

*pomiary geodezyjne, reper,
deformacje, prognoza, teren górniczy*

Tadeusz GŁOWACKI*

OPRACOWANIE PROGNOZY PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH TERENU GÓRNICZEGO ZG „KONRAD” W IWINACH

Pomiary geodezyjne na terenach górniczych stanowią podstawowe źródło informacji o deformacjach terenu, w tym o przemieszczeniach pionowych. Prognoza zmian przemieszczeń pionowych terenu pozwala na prowadzenie racjonalnej gospodarki przestrzennej w obszarze będącym pod wpływem działalności kopalni. W artykule przedstawiono wyniki niwelacyjnych pomiarów geodezyjnych na terenie kopalni ZG „Konrad” w Iwinach. Obliczone zostały wskaźniki deformacji terenu górniczego, przeprowadzono prognozę obniżen terenu górniczego metodą Budryka-Knothe’go na lata 2000–2010, oraz weryfikację prognozy na podstawie pomiarów geodezyjnych.

1. WSTĘP

Eksploatacja górnicza wpływa negatywnie na wszystkie elementy środowiska. Procesy związane z eksploatacją górniczą, w tym głównie procesy deformacji terenu prowadzą do wielu niekorzystnych zmian w środowisku nazywanych ogólnie wpływem eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu. Deformacje powierzchni uwiadcniają się głównie poprzez powstawanie niecki osiadań. Tworzenie się niecki ma charakter ciągły i objawia się w formie łagodnych rozległych obniżen terenu, powstających w wyniku działania sił grawitacyjnych nad pustymi przestrzeniami w górotworze.

Górnictwo rud jest najstarszym górnictwem w świecie. Do końca XVIII wieku eksploatowano tylko surowce mineralne. Podczas eksploatacji surowców skalnych nie występowały problemy związane ze szkodami górniczymi, ponieważ surowce mineralne występują najczęściej na małych obszarach. Na tych obszarach nie występowały

* Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa, pl. Teatralny 2, 50-051 Wrocław.

ruchy terenu i eksploatacja nie powodowała szkód górniczych. Na początku XIX wieku, kiedy zaczęto eksploatować węgiel, sytuacja się zmieniła. Prace wydobywcze powodowały deformacje ciągłe i nieciągłe. Im bardziej zwiększała się głębokość eksploatacji, tym więcej pojawiało się niecek osiadań terenu [2].

Prognozowanie deformacji, które zostały spowodowane przez eksploatację podziemną jest trudne, nieznana jest dokładna budowa geologiczna górotworu zalegającego nad wydobywanymi pokładami, warunki hydrogeologiczne są słabo rozpoznane. Przy pomocy modelu teoretycznego Budryka–Knothege można prognozować przewidywane wielkości osiadań terenu na podstawie wyznaczonego wskaźnika deformacji a , znajomości miąższości złoża g [2].

Podstawowymi metodami wyznaczenia deformacji terenu wywołanymi pracami eksploatacyjnymi, są metody geodezyjne, dzięki nim można obrazować zachodzące zmiany na powierzchni terenu. Wieloletnie doświadczenia wykazały, że deformacje wyznaczane na drodze obserwacji geodezyjnych są niepodważalne, oczywiście przy właściwie dobranej i realizowanej technologii pomiarowej. Pomiary geodezyjne służą ponadto do weryfikacji założeń teoretycznych wyznaczonych w modelu obliczeniowym.

2. CHARAKTERYSTYKA ZAKŁADÓW GÓRNICZYCH „KONRAD”

Zakłady Górnicze „Konrad” składały się z dwóch kopalni: „Konrad” i „Lubichów”. W kopalni „Konrad” eksploatowane były margle miedzionośne z poziomu czeszczyńskiego. Kopalnia położona jest w geologicznych utworach niecki grodzieckiej, stanowiącej fragment niecki północnosudeckiej. Kopalnia „Lubichów” eksploatowała połady margli we wschodniej części niecki. Niecka grodziecka ciągnie się od Nowej Wsi Grodzieckiej na południowym wschodzie, do Tomaszowa Bolesławickiego na północnym zachodzie. W rejonie Tomaszowa spąg zapada się na głębokość 1200 m na linii uskoku Kruszyna–Tomaszów. Kopalnia eksploatowała pokłady margli we wschodnim skrzydle niecki. Nieckę ograniczają nasunięcie Libichowa i uskoku jержmanicki [1, 7].

