

Roman ŚCIGAŁA
Politechnika Śląska, Gliwice

PROGNOZOWANIE ZMIAN RZEŻBY TERENU WYWOŁANYCH PODZIEMNĄ EKSPLOATACJĄ GÓRNICZĄ

Streszczenie. W artykule omówiono współczesne możliwości prognozowania zmian rzeźby terenu górniczego wywołanych podziemną eksploatacją górnictw. Przedstawiono procedury postępowania w tym zakresie oraz przykłady narzędzi informatycznych możliwych do wykorzystania. Rozważania poparto odpowiednim przykładem obliczeniowym.

FORECASTING OF CHANGES IN LAND SURFACE PROFILE CAUSED BY UNDERGROUND MINING

Summary. The up to date possibilities of forecasting the changes in surface profile have been presented in this paper. The basic procedures in this field as well as examples of software have been pointed. Considerations have been documented by adequate exemplary calculations.

1. Wprowadzenie

Podziemna eksploatacja górnictw wywołuje szereg niekorzystnych przemian na powierzchni terenu, spośród których najbardziej oczywistym jest tworzenie się niecek obniżeniowych w rejonach bezpośredniego oddziaływania eksploatacji. Powstałe na powierzchni terenu niecki, spośród wielu niekorzystnych oddziaływań, wywołują zmiany rzeźby terenu, które pociągają za sobą przede wszystkim zmiany stosunków wodnych. Stąd bardzo istotnym jest umiejętne i precyzyjne prognozowanie zmian rzeźby terenu wywołanych podziemną eksploatacją.

Aby wykonanie takich prognoz było możliwe, niezbędne jest wykonanie szeregu działań, a mianowicie:

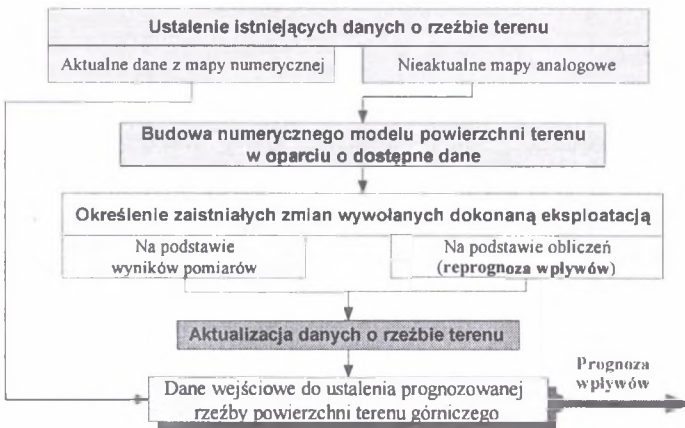
- ustalenie aktualnej rzeźby terenu,
- wykonanie odpowiedniej prognozy na podstawie danych o eksploatacji projektowanej w danym rejonie,
- określenie prognozowanej rzeźby terenu w zadanym obszarze z wykorzystaniem numerycznego modelu aktualnej rzeźby terenu i prognozowanych obniżzeń.

Poniżej omówiono poszczególne etapy prac w tym zakresie wraz z przedstawieniem odpowiedniego przykładu obliczeniowego.

2. Ustalenie aktualnej rzeźby terenu

Ustalenie aktualnej rzeźby terenu w chwili wykonywania prognozy jest zadaniem w obecnych warunkach w dalszym ciągu jednym z najtrudniejszych i podatnych na błędy. Pomimo coraz szerzej stosowanych w polskim górnictwie map numerycznych, cyfrowy opis aktualnej rzeźby terenu jest jeszcze rzadkością. Stąd zazwyczaj zachodzi konieczność korzystania z archiwalnych map analogowych (w postaci papierowej), na których informacja wysokościowa jest nieaktualna. W takim przypadku zachodzi konieczność aktualizacji danych wysokościowych dla rozpatrywanego obszaru. Schemat możliwych działań w tym zakresie przedstawiono na rys. 1. Określenie aktualnej rzeźby terenu może być dokonane na podstawie :

- wyników pomiarów, najczęściej geodezyjnych,
- jeżeli brak takich wyników, na podstawie wyników reprognozy wpływów.

