

Mirosław CHUDEK
Politechnika Śląska, Gliwice

DOŚWIADCZENIA ZE STOSOWANIA TEORII PROGNOZOWANIA DEFORMACJI POWIERZCHNI TERENU

Streszczenie. W pracy przedstawiono doświadczenia ze stosowania w praktyce teorii M. Chudka – L. Stefańskiego prognozowania deformacji ciągłych powierzchni terenu w odniesieniu do pomiarów geodezyjnych z terenu kilku kopalń GZW.

THE EXPERIENCES OF USE THE THEORY FOR FORECASTING GROUND SURFACE DEFORMATION

Summary. The practical experiences of use the theory for forecasting underground mining influences on the ground surface worked out by M. Chudek – L. Stefański in the light of geodesic measurements from several Polish coal mines have been presented in this paper.

1. Wstęp

Eksploatacja górnicza, niezależnie od warunków jej prowadzenia, powoduje zawsze występowanie deformacji ciągłych górotworu. Są one obserwowane na powierzchni terenu w postaci tzw. niecki osiadania i jej pochodnych, do których należą: nachylenia, krzywizny pionowe oraz przesunięcia i odkształcenia poziome. Stan deformacji górotworu, a szczególnie powierzchni terenu jest przedmiotem badań od wielu dziesięcioleci. W wyniku tychże badań powstało wiele teorii do prognozowania wpływów eksploatacji górnicznej na powierzchnię terenu. Dzieli się je na kilka grup. W zależności od przyjętych założeń przy tworzeniu największe zastosowanie w praktyce znajdują teorie geometryczno-całkowe. Ich wspólną cechą jest założenie o istnieniu tzw. funkcji wpływów. Na jakość prognoz wykonywanych przy użyciu tych teorii istotny wpływ mają wartości parametrów przyjmowanych do obliczeń. Parametry te najlepiej jest wyznaczać na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych prowadzonych w rejonie objętym prognozą. W praktyce nie zawsze dysponuje się wynikami takich pomiarów, co niejednokrotnie znacznie utrudnia zastosowanie praktyczne teorii.

Drugim wymogiem warunkującym stosowanie rozwiązań teoretycznych w praktyce jest istnienie odpowiedniego oprogramowania komputerowego.

W przypadku teorii M. Chudka - L. Stefańskiego [2] istnieje bardzo ścisły związek pomiędzy wartościami wskaźników deformacji powierzchni terenu i własnościami fizykomechanicznymi skał (warstw) budujących górotwór. Pozwala to z łatwością na określanie wartości deformacji powierzchni terenu z wykorzystaniem omawianej teorii. Dodatkowo jej stosowanie w praktyce ułatwia opracowane oprogramowanie komputerowe. W niniejszej pracy przedstawiono przykłady weryfikacji teorii oraz opis powyższego oprogramowania.

2. Podstawowe założenia i wzory teorii

Jednym z podstawowych założeń teorii jest uwzględnienie warstwowej budowy górotworu, dzięki czemu uzyskano opis procesu deformacji tłumaczący istotę zjawiska.

Górotwór o warstwowej budowie poprzez wybieranie złoża ulega deformacji w wyniku działania momentu niszczącego (zginającego) zachodzącego w poszczególnych związanych warstwach górotworu, doprowadzając tym samym do powstania strefy zawalu pełnego oraz stref spękań i ugięć ujawniających się na powierzchni terenu w postaci niecki osiadania. Tