

Jolanta KOWALSKA-KWIATEK, Aleksandra MIERZEJOWSKA, Maciej POMYKOŁ
Politechnika Śląska, Gliwice

DOKŁADNOŚĆ WYZNACZENIA PARAMETRÓW CHARAKTERYZUJĄCYCH NIEUSTALONE NIECKI OBNIŻENIOWE

Streszczenie. W artykule przedstawiono opis nieustalonych niecek obniżeniowych za pomocą wzoru stanowiącego modyfikację równania różniczkowego S. Knothego. W oparciu o wyniki obserwacji geodezyjnych dokonano identyfikacji wartości parametrów teorii wpływów. Przeprowadzono również analizę dokładności wyznaczenia parametrów charakteryzujących nieustalone obniżenia terenu górniczego.

ACCURACY OF DETERMINATION OF PARAMETERS CHARACTERIZE NONSTATIONARY SUBSIDENCE TROUGHS

Summary. This paper presents description of nonstationary subsidence troughs based on formula which is modification of S. Knothe's differential equation. Identification of theory parameters was carried out basing on geodesy measurements. There was made also analysis of accuracy of parameters that characterize nonstationary mining area subsidences.

1. Wprowadzenie

Dotychczas stosowane metody prognozowania deformacji górotworu w zadowalającym stopniu opisują pełne ustalone oraz nieustalone niecki obniżeniowe, będące wynikiem wybrania pól ścianowych o odpowiednio dużych wymiarach w stosunku do głębokości eksploatacji. Znaczne rozbieżności dotyczą opisu niepełnych nieustalonych niecek obniżeniowych.

Z tego względu dla zastosowań praktycznych niezbędny jest czasoprzestrzenny opis deformacji, który dobrze opisuje wszystkie stadia tworzenia się niecki obniżeniowej.

Warunkiem poprawnego opisu jest określenie wartości parametrów teorii w oparciu o pomiary geodezyjne oraz oszacowanie błędów, z jakimi są wyznaczone.

W niniejszym opracowaniu zastosowano model opisu propagacji obniżenia terenu górniczego uwzględniający dwa czynniki:

- zwiększające się z wybiegiem pola ścianowego osiadanie stropu do przestrzeni wybranej,
- opóźnienie ujawniania się wpływów eksploatacji górniczej.

Wyniki cyklicznie wykonywanych obserwacji geodezyjnych umożliwiły wyznaczenie parametrów charakteryzujących niecki obniżeniowe. Wartości błędów parametrów a_1 , c określono, stosując wzory zaproponowane w pracach B. Drzęzli [3] oraz J. Białka [2].

2. Opis obniżenia powierzchni nad eksploatowanym pokładem

Do opisu obniżenia punktu w czasie zastosowano zmodyfikowaną postać równania S. Knothego, która stanowi analogię do modelu Zenera. Rozwiązanie tego równania przedstawia się następująco:

$$w(t) = - \int_0^t \frac{dw_k(\tau)}{d\tau} [1 - a_1 \exp(-c(t - \tau))] d\tau \quad (1)$$

gdzie:

$w_k(t)$ – obniżenie potencjalnie możliwe w chwili t , które zmienia się wraz z rozmiarem wyeksploatowanej powierzchni,

$w(t)$ – obniżenie aktualne w chwili t ,

a_1 – współczynnik określający udział wpływów ujawniających się na powierzchni terenu górniczego z pewnym opóźnieniem,

$1 - a_1$ – udział wpływów natychmiastowych,

c – parametr o wymiarze $\left[\frac{1}{\text{czas}} \right]$ zwany również współczynnikiem czasu lub współczynnikiem prędkości obniżenia,

τ – czas wyeksploatowania elementu powierzchni pola dS , które potencjalnie (gdyby obniżenie przebiegało bez opóźnienia w czasie) powoduje w chwili τ przyrost obniżenia dw_k .