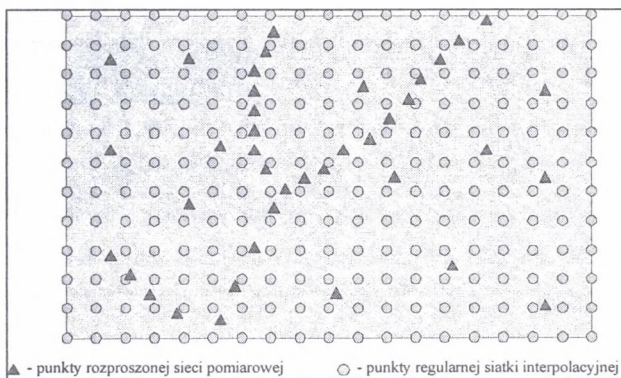


Rys. 1. Schemat ilustrujący sposób przygotowania danych do określenia aktualnej rzeźby terenu
 Fig. 1. The scheme illustrating preparation of data for determination the actual surface profile

Należy w tym miejscu wyraźnie podkreślić, że reprognoza wpływów jest rozwiązaniem zdecydowanie najmniej dokładnym i zazwyczaj budzącym sporo wątpliwości, głównie ze względu na problemy z odpowiednim doбором parametrów teorii prognozowania wpływów, jak i błędy związane z rozproszeniem losowym wartości wskaźników deformacji, których stosowane w Polsce teorie geometryczno-całkowe nie uwzględniają.

Stąd bardziej korzystne jest wykorzystanie wyników pomiarów. Najczęściej są to tradycyjne pomiary geodezyjne, jednakże nowoczesne techniki pomiarowe będą niewątpliwie coraz szerzej w najbliższych latach wykorzystywane.

Pomimo dużej dokładności, pomiary geodezyjne są niestety kłopotliwe w wykorzystaniu, gdyż są one prowadzone zazwyczaj na sieci punktów rozproszonych oraz na liniach obserwacyjnych, których lokalizacja jest zdeterminowana poprzez zagospodarowanie powierzchni (układ ciągów komunikacyjnych, budowle, tereny zalesione). Z drugiej zaś strony, do dalszych działań (czyli do opracowania reprognozy wpływów) niezbędne jest stworzenie numerycznego modelu terenu, w postaci regularnej siatki wysokościowej pokrywającej obszar prognozy – rys. 2.

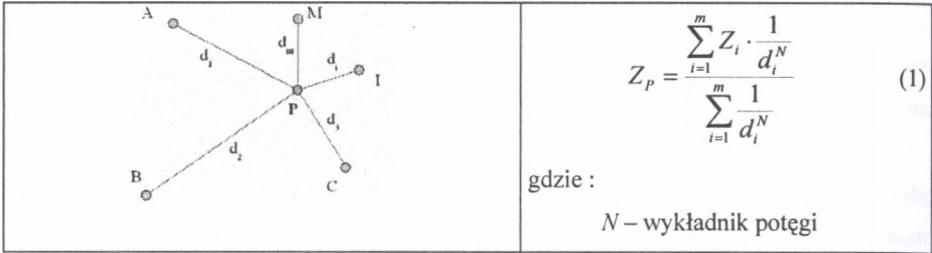


Rys. 2. Struktura prostokątnej siatki interpolacyjnej na tle danych rozproszonych
Fig. 2. The structure of rectangular interpolation grid with location of scattered data

Aby taki model uzyskać, niezbędne jest przetworzenie wyników pomiarów uzyskanych na nieregularnej sieci punktów poprzez zastosowanie metod interpolacji przestrzennych danych rozproszonych. Metod tych istnieje wiele i są one zaimplementowane w wielu aplikacjach, na przykład w systemach GIS, SIT oraz w stosunkowo prostych aplikacjach typu desktop, jak np. Surfer [4], 3DField [3]. Funkcje te zawarte zostały także w autorskim programie graficznym o nazwie SurfCAD [5], służącym do wspomagania prac związanych z graficznym opracowaniem wyników prognoz deformacji.

Analiza literatury wskazuje, że najczęściej do zadań związanych z interpolacją rzędnych wysokościowych w regularnej siatce punktów wykorzystuje się metodę odwrotnej odległości do potęgi oraz metodę krigingu (obecnie jest to najchętniej stosowane rozwiązanie).

W metodzie odwrotnych odległości do potęgi nieznaną wartość rzędnej wyjściowej w punkcie węzłowym **P** określa się wg zależności (1).



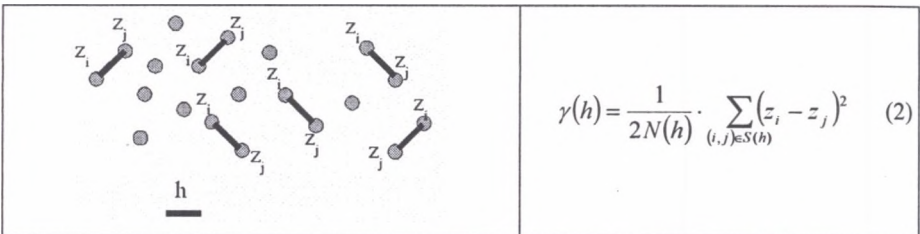
Rys. 3. Schemat ilustrujący wykorzystanie metody odwrotnej odległości do potęgi

Fig. 3. The scheme illustrating the use of inverse distance to a power method

W metodzie kriging wykorzystuje się specjalną funkcję – wariogram, która opisuje przestrzenną zmienność rozpatrywanego parametru (w tym przypadku rzędnych wysokościowych). Postać wariogramu eksperymentalnego przedstawia zależność (2).

Należy przy tym zwrócić uwagę, że wartość tej funkcji nie zależy od współrzędnych przestrzennych poszczególnych punktów rozproszonych, lecz od ich wzajemnej odległości.

Tak ustalony na podstawie danych pomiarowych wariogram (zwany wariogramem eksperymentalnym) opisuje się (aproxymuje) odpowiednimi funkcjami ciągłymi (tzw. wariogramem teoretycznym), co pozwala na określenie danej wielkości dla dowolnej lokalizacji w przestrzeni.

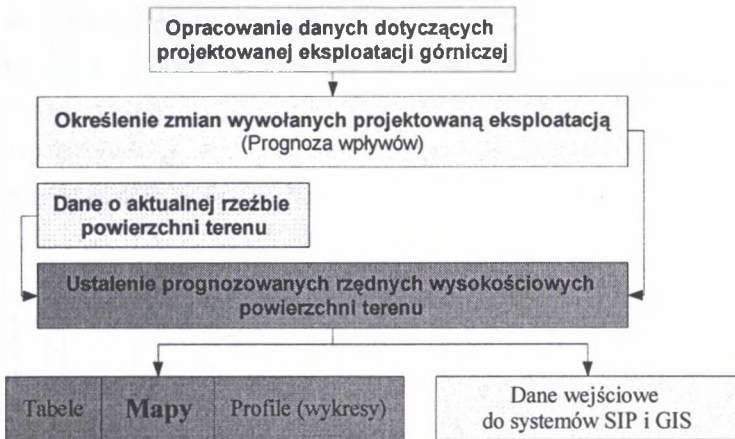


Rys. 4. Schemat ilustrujący budowę wariogramu eksperymentalnego w metodzie kriging

Fig. 4. The scheme illustrating construction of experimental variogram in kriging method

3. Prognoza wpływów i ustalenie prognozowanej rzeźby terenu

Ustalenie aktualnych rzędnych wysokościowych w regularnej siatce punktów pokrywającej obszar prognozy kończy pierwszy, bardzo istotny etap prac związanych z prognozowaniem zmian rzeźby terenu. W etapie drugim, którego schemat przedstawiono na rys. 5, prowadzi się prace związane z przygotowaniem danych do prognoz na podstawie map górniczych, a następnie wykonuje się obliczenia prognostyczne za pomocą odpowiedniego oprogramowania. Należy zwrócić w tym miejscu na fakt, iż prognoza wpływów powinna zostać wykonana dla punktów na powierzchni terenu rozmieszczonych w węzłach identycznej siatki, jaką przyjęto dla celów ustalenia aktualnej rzeźby terenu.