Budowa geologiczna oraz tektonika niecki grodzieckiej opisywana była przez wielu autorów na przestrzeni wielu lat. Ilustruje ją mapka geologiczna (rys. 1) opracowana na podstawie J. Sawickiego z 2000 roku [7].

Złoże rudy miedzi tworzy seria marglisto-wapienna. Miąższość złoża wynosi średnio 1,36 m, a w rejonie Grodzca i kopalni „Lubichów” 1,8 m, zaś w kopalni „Konrad” 2,0 m. Kompleks warstw złożowych został podzielony na bloki o średnim upadzie 13° w kierunku SW, wzrastającym przy wychodniach, a malejącym przy upadzie warstw. Seria okruszczowana wykazuje stałą miąższość z dużymi wahaniami mineralizacji w pionie, co utrudnia eksploatację. Warstwy stropowe i spągowe w wyrobiskach eksploatacyjnych są zwięzłe.

3. METODYKA POMIARÓW GEODEZYJNYCH

Metody geodezyjne, wykorzystywane w pomiarach deformacji są metodami dyskretnymi, tzn. wyznaczane są przemieszczenia pionowe i poziome punktów, a na tej podstawie wysuwane są wnioski o zmianach ukształtowania powierzchni terenu, obiektów czy urządzeń, na których punkty zostały założone. Punkty kontrolne powiązane są w powierzchniowe sieci i ciągi linii obserwacyjnych. Na obszarze ZG „Konrad” założonych zostało 15 linii kontrolnych. W pomiarach deformacji terenu metodami geodezyjnymi istotną rolę, tak o znaczeniu praktycznym, jak i ekonomicznym, odgrywa częstotliwość wykonywania pomiarów. Pomiar geodezyjne nie mogą być wykonywane zbyt często, jak również w zbyt długich odstępach czasu. Pomiar w krótkich odstępach czasu może nie wykazać wskaźników deformacji, które są zawarte w granicach dokładności pomiarowej. Zachodzi w takim wypadku niebezpieczeństwo, że nie rozpoznana zostanie faktyczna wielkość deformacji. Z drugiej strony, pomiary wykonywane w długich odstępach czasu nie wykazują dynamiki i okresu zmian ukształtowania terenu. Dokładność, z jaką wyznaczane są wskaźniki deformacji powinny też decydować o terminie zakończenia obserwacji.

Przyjmowane jest założenie, że zmiany wartości przemieszczenia pionowego w dwóch kolejnych cyklach obserwacyjnych wyznaczają granice dokładności pomiaru wysokościowego. Obliczając całą sieć wysokościową, przy uwzględnieniu błędnego położenia punktów nawiazania, uzyskuje się wyrównane wysokości punktów, oraz błędy średnie ich wyznaczenia ($m_{H_i}^A, m_{H_i}^P$). Uzyskane wartości, wykorzystuje się do ustalenia wartości zmian wysokościowych, które w danej serii obserwacyjnej mogą być traktowane jako przemieszczenia pewne.

W przypadku przyjęcia stałości punktu nawiazania w II klasie niwelacji precyzyjnej, jako pewne będzie można traktować zmiany wysokości od około 3,0 mm przy odległości 1 km od punktu nawiazania, do około 9,0 mm przy odległości około 10 km [2]. Pomiary geodezyjne na terenie ZG „Konrad”, zgodnie z przyjętymi założeniami wykonywane były cyklicznie, w równych odstępach czasu, raz w roku [3, 5].

4. ANALIZA POMIARÓW PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH

Prowadzenie pomiarów geodezyjnych przemieszczeń punktów kontrolnych znajdujących się na terenach górniczych powierzono było Działowi Mierniczemu kopalni „Konrad”. Pomiary niwelacyjne prowadzono systematycznie, na początku lat 70. zostały określone deformacje powierzchni spowodowane eksploatacją płytko występującego złoża (70–200 m) z elastycznym ugięciem stropu na terenie kopalni Grodziec, eksploatację prowadzoną z podsadzka płynną na głębokości 150 m na kopalni „Konrad”, oraz metodą na zawał prowadzoną na głębokości 175 m w kopalni „Lubichów” [6].

