ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2002
Seria: GÓRNICTWO z. 254 Nr kol. 1563

Krzysztof OPAŁKA
Politechnika Śląska, Gliwice

POMIARY DEFORMACJI POWIERZCHNI TERENU WYWOŁANYCH PODZIEMNĄ EKSPLOATACJĄ GÓRNICZĄ

Streszczenie. W artykule przedstawiono nowoczesne metody pomiaru deformacji powierzchni terenu. Pokazano kolejność poszczególnych etapów badań i ich wzajemne powiązania. Zwrócono uwagę na niektóre przepisy regulujące ochronę środowiska.

MEASUREMENTS OF SURFACE GROUND DEFORMATIONS EFFECTED BY UNDERGROUND MINING PROCESS

Summary. The paper presents modern methods applied for the measurements of surface ground deformations. The sequence of particular stages of investigation process was presented together with their mutual relations. Some legal regulations involving the protection of environment were emphasized.

1. Wprowadzenie

Polska u progu wejścia do Unii Europejskiej musi skutecznie rozwiązywać problemy ochrony środowiska na terenach górniczych. Po wprowadzeniu w ostatnich latach zmian gospodarczych przemysł górniczy pozostaje w dalszym ciągu istotną gałęzią gospodarki narodowej. Nadal część obszaru Polski znajdować się będzie w zasięgu ujemnego oddziaływania eksploatacji górniczej. Dlatego szczególnego znaczenia nabierają pomiary deformacji powierzchni terenu lub szerzej rozumianego monitoringu środowiska. Eksploatacja górnicza, pomimo że prowadzona będzie w sposób gospodarczo i technicznie uzasadniony, powoduje zmiany w środowisku naturalnym. Wszystkie elementy powierzchni terenu znajdujące się w zasięgu wpływów eksploatacji górniczej podlegają przemieszczeniom, wywołując skutki określane mianem szkody górnicze. Występują one

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

Polska w okresie poprzedzającym przystąpienie do Unii Europejskiej wydała szereg ustaw regulujących ochronę środowiska. Wśród nich dwa ważne akty prawne:

- Prawo ochrony środowiska (Ustawa z dnia z dnia 27 kwietnia 2001 r.),
- Prawo geologiczne i górnicze (Ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. znowelizowana 27 lipca 2001 r.).

W myśl pierwszego aktu prawnego przez ochronę środowiska rozumie się podjęcie lub zaniechanie działań umożliwiających zachowanie lub przywracanie równowagi przyrodniczej. Polega to na racjonalnym kształtowaniu środowiska zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju i przywracania elementów przyrodniczych do stanu pierwotnego. Zakład górniczy prowadzący wydobywanie kopaliny zobowiązany jest do minimalizowania ujemnych skutków działalności górniczej poprzez stosowanie odpowiedniej profilaktyki górniczej i budowlanej w zakresie przystosowania powierzchni terenu, obiektów i uzbrojenia terenu do przyjęcia deformacji z tytułu eksploatacji górniczej. Inny artykuł tego prawa mówi, że władający powierzchnią ziemi, na której występuje szkoda, jest zobowiązany do przeprowadzenia rekultywacji. Do odpowiedzialności za szkody spowodowane oddziaływaniem eksploatacji górniczej na środowisko stosuje się przepisy Kodeksu Cywilnego.

W drugiej ustawie, jaką jest „Prawo geologiczne i górnicze", jest dział dotyczący odpowiedzialności za szkody. Mówi on, że za szkodę, jak i przywrócenie stanu poprzedniego odpowiada zakład górniczy. Również jeżeli szkoda nastąpiła z innych przyczyn niż ruch zakładu górniczego, odpowiedzialność przedsiębiorcy i innych osób jest solidarna. Przywrócenie stanu poprzedniego może nastąpić przez dostarczenie gruntów, obiektów budowlanych, urządzeń, lokali, wody lub innych dóbr tego samego rodzaju. Jeżeli nie jest możliwe przywrócenie stanu poprzedniego lub koszty tego przywrócenia rażąco przekraczałyby wielkość poniesionej szkody, naprawienie szkody następuje przez zapłatę odszkodowania. Opracowane zostały również wytyczne do procedur i wykonywania ocen oddziaływania na środowisko.

Pomimo to istnieje szereg trudnych do rozwiązania problemów natury technicznej, prawnej i socjalnej związanej z deformacjami powierzchni terenu z tytułu eksploatacji górniczej. Problemy te implikują konieczność badań między innymi nad coraz

precyzyjniejszym określeniem ilościowego i jakościowego kształtowania się deformacji powierzchni terenu.