Rys. 5. Algorytm postępowania w zakresie ustalania prognozowanych zmian rzeźby terenu
Fig. 5. The algorithm of determining the prognosed changes in surface profile

Wyniki prognozy, przedstawiające prognozowane obniżenia powierzchni terenu należy odpowiednio przetworzyć, tak aby można było skorygować aktualne rzędne wysokościowe w poszczególnych węzłach siatki interpolacyjnej:

$$H_{i,j}^{progn} = H_{i,j}^{akt} + w_{i,j}^{progn}, \quad i = 1..n, \quad j = 1..m \quad (3)$$

gdzie :

H^{progn} – prognozowane rzędne wysokościowe,

H^{akt} – aktualne rzędne wysokościowe,

w^{progn} – prognozowane obniżenia

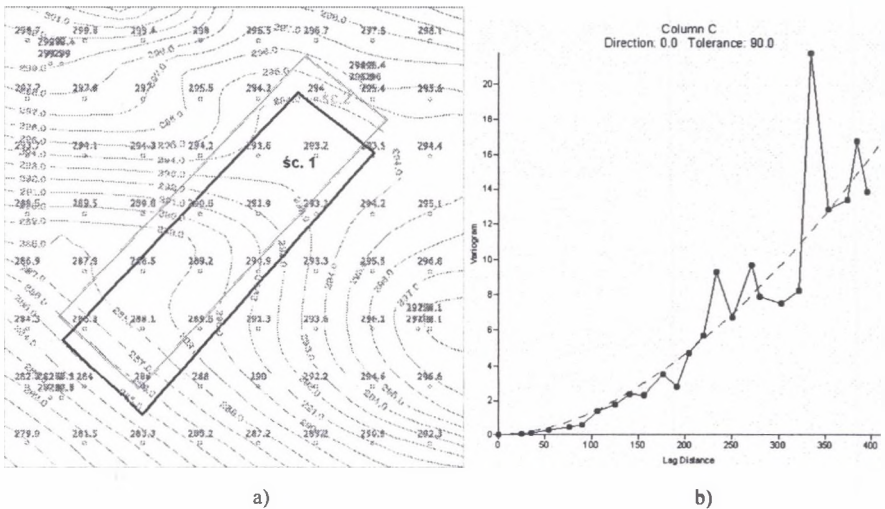
n, m – liczba węzłów siatki odpowiednio w kierunkach „x” i „y” siatki interpolacyjnej

4. Przykład obliczeniowy

Przedmiotem rozważań było ustalenie prognozowanych zmian rzeźby terenu pod wpływem eksploatacji górniczej prowadzonej dwoma ścianami w dwóch pokładach (rys.6a) :

- ściany nr 1 w pokładzie 501, głębokość eksploatacji $H=500$ m, grubość pokładu $g=4,0$ m, eksploatacja prowadzona z zawałem stropu,
- ściany nr 2 w pokładzie 503, głębokość eksploatacji $H=520$ m, grubość pokładu $g=3,0$ m, eksploatacja prowadzona z zawałem stropu,

Przed wykonaniem prognozy określono, na podstawie pomierzonych wysokości punktów (rys. 6a), aktualną rzeźbę terenu poprzez interpolację metodą kriginu. Na rys. 6b przedstawiono przebieg wariogramu eksperymentalnego (linia ciągła) oraz jego aproksymatę – wariogram teoretyczny (linia przerywana). W wyniku przeprowadzenia obliczeń programem Surfer, otrzymano rzędne wysokościowe określone w siatce interpolacyjnej o rozmiarach $1000\text{ m} \times 1000\text{ m}$. Na tej podstawie wykreślono warstwicę terenu (rys. 6a).

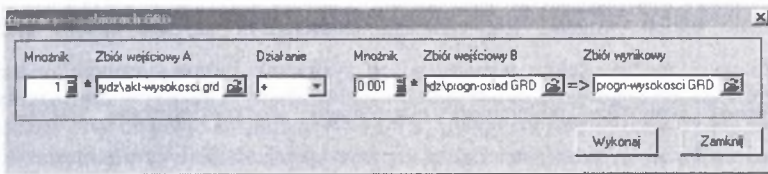


Rys. 6 a) Rzeźba terenu określona na podstawie sieci punktów rozproszonych wraz z zarysami projektowanych pól eksploatacyjnych
b) Wariogram eksperymentalny (linia ciągła) i jego aproksymacja (linia przerywana)

Fig. 6 a) The relief determined on the basis of set scattered observing points together with planned extraction
b) Experimental variogram (solid line) and its approximation (dashed)