Podsadzanie przestrzeni wpływa na łagodne wykształcenie się niecki, a osiadanie nie powoduje większych szkód na powierzchni. Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń współczynników osiadania, oraz współczynnika czasu dla ZG „Konrad” z początku lat 70., dla zobrazowania problemu deformacji terenu z możliwością określenia osiadania, a następnie weryfikacją kolejnymi pomiarami wykorzystanych zadań teoretycznych. Wartość współczynnika osiadania zmienia się zależnie od technologii eksploatacji złoża.

Krótką charakterystyka metod eksploatacji:

1. Prace wydobywcze w technologii opartej na podsadźce płynnej polegają na rozcinaniu złóż w bloku eksploatacyjnym co 50 do 60 m, długość ściany do 80 m, skośne usytuowanie frontu, dwie ściany równoległe z wyprzedzeniem 8 m, wysokość piętra ok. 50 m, nachylenie pokładu od 10° do 13° , podsadzką płynną likwidowane są przestrzenie po wydobywcze postęp robót to 0,8 m/dobę, czyli ok. 6–8 ton/dobę.
2. Eksploatacja z ugięciem stropu powoduje poważne odkształcenia powierzchni, które z reguły przebiegają w sposób ciągły. Złoże rozcinane jest wyrobiskami przy ścianowymi, ściany długości 100–150 m prowadzą po rozciągłości, odległość pomiędzy wyrobiskami po upadzie wynosi 80 m, wybrane przestrzenie podsadzano w szachownicę, stosami drewnianymi wypełnionymi skałą płoną, w rozstawie po upadzie co 3 m i 1,2 m po rozciągłości, postęp robót w tej technologii to 0,5 m/dobę, 4–6 ton/dobę [6].
3. W Systemie eksploatacji „na zawał”, Ściany rozcinane są podłużnie, w blokach eksploatacyjnych średnio co 65 m wyrobiskami przyścianowymi, upad od 10° do 13° , przestrzeń wybraną likwiduje się poprzez zawał stropu o kroku 1,2 lub 1,6 m, postęp średni ścian zawałowych to 1,6 m/dobę – 13,5 tony/dobę [6]. Jego wpływ na powierzchnie jest znaczny, lecz deformacje przebiegają w sposób ciągły. System ten ze względów ekonomicznych został wybrany, jako dominujący w Zakładach Górniczych „Konrad”.

Do obliczenia współczynnika osiadania wybrano z katalogu repery, które w dużym stopniu gwarantują maksymalne osiadanie spowodowane wybraniem przestrzeni eksploatacyjnej. Wszystkie punkty pomiarowe znajdują się w promieniu do 700 m, od granicy eksploatacji. Obliczenia wykonano na podstawie wzorów Knothego [2].

Średnia wartość współczynnika osiadania, zależnie od sposobu eksploatacji, przyjętego w kopalni, wynosi:

- z podsadzką płynną 0,09 mm/m, co dowodzi, że ten sposób eksploatacji daje dobrą ochronę powierzchni,
- z ugięciem stropu 0,75 mm/m,
- na zawał, współczynnik osiadania wynosi 0,75, ze względów ekonomicznych metoda najczęściej stosowana w omawianych zakładach górniczych.

Osiadanie reperów zależy od wybranej powierzchni strefy wpływów, do czasu wybrania 15% powierzchni osiadania są bardzo małe, intensyfikacja występuje w okresie

wybierania 15–80% powierzchni potrzebnej do maksymalnego osiadania terenu, co można zaobserwować w wynikach pomiarów niwelacyjnych punktów kontrolnych w kolejnych latach pomiaru [6]. Całkowity okres ruchów powierzchni powinien się skończyć po upływie 1–1,5 roku po zakończeniu eksploatacji, niezależnie od sposobu prowadzenia wydobywania rudy.

Tabela 1. Wyniki obliczeń współczynnika osiadania a
Tabela 1. Displacement coefficient calculation

Nr reperu	Osiadanie W [mm]	Miąższość złoża g [m]	Współczynnik osiadania a [mm/m]	Metoda eksploatacji
164	170	1,8	0,094	podszadzka
159	175	1,8	0,086	podszadzka
82	155	1,8	0,086	podszadzka
12	175	2,1	0,083	podszadzka
13	166	2,0	0,083	podszadzka
94	1410	1,7	0,829	ugięcie stropu
95	1335	1,8	0,763	ugięcie stropu
51	1209	1,8	0,687	ugięcie stropu
101	1276	1,8	0,713	ugięcie stropu
103	1226	1,7	0,721	zawał
105	1225	1,6	0,766	zawał
68	1342	1,8	0,746	zawał
74	1424	1,9	0,749	zawał