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 sypkich, ekwiwalentnych lub poprzez zastosowanie symulacji komputerowej. Pomiary przemieszczeń punktów mogą być określane jako wielkości względne lub też bezwzględne wyznaczane przy zdefiniowanych zewnętrznych układach odniesienia. Pomiar wielkości bezwzględnych jest z reguły bardziej skomplikowany technicznie, czasochłonny i wymaga zastosowania odpowiednich 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.

Dobór metod pomiaru, zastosowanych przyrządów, rodzaju sieci obserwacyjnej, zależy przede wszystkim od celu badań, ale również od takich czynników, jak:

- *rodzaju wyznaczanych 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, radarowe, fotogrametryczne oraz pomiary metodami fizycznymi.

- *wymaganej dokładności wyznaczenia przemieszczeń,*

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

- *warunków powierzchniowych i geologiczno-górniczych,*

  Do warunków mających wpływ na wybór metody należy zaliczyć budowę geologiczną złoża i nadkładu, budowę hydrogeologiczną, tektonikę oraz rozkład czasoprzestrzenny eksploatacji górniczej. Istotne znaczenie ma również infrastruktura i wielkość powierzchni terenu objętej pomiarami deformacji.
- *szybkości 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.

Również nie bez znaczenia jest czynnik ekonomiczny i techniczny w zakresie możliwości zastosowania odpowiedniej aparatury pomiarowej.

W przypadku pomiarów deformacji, gdy na powierzchni terenu znajdują się obiekty inżynierskie, wpływ na dobór metody mają również takie czynniki, jak:

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

Na rysunku 1 przedstawiono podział metod pomiaru deformacji powierzchni terenu.

Najczęściej wykorzystywane są klasyczne **metody geodezyjne** (tachimetria, niwelacja), pomimo ich zasadniczej wady, jaką jest punktowość obserwacji w przestrzeni i w czasie. Coraz powszechniej wykorzystuje się nowoczesne instrumenty, a mianowicie: niwelatory cyfrowe i tachimetry elektroniczne. Pozwalają one zwiększyć dokładność pomiaru, optymalizować kształt i wielkość sieci obserwacyjnej oraz ułatwiają nawiązanie pomiarów do punktów stałych. W ramach tych badań wykonuje się zasadniczo pomiary odległości, wysokości i nachyleń oraz współrzędnych punktów. Jednym z najistotniejszych zagadnień w pomiarach deformacji metodami geodezyjnymi jest rodzaj i kształt osnowy pomiarowej. Musi być tak zaprojektowana, aby umożliwiała pomiar deformacji powierzchni zachodzących w czasie i przestrzeni.

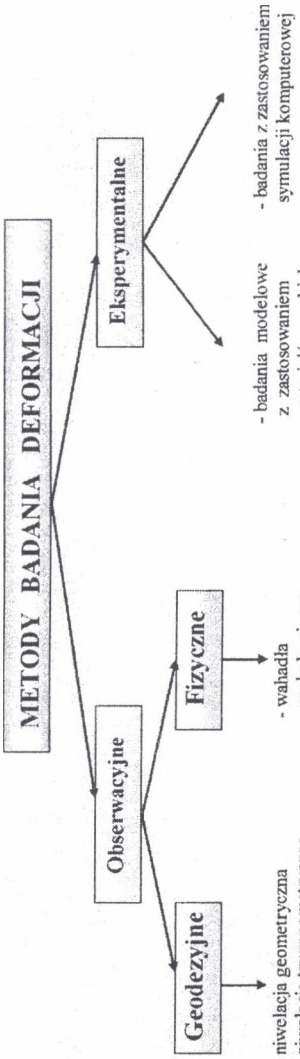
Do najczęściej stosowanych osnów obserwacyjnych należą:

- pojedyncza linia pomiarowa,
- zespół linii pomiarowych (najczęściej układ 2 –3 linii wzajemnie prostopadłych),
- sieć obserwacyjna kątowo–liniowa (trygonometryczna),
- sieć liniowa (trilateracyjna),
- sieć punktów rozproszonych,

– gniazda punktów obserwacyjnych.

Wybór i kształt osnowy obserwacyjnej, a tym samym dobór zastosowanych przyrządów i technik pomiarowych uzależniony jest od celu prowadzonych badań i infrastruktury powierzchni terenu.

Metody fizyczne mają ograniczony zakres badawczy sprowadzający się najczęściej do lokalnych obserwacji obiektów inżynierskich.



Rys.1. Podział współczesnych metod badania deformacji powierzchni terenu
Fig 1. Currently applied investigation methods of surface ground deformation

Metody eksperymentalne pozwalają zasadniczo symulować rozkład czaso- przestrzenny deformacji i mają przede wszystkim znaczenie naukowe.