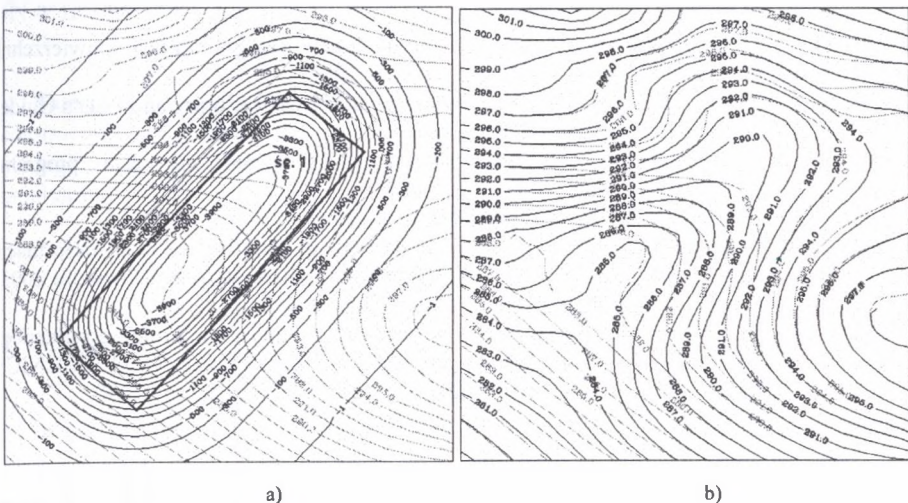
Mając ustalony numeryczny model aktualnej rzeźby terenu oraz niezbędne dane o projektowanej eksploatacji górniczej, przystąpiono do wykonania prognozy wpływów projektowanej eksploatacji na rozpatrywany obszar. Prognozę wykonano programem DEFK-Win [6] w siatce punktów identycznej z siatką interpolacyjną. Prognozowany rozkład obniżzeń przedstawiono na rys. 8b na tle aktualnych warstwicy terenu.

Ostatnim etapem było określenie prognozowanych rzędnych terenu wg zależności (3). Dokonano tego za pomocą programu SurfCAD – rys.7.



Rys. 7 Operacja superpozycji aktualnej rzeźby terenu z prognozowanymi obniżeniami wykonana programem SurfCAD.

Fig. 7 The superposition of actual surface profile with prognosed subsidence by using SurfCAD programme



Rys. 8 a) Rozkład prognozowanych obniżzeń. W tle warstwicy aktualnej rzeźby terenu
 b) Warstwicy prognozowanej rzeźby terenu. W tle warstwicy aktualnej rzeźby terenu
 Fig. 8 a) The isolines of prognosed subsidence. The actual surface profile isolines in the background
 b) The isolines of prognosed surface profile. The actual surface profile isolines in the background

4. Podsumowanie

Podsumowując przedstawione w artykule rozważania nad możliwościami prognozowania zmian rzeźby terenu górniczego wywołanych podziemną eksploatacją należy stwierdzić, że współczesne techniki pomiarowe, jak też i informatyczne pozwalają na znaczne zwiększenie precyzji prognoz w tym zakresie, w stosunku do narzędzi wykorzystywanych przed kilkoma zaledwie laty. Pomimo faktu, że obecnie nie funkcjonują jeszcze powszechnie w polskim górnictwie systemy map numerycznych oraz zaawansowanych systemów GIS, to wykonywanie takich prognoz jest znacznie łatwiejsze i szybsze dzięki graficznym i obliczeniowym możliwościom współczesnych systemów informatycznych w dziedzinie prognozowania wpływów podziemnej eksploatacji na powierzchnię terenu. Należy spodziewać się w najbliższych latach dalszych pozytywnych zmian w tym zakresie.

LITERATURA

1. Chudek M.: Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
2. Deutsch C.V., Journel, A. G.: GSLIB – Geostatistical Software Library and User's Guide, Oxford University Press, New York 1992.
3. Galouchko V.: 3DField contouring, surface plotting and 3D data program, <http://field.hypermart.net/>.
4. Surfer 8.0 User's guide, <http://www.goldensoftware.com/>.
5. Ścigała R.: Oprogramowanie dla celów tworzenia graficznego obrazu deformacji powierzchni terenu. Konferencja Naukowa: Górnictwo zrównoważonego rozwoju 2003. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. s. Górnictwo, z. 258. Gliwice 2003.
6. Ścigała R., Strzałkowski P.: „Software for predictions of underground mining influences on the land surface and rock mass”. Międzynarodowa Konferencja: GEOTECHNICS 2000. Gliwice–Ustroń, Wysokie Tatry–Podbanske, Słowacja, październik 2000.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Kwiatek