5. PROGNOZA DEFORMACJI TERENU GÓRNICZEGO

Sposoby obliczania deformacji i przemieszczeń górotworu opiera się na założeniach geometrycznych, które nazywane są *metodami całkowymi*. Dla każdego punktu górotworu, w tym modelu, przypisuje się funkcję wpływów. Funkcja wpływów ma takie własności, że całka z tej funkcji jest miarą końcowego obniżenia punktu, który wywołany został przez wybraniem pokładu na tym obszarze. Teoria Budryka–Knothego wiąże się z prognozowaniem wpływów bezpośrednich i statycznych, które spowodowane są robotami górniczymi na złożu pokładowym zalegającym poziomo. Spełnia ona postulaty: superpozycja i proporcjonalność wpływów, nieściśliwość gruntu oraz tranzytywność niecki osiadań. Wzory teorii Budryka–Knothego dotyczące wskaźników deformacji zostały wprowadzone dla robót górniczych w formie *nieskończonej półplaszczyny*. Przy użyciu wzorów Knothego możliwe jest obliczanie wskaźników dla eksploatacji kołowej. Zgodnie z teorią Budryka–Knothego do wyznaczenia wartości odkształceń pionowych potrzebna jest znajomość wartości obniżeń pionowych. Aby je wyznaczyć należy założyć dla poszczególnych poziomów współrzędną z zgodnie z teorią o gaussowski rozkład obniżeń [2].

Prognoza deformacji obejmuje obliczenie przewidywanych wskaźników deformacji na podstawie wyznaczonych wskaźników z pomiarów bezpośrednich. Do prognozy zostały wykorzystane współczynnik osiadania 0,75, co odpowiada najbardziej intensywnym osiadaniom. Wielkość współczynnika została dobrana do dominującej metody eksploatacji w omawianych zakładach górniczych. Zgodnie z opisanymi wcześniej parametrami eksploatacji przeprowadzona została prognoza deformacji terenu górniczego na lata 2000–2010, czyli po zakończeniu działalności zakładów górniczych „Konrad”. Elementy kontrolne wykorzystane w prognozie zostały uogólnione dla założeń eksploatacyjnych dotyczących całej kopalni.

Dla potrzeb obliczeń przyjęto następujące parametry eksploatacyjne:

1. Uśredniony, jeden pokład na głębokości 620 m,
2. Furta eksploatacyjna o grubości 2 m,
3. Współczynnik eksploatacji dla zawалу stropu – najczęściej stosowanej technologii eksploatacji – 0,75 mm/m,
4. Średni kąt upadu 10°, azymut kąta upadu 130°.
5. W obliczeniach przyjęto okres eksploatacji w latach 1957–1987 roku.

Obliczenia przeprowadzono według wzorów Knothego [2]. Wartości wynikowe zostały przedstawione na mapie osiadań terenu górniczego (rys. 2).