Technika GPS w badaniu deformacji pogórniczych umożliwia określanie pozycji punktów obserwacyjnych w dowolnym miejscu powierzchni terenu. Pomiar współrzędnych oparty jest na rozwiązywaniu wcięcia liniowego wstecz do satelitów. Problemem w pomiarach bezwzględnych przemieszczeń, szczególnie poziomych, jest brak stałych punktów odniesienia. Jedynie w znacznej odległości od obrzeży eksploatacji znajdują się punkty stałe w dłuższym czasie. Nawiązanie do tych punktów lokalnych sieci obserwacyjnych wymaga prowadzenia praco- i czasochłonnych pomiarów. Dopiero zastosowanie technologii GPS pozwoliło stworzyć zintegrowane sieci obserwacyjne i zastąpić klasyczne pomiary nawiązania pomiarami satelitarnymi. Te z kolei uzupełnione pomiarami tachimetrii elektronicznej pozwalają określać bezwzględne wartości przemieszczeń dowolnych punktów sieci obserwacyjnych. W Polsce metody te są coraz powszechniej stosowane.

Metody wykorzystujące **skaning laserowy** oparte są na laserowym pomiarze odległości między dowolnymi punktami z dużą szybkością z równoczesnym określaniem współrzędnych płaskich tych punktów. Prędkość skanowania wynosi około 500 punktów na sekundę. Powstaje wówczas numeryczny model powierzchni terenu (obiektu), który porównuje się ze stanem pierwotnym. Aktualnie laserowe skanery naziemne mają jeszcze ograniczony zasięg pomiaru. Jednak rozwój tej technologii wskazuje na możliwość zwiększenia zasięgu pomiaru odległości i co bardzo istotne, obniżenia kosztów badań. W ostatnim okresie prowadzone są badania nad nową technologią otrzymywania danych o rzeźbie deformowanego terenu oparte na lotniczym skanerze laserowym. Metoda ta polega na laserowym pomiarze odległości z lecącego samolotu do punktów powierzchni terenu. Przy współpracy z systemem GPS określana jest pozycja samolotu, nachylenie głowicy skanującej oraz współrzędne terenowe X, Y, Z punktów, do których wycelowany był laser. Technika skaningu laserowego, choć znana jest dopiero od kilku lat, znalazła już zastosowanie do obrazowania obszarów kopalń odkrywkowych i rejestracji zmian przestrzennego modelu powierzchni terenu i obiektów w rejonach występowania deformacji pogórniczych.

Satelitarna interferometria radarowa wykorzystuje zdjęcia SAR (Synthetic Aparature Radar) uzyskane w określonym czasie i obszarze. Wykonywanie radiogramów polega na rejestracji przez satelitę odbitej od powierzchni terenu fali radarowej. Jest to metoda teledetekcyjna wykorzystująca wartości sygnału radarowego dwóch zdjęć. Otrzymany obraz

umożliwia śledzenie zmian wysokości powierzchni terenu. Okres dla satelitów ERS pomiędzy kolejnymi skanowaniami tego samego obszaru wynosi 35 dni, a to pozwala na obserwację deformacji przebiegających na dużych obszarach w długich horyzontach czasu. Pierwsze badania przeprowadzono w Polsce pod koniec lat dziewięćdziesiatych na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, a w następnych latach na terenie Legnicko–Głogowskiego Okręgu Miedziowego.

Przez pojęcie **metod geofizycznych** rozumiane jest badanie deformacji poprzez rejestrowanie zmian parametrów i pól fizycznych górotworu na skutek prowadzonej eksploatacji górniczej. Obserwacje zmian zachodzących szczególnie w przypowierzchniowej warstwie górotworu prowadzone są różnymi metodami, między innymi: metodą sondowania elektromagnetycznego, sejsmicznego czy grawimetrycznego. Badania te znalazły zastosowanie głównie w pomiarach deformacji nieciągłych, a w mniejszym stopniu do oceny zachowania się skał górotworu w wyniku kształtowania się niecki osiadania. Coraz doskonalsze przyrządy, a zatem precyzyjniejsza interpretacja wyników pomiarów geofizycznych, w połączeniu z tradycyjnymi obserwacjami geodezyjnymi i z pomiarami tensometrycznymi dostarczają coraz więcej informacji o deformowanej powierzchni terenu.