Wielkość $dw_k(\tau)$ obliczono w oparciu o wzór S. Knothego, który po zastosowaniu zmodyfikowanego warunku brzegowego w postaci liniowego kształtu ugięcia stropu przedstawia się następująco [6]:

$$w_k(x, y, t) = \iint_{S(t)} \frac{w(\xi, \eta, 0)}{r'^2} e^{-\pi \left(\frac{l_{ds}}{r'}\right)^2} dS \quad (2)$$

gdzie:

$w_k(x, y, t)$ – obniżenie punktu obliczeniowego na powierzchni o współrzędnych x, y ,

$S(t)$ – powierzchnia wybranego pola,

ξ, η – współrzędne elementu powierzchni dS ,

r' – skorygowany promień zasięgu wpływów głównych,

l_{ds} – odległość punktu obliczeniowego od elementu dS ,

$w(\xi, \eta, 0)$ – obniżenie stropu obliczone następującym wzorem:

$$w(\xi, \eta, 0) = \begin{cases} -ag & \text{dla } l_p(\xi, \eta) > l_s \wedge \xi, \eta \in S \\ -ag \cdot [1 + (l_p(\xi, \eta) - l_s) / l_s] & \text{dla } l_s \leq l_p(\xi, \eta) \leq 0 \wedge \xi, \eta \in S \\ 0 & \text{dla } \xi, \eta \notin S \end{cases} \quad (3)$$

w którym:

$l_p(\xi, \eta)$ – odległość punktu o współrzędnych ξ, η leżącego w stropie pokładu od granicy pola eksploatacji S .

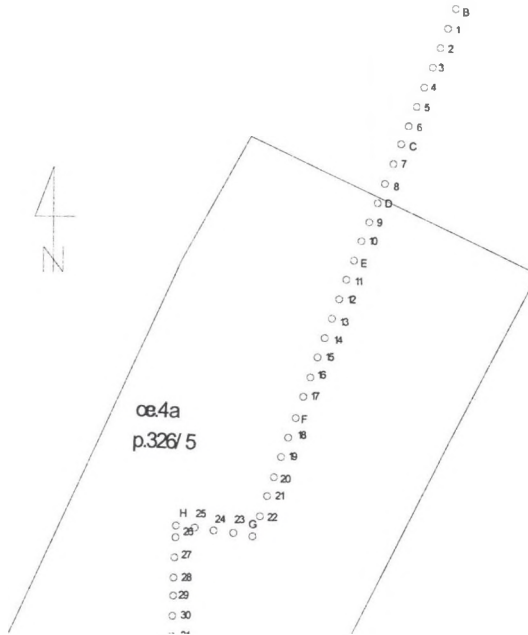
3. Charakterystyka materiału badawczego

Analizę przeprowadzono w oparciu o wyniki obserwacji geodezyjnych prowadzonych na linii pomiarowej z terenu KWK „Dębieńsko”. Zarejestrowane rzeczywiste osiadania punktów linii obserwacyjnej umożliwiły wyznaczenie wartości parametrów teorii oraz przeprowadzenie analizy dokładności ich określenia.

Eksploatację ściany 4a w pokładzie 326/5 prowadzono w latach 1974-75 na średniej głębokości ok. 155 m systemem podłużnym z zawałem stropu. Miąższość eksploatacyjna wynosiła 1.3 – 1.6 m.

Linia pomiarowa założona nad eksploatowanym pokładem przebiegała równolegle do wybiegu ściany. Punkty obserwacyjne rozmieszczone były w odległościach ok. 15 m. Pomiaru geodezyjne przeprowadzono w odstępach 10-dniowych, z wyjątkiem czterech ostatnich cykli,

które zostały wykonane w interwałach 20-dniowych. Usytuowanie linii obserwacyjnej względem krawędzi eksploatacji przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Usytuowanie punktów linii pomiarowej względem eksploatowanej ściany
Fig. 1. Location of measurement line points relatively to the excavated longwall

4. Sposób wyznaczenia parametrów teorii oraz określenie ich błędów

Końcowe obniżenia pełnej niecki obniżeniowej stwierdzone pomiarami geodezyjnymi wykorzystano do wyznaczenia parametrów a , $tg\beta$, l_s wzoru (2). Następnie w oparciu o pomiary obrazujące rozwój obniżeń w czasie tej samej niecki obniżeniowej określono wartości parametrów a , c wzoru (1).