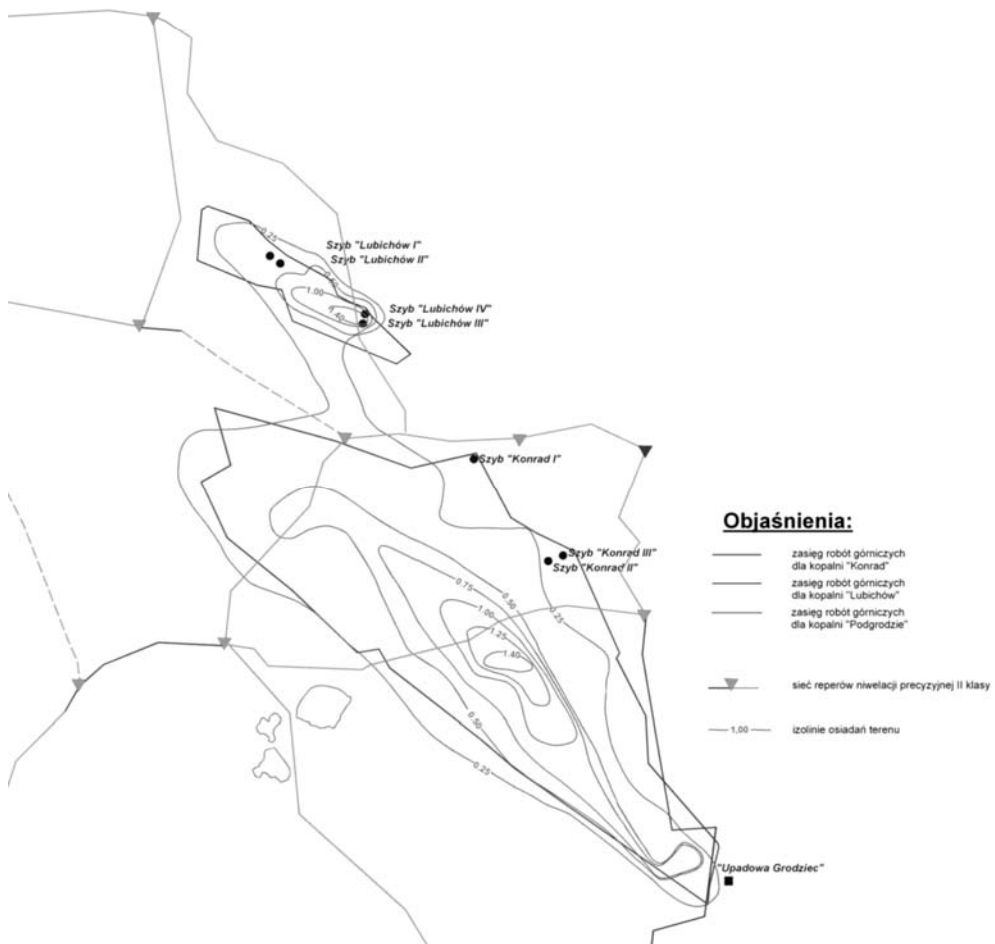
Weryfikację dokonanych obliczeń teoretycznych można przeprowadzić analizując wyniki pomiarów terenowych w latach późniejszych, już po ukształtowaniu się niecki osiadań. Punkty na kontrolnych liniach pomiarowych mierzone były raz w roku. Przewidywany czas stabilizacji górotworu to 18 miesięcy. Do analizy poprawnego wniosku przyjęto wybrane punkty z linii pomiarowej przebiegającej w poprzek eksploatacji. Wyniki przedstawione zostały w tabeli (tabela 2).

Tabela 2. Weryfikacja prognozy osiadania
Tabela 2. Verification of displacement prognosis

Nr reperu	Osiadanie W_1 Pomierzone[mm]	Osiadanie W_2 Prognozowane[mm]	Różnica $W_2 - W_1$ [mm]
68	1342	1356	+14
74	1424	1481	+57
94	1410	1402	-8
95	1335	1356	+21
101	1276	1204	-72
103	1226	1204	-22
105	1225	1204	-21

Powyższa tabela przedstawia różnice pomiędzy prognozowanym, a pomierzonym osiadań punktów kontrolnych. Wielkości prognozowane różnią się od wielkości obserwowanych w granicach od 8 do 72 mm. Wartość maksymalna błędnie nie ma jednak wpływu na określenie prognozowanej wielkości osiadania terenu, mieści się

w granicach 6% (reper nr 101) błędu względnego pomierzonego osiadania punktów kontrolnych.



Rys. 2. Mapa osiadań terenu górniczego
Fig. 2. Displacement map of mining terrain

Błędy opracowanej prognozy osiadania terenu górniczego mogą wynikać ze zbyt ogólnego przyjętego modelu eksploatacji złoża. W obliczeniach przyjęto założenie, że kopalnia stanowi całość, jeden pokład, o równomiernym nachyleniu i jednakowej furcie eksploatacyjnej, znajdujący się na stałej głębokości, co nie ma odzwierciedlenia w rzeczywistości. Pomiary geodezyjne zaś wykonane zostały na obszarze kopalni, na terenie rzeczywistych wpływów eksploatacji rudy miedzi na powierzchnię. Jednak

ogólna tendencja zmian osiadania została przedstawiona poprawnie. Największe wartości osiadań zostały poprawnie przewidziane. Na rysunku 2 przedstawiono wyliczone (prognozowane) izoliny osiadań, przedstawione z interwałem osiadań 25 cm. Jedynie największe osiadanie opisano wartością 1,4 m. Na mapie przedstawiono zarys wszystkich parcel wydobywczych, na przestrzeni działania całej kopalni. Punkty załamania zarysu wydobytego urobku zostały wykorzystane do prognozy osiadania terenu. Dla lepszej orientacji przestrzennej pokazano na rysunku lokalizację szybów kopalni „Konrad” i „Libichów” wraz z opisem.

