, czy wynikały one wyłącznie z wpływów eksploatacji górniczej, czy też w części z braku stałości punktów na poziomie 565 m.

Aby rozwiązać ten problem, postanowiono wykorzystać do określenia współrzędnych punktów nawiązania technologię GPS. Przeprowadzono pomiary GPS na punktach sieci obserwacyjnej nr 8, 24, 57 i 73 oraz na punktach osnowy podstawowej nr 7 i 301 położonych na terenie filarów ochronnych, w tym na filarze dla zakładu głównego, w odległości około 2,4 km od punktów sieci obserwacyjnej. Ich położenie nie zapewnia wprawdzie w pełni korzystnego układu sieci pod kątem zapewnienia optymalnej wyznaczalności współrzędnych jej punktów, jednakże dobór punktów nawiązania został narzucony warunkami terenowymi i technicznymi. Pierwszy pomiar sieci wykonano w maju 2000 r., zaś następny przewiduje się w IV kwartale 2000 r. Pomiary GPS przeprowadzono metodą statyczną, wykorzystując dwa odbiorniki Geotracer 3220 firmy Spectra Precision. Proces wyrównania obserwacji i obliczeń współrzędnych punktów nawiązania zrealizowano w oparciu o program GeoGenius.



Rys. 3. Szkic sieci obserwacyjnej KWK "Jankowice"
Fig. 3. Sketch of the observational net from coal-mine "Jankowice



Rys.4. Wykres przemieszczeń poziomych punktów nawiązania sieci obserwacyjnej
Fig.4. Chart of horizontal translocation of attachement points of obserwational net

Elementy liniowo – kątowe sieci obserwacyjnej pomierzono stosując tachimetry elektroniczne. Współrzędne punktów sieci obserwacyjnej wyznaczono programem Geonet.

Zastosowane przy badaniu deformacji powierzchni filara ochronnego szybów 5a i 6 technologie pomiarowe pozwoliły uzyskać milimetrowe dokładności zarówno w zakresie pomiarów wysokościowych, jak i pomiarów sytuacyjnych. Tak duża dokładność wykonanych pomiarów ułatwia interpretację wyników, a tym samym pozwala na wyciąganie właściwych wniosków z prowadzonych badań.

Dotychczas wykonane obserwacje w obrębie filara ochronnego szybów 5a i 6 pozwalają stwierdzić, że filar ten od 1992 roku przemieszcza się generalnie w kierunku północno – wschodnim, praktycznie zgodnie z upadem pokładów. Na rys. 4 przedstawiono wykres przemieszczania się dwóch punktów nawiązania w odniesieniu do poprzednich cykli pomiarowych. Na podstawie porównania wyników aktualnego pomiaru (GPS) oraz wyników pomiaru z kwietnia 1997 r. wykonanego w oparciu o nawiązanie wyznaczone na drodze giroskopowego wyniesienia współrzędnych z poziomu 565 m stwierdza się nieco inny obecnie kierunek przesuwania się punktów nawiązania w stosunku do dotychczas obserwowanego. Może to sugerować, że rejon szybu na poziomie 565 m nie jest stały, tylko podlega deformacjom, co wynika również z symulacji przeprowadzonych techniką elementów skończonych. Jednakże brak porównawczego nawiązania nie pozwala jednoznacznie na tym etapie badań potwierdzić tego wniosku i określić, czy ruch filara na wymienionym poziomie występuje i na ile rzutuje on na rozkład deformacji powierzchni wyznaczanych w oparciu o nawiązanie sytuacyjne do punktów położonych na tym poziomie.

Podsumowanie

Zakład Geodezji Górniczej Politechniki Śląskiej prowadzi od wielu lat badania deformacji filara szybów 5a i 6 KWK „Jankowice". Początkowo badania te były realizowane metodami klasycznymi, tj. z użyciem taśmy inwarowej, precyzyjnego teodolitu optycznego oraz precyzyjnego niwelatora samopoziomującego. Z biegiem czasu, wraz z rozwojem bazy instrumentalnej Zakładu, stosowane były w tych badaniach coraz bardziej współczesne techniki pomiarowe bazujące na precyzyjnych tachimetrach elektronicznych oraz precyzyjnych niwelatorach kodowych. W ostatnim cyklu obserwacyjnym wprowadzono do wyznaczenia współrzędnych punktów nawiązania odbiorniki GPS.

Zastosowanie do badań deformacji nowoczesnych przyrządów pomiarowych i związanych z nimi technik pomiarowych pozwoliło na:

- znaczne zwiększenie dokładności i pewności uzyskiwanych wyników obserwacji,
- możliwość szybkiego i stosunkowo prostego wyznaczania przestrzennych współrzędnych punktów nawiązania,
- znaczne skrócenie czasu pomiarów w terenie,
- zwiększenie komfortu pracy i zmniejszenie składu osobowego zespołów pomiarowych,
- pełną automatyzację opracowania wyników pomiarów.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Kazimierz Czopek

Abstract

The problem connected with a surface area deformation survey is a sophisticated issue.

Many problems of technical, social and lawful nature arise. Essential becomes more precise – quantitative and qualitative determination of deformation forming process. The-up-to-date surveying technics were classified. Stages of deformation survey realization and their interdependences were presented. Already initiated deformation surveys with use of satelite GPS technics, in coal mine "Jankowice", were also presented.