4.1. Sposób wyznaczania parametrów teorii

W obliczeniach zastosowano program TGB autorstwa J. Białka [1, 2], który umożliwia wyznaczenie parametrów a , $tg\beta$, d w oparciu o dopasowanie niecki teoretycznej do niecki wynikającej z pomiarów geodezyjnych. Jako kryterium dopasowania przyjęto minimum wariancji resztkowej określonej wzorem:

$$B_1(a, tg\beta, d) = \sum_{i=1}^n [aw_{ki}(tg\beta, d) - w_{pi}]^2 \quad (4)$$

gdzie:

n – liczba punktów pomiarowych,

$aw_{ki}(tg\beta, d)$ – teoretyczne obniżenie i -tego punktu,

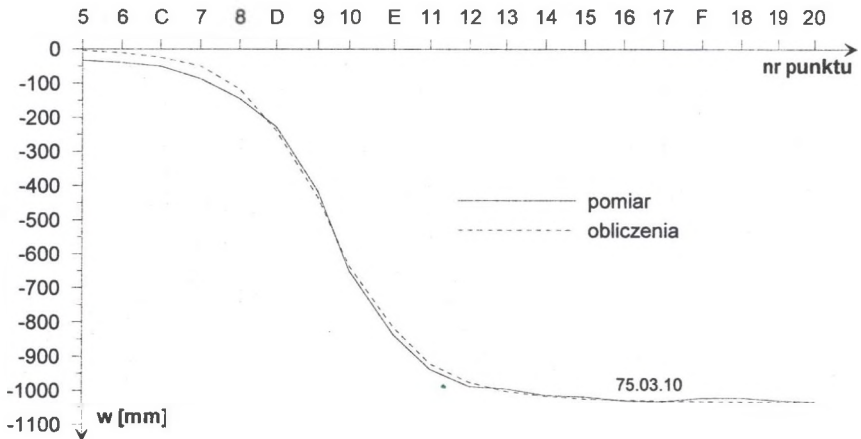
w_{pi} – pomierzone obniżenie i -tego punktu.

Wykorzystując wyniki obserwacji 20. cyklu pomiarowego z dnia 75.03.10, ustalono wielkość obrzeża eksploatacyjnego d . Zakładając, że długość linii ugięcia stropu jest równa podwójnej długości obrzeża [6], otrzymano: $l_s=0.30$ h. Wyznaczone w wyniku przeprowadzonych obliczeń parametry charakteryzujące pełną nieckę obniżeniową przyjęły następujące wartości:

- współczynnik osiadania $a=0.758$,
- parametr zasięgu wpływów $tg\beta=2.376$.

Jako miary dopasowania zastosowano odchylenie standardowe, które wynosi $\delta(w)=17.6$ mm oraz współczynnik korelacji $r=0.9991$.

Wyniki dopasowania przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Pomierzony i obliczony wzorem (2) profil końcowy niecki obniżeniowej nad pokładem 326/5 KWK „Dębieńsko”

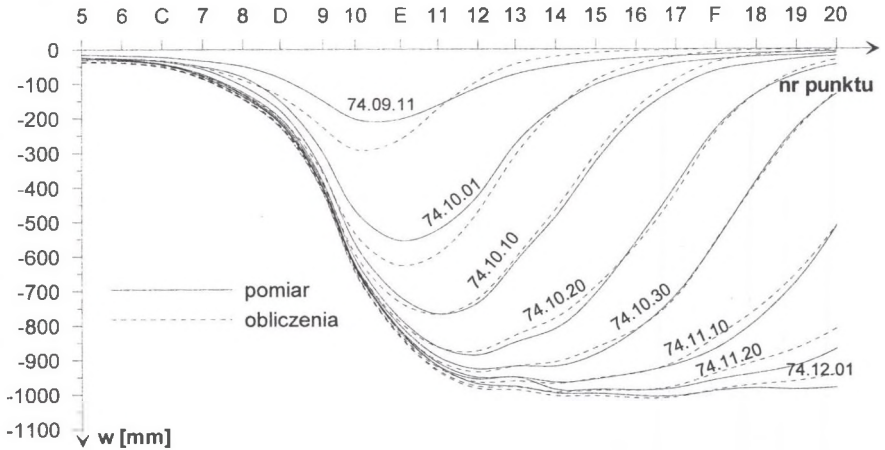
Fig. 2. Measured and calculated by formula (2) final profile of subsidence trough over the seam 326/5 of the „Dębieńsko” coalmine

Zakładając stałość parametrów a , $tg\beta$, l_s w całym procesie deformacji, w dalszej kolejności wyznaczono wartości parametrów a_l oraz c występujących we wzorze (1), stosując również metodę najmniejszych kwadratów.

W celu wyznaczenia parametrów wzoru (1) wykorzystano obniżenia stwierdzone pomiarami w wybranych cyklach. Analizie poddano 8 czasokresów. Uzyskana na podstawie dopasowania wartość współczynnika c wynosi $c=28.775[1/\text{rok}]$, natomiast udział wpływów

ujawnianych na powierzchni terenu z opóźnieniem jest równy $a_1=0.56$. Otrzymano przy tym odchylenie standardowe $\delta(w)=22.8$ mm oraz współczynnik korelacji $r=0.9983$.