Największe wartości przemieszczeń pionowych osiągają wartość około – 1500 mm, zlokalizowane są w najstarszej części kopalni, nad parcelami wydobywanymi technologią z zawalem stropu w kopalni „Konrad” i „Libichów”. Obniżenia rozciągają się od północnego zachodu, w kierunku południowo wschodnim. Na rysunku pokazano przebieg linii obserwacyjnych i lokalizacje reperów węzłowych. Postęp eksploatacji, zmiana sposobu wydobywania kruszywa w kopalni, oraz wydłużenie frontu eksploatacyjnego skutkuje wydłużeniem niecki osiadań terenu. Osiadania są zgodne z przebiegiem pokładów rudy miedzi.

6. PODSUMOWANIE

Porównując wyniki prognozy osiadania terenu na terenie górniczym kopalni „Konrad”, z wynikami uzyskanymi z pomiarów terenowych należy stwierdzić, że prognoza jest skonstruowana poprawnie. Uszczegółowienie modelu podniesie zapewne jej dokładność i zgodność z wartościami uzyskiwanymi w czasie pomiarów terenowych. Ponadto uwzględnienie nierównomierności górotworu i zmian sposobów eksploatacji w czasie działalności zakładu pozwoli na opracowanie jeszcze dokładniejszej prognozy osiadań. Kolejnym etapem pracy powinny być obliczenia odkształceń poziomych występujących na terenie górniczym omawianego Zakładu. Pomiarów przemieszczeń poziomych były przeprowadzane w latach 70. i 80., zwłaszcza po zagęszczeniu osnowy pomiarowej w rejonie stawów osadowych. Wynikało to z konieczności analizy stabilności skarp stawów osadowych i stałości czoła zapory. Wykorzystanie wyników pomiarów przemieszczeń pionowych i poziomych, pełna prognoza deformacji i opracowanie systemu ekspertowego opartego na wiedzy pozwoli na racjonalną gospodarkę przestrzenną w rejonie dawnej kopalni.

LITERATURA

- [1] BARANIECKI L., GROCHOWSKI A., MYDLARSKI T., *Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów, arkusz Iwiny, 1:25000*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1955.
- [2] BORECKI M., KNOTHE S., *Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi*, Praca zbiorowa, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1980.

- [3] CHWASTEK J., KIELBASIEWICZ W., KOWALCZYK M., MALINOWSKI N., SKOWRONEK W., *Wpływ eksploatacji górniczej na deformacje zapory zbiornika osadowego „Iwiny”*, Raporty Inst. Geotech. PWr., Ser. PRE 208, 1981.
- [4] DYCHTOWICZ Z., SKOWRONEK H., SŁOWIK H., *Wpływ eksploatacji rud miedzi na odkształcenie powierzchni na przykładzie kopalń Lena, Konrad i Nowy Kościół*, II Krajowy Zjazd Górnictwa Rud, Część 1, Lubin 1966, s. 144–181.
- [5] KIELBASIEWICZ W., KOWALCZYK M., MALINOWSKI N., *Analiza przemieszczeń i deformacji zapory ziemnej Wartowice w okresie 1970–1988*, Raporty Inst. Geotech. PWr. Ser. SPR 1988, Nr 514.
- [6] KONSTANTYNOWICZ E., JAROSIŃSKI S., *Monografia przemysłu miedziowego w Polsce*. Tom 1 i 2. Praca zbiorowa, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1971.
- [7] SAWICKI J., *Zmiany naturalnej infiltracji opadów do warstw wodonośnych pod wpływem głębokiego, górniczego drenażu*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.

PREDICTION OF VERTICAL DISPLACEMENTS
ON “KONRAD” MINING GROUND IN IWINY (SW POLAND)

The results of geodetic measurements in mining areas are basic information about ground deformations, particularly vertical displacements of the ground. Prognosis of vertical displacements is important for rational spatial development of mining grounds. In the paper surveying techniques used in the “Konrad” mining ground in Iwiny have been synthetically characterized. Coefficient values of vertical displacement have been calculated for different methods of copper extraction used there. Displacement coefficient is the most important factor in ground subsidence predictions due to underground mining. Calculated values of subsidence prediction have been verified with the results of geodetic measurements for the 2000–20100 period.