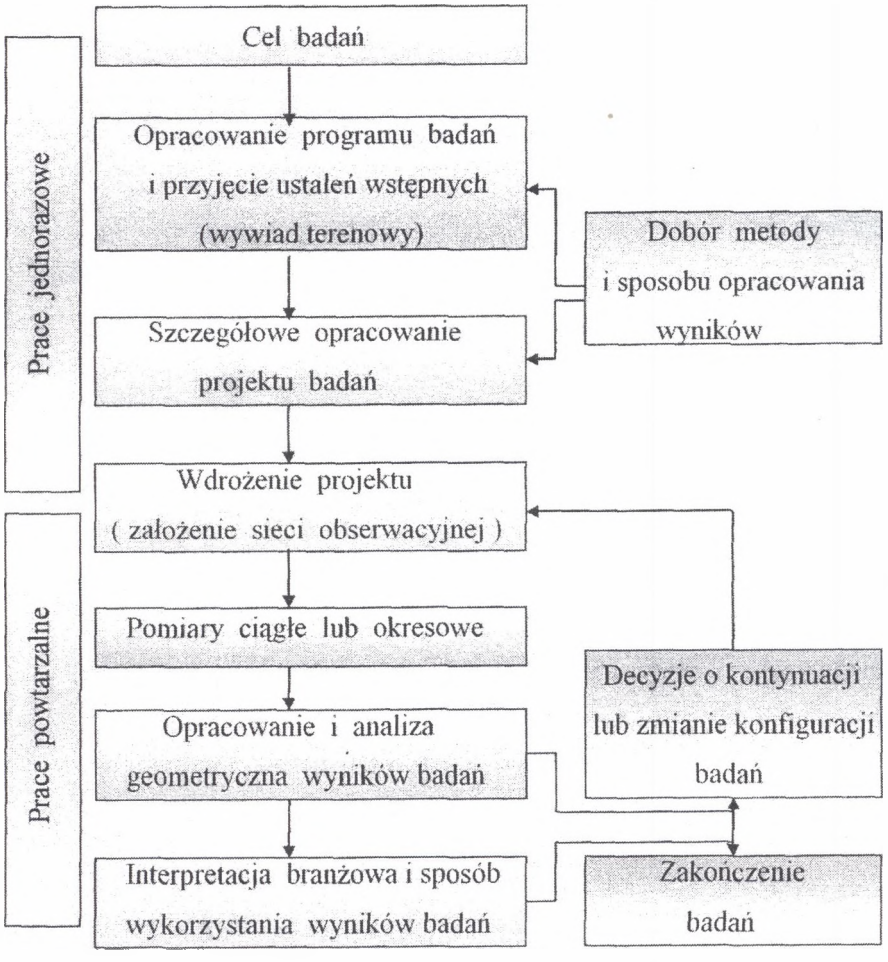
Niemniej ważnym elementem badań deformacji, oprócz wyboru metody, jest ustalenie właściwego toku realizacji badań. Schemat blokowy pokazujący kolejność poszczególnych etapów badań oraz ich wzajemne powiązania przedstawiono na rys. 2. Wyróżniono w nim prace jednorazowe i powtarzalne. Niektóre przedstawione elementy mogą nie wystąpić lub mogą być wzajemnie połączone. Szczególną uwagę należy przypisać etapowi badań deformacji obejmującemu interpretacje branżową i sposób wykorzystania wyników obserwacji. Wnioski wypływające z jego realizacji mają istotny wpływ na podejmowanie decyzji w procesie projektowania eksploatacji, doskonalenia metod prognozowania wpływów oraz profilaktyki i likwidacji szkód.

3. Podsumowanie

Górnictwo pozostaje nadal istotną gałęzią gospodarki. Będzie ono powodowało niekorzystne zmiany w środowisku. Jedną z metod oceny szkodliwości tej działalności są badania deformacji powierzchni terenu stanowiącego element monitoringu środowiska na terenach górniczych.

Rozwijające się w ostatnich latach nowe technologie pomiarowe, w szczególności techniki satelitarne, laserowe, geofizyczne, powstające nowoczesne instrumenty (total station) w połączeniu z techniką komputerową umożliwiają dokładniejsze i kompleksowe oceny zmian środowiska naturalnego.

Schemat realizacji pomiarów deformacji



Rys. 2. Etapy realizacji pomiarów deformacji
Fig. 2. Realization stages of deformation measurements

Większość z przedstawionych metod pomiaru deformacji jest już stosowana w Polsce. Inne, jak np. skaning laserowy, który jest na etapie rozwoju w celu podniesienia dokładności, miniaturyzacji instrumentu i obniżenia kosztów, nie są jeszcze w Polsce wykorzystywane.

Powstało również szereg ustaw związanych z ochroną środowiska. Zobowiązują one zakład górniczy do minimalizacji ujemnych skutków działalności górniczej, regulują odpowiedzialność za szkody, jak również określają procedury dostosowawcze do Unii Europejskiej w zakresie ochrony środowiska.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Piotr Trzcionka

Abstract

Mining exploitation results in various changes to the natural environment. All points of surface ground being under the influence of mining exploitation are subject to dislocations. They occur both in active coal mines and those which undergo the liquidation process. One of the methods estimating the negative influence effected by mining process is the investigation of surface ground deformation as an element of environmental monitoring. Recently we have witnessed the development of satellite, laser, radar and geophysical methods. Modern electronic instruments together with computer technology have afforded more accurate and complex investigation potentials. Most of those methods are already applied in Poland, which facilitates decision making involving the management of environment.