Na rys. 3 przedstawiono przebieg rzeczywistych obniżień punktów obserwacyjnych i obliczonych teoretycznie.



Rys. 3. Porównanie rzeczywistych i teoretycznych profili nieek obniżeniowych
Fig. 3. Comparison of the measured and theoretical subsidence through profiles

4.2. Dokładność wyznaczenia parametrów a_1, c

Wyznaczone w oparciu o wyniki pomiarów obniżień terenu górniczego wartości parametrów teorii wpływów są obarczone pewnym błędem, który wynika m.in. z błędów pomiarów geodezyjnych, nieadekwatności modelu matematycznego opisującego ruchy górotworu oraz systematycznego rozproszenia losowego cechującego proces obniżień terenu górniczego [7].

Wartości błędów parametrów a_1, c , określono, stosując wzory zaproponowane w pracach B. Drzęźli [3] oraz J. Białka [2]. W celu ich wyznaczenia obliczane są składowe macierzy wariancyjno-kowariancyjnej:

$$\text{cov}(\Delta a_1, \Delta c) = (A^T A)^{-1} \delta^2(w) \quad (5)$$

Poszukiwanymi błędami $\Delta a_1, \Delta c$ są elementy znajdujące się na głównej przekątnej powyższe macierzy. Wyjściowa macierz A ma postać:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial w_1}{\partial a_1} & \frac{\partial w_1}{\partial c} \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \frac{\partial w_n}{\partial a_1} & \frac{\partial w_n}{\partial c} \end{bmatrix} \quad (6)$$

n – liczba spostrzeżeń,

$\delta^2(w)$ – wariancja obniżeń.

Wyznaczony na podstawie dopasowania błąd średni parametru a_1 wynosi $\delta_{a_1} = 0.049$, co stanowi ok. 8.75% a_1 , natomiast błąd współczynnika c jest równy $\delta_c = 3.090[1/\text{rok}]$, czyli ok. 10.74% c .

5. Wnioski

Przedstawione w artykule wyniki obliczeń pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Przedstawiony w pracy sposób opisu nieustalonych obniżeń terenu z uwzględnieniem zmodyfikowanego warunku brzegowego zapewnia poprawny opis wszystkich etapów kształtowania się niecki obniżeniowej, również przy niewielkich rozmiarach eksploatowanej parceli.
2. Wyznaczone parametry zastosowanego modelu opisu obniżeń w czasie obarczone są następującymi błędami średnimi: $a_1 = 0.56 \pm 0.049$ oraz $c = 28.775 \pm 3.090[1/\text{rok}]$.
3. Uzyskane wartości błędów wyznaczenia parametrów nieustalonych niecek obniżeniowych świadczą o wysokiej zgodności dopasowania pomiędzy teoretycznymi i wynikającymi z obserwacji geodezyjnych obniżeniami punktów linii pomiarowej.

BIBLIOGRAFIA

1. Białek J.: Algorytmy i programy komputerowe do prognozowania deformacji terenu górniczego. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
2. Białek J.: Opis nieustalonej fazy obniżeń terenu górniczego z uwzględnieniem asymetrii wpływów końcowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, z.194, Gliwice 1991.

3. Drzęźła B.: Opis programów prognozowania deformacji górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej – aktualny stan oprogramowania. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, z.923, Gliwice 1989.
4. Kowalska-Kwiatek J.: Propozycja opisu osiadania terenu górniczego w czasie. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, z. 274, Gliwice 2006.
5. Kwiatek J.: O reologicznych aspektach zagrożenia obiektów budowlanych na terenach górniczych. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa nr 827, Katowice 1998.
6. Pomykoł M.: Sposób opisu deformacji niepełnych niecek obniżeniowych. Praca doktorska niepublikowana, Gliwice 2003.
7. Popiołek E.: Ochrona terenów górniczych. Wydawnictwo AGH, Kraków 1989.
8. Strzałkowski P.: Model nieustalonych przemieszczeń pionowych górotworu w obszarze objętym oddziaływaniem eksploatacji górniczej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, z. 237, Gliwice 1998.
9. Zych J.: Metoda prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu uwzględniająca asymetryczny przebieg procesu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, z. 164, Gliwice 1987.

Recenzent: Dr hab. inż. Ryszard Hejmanowski, prof. nzw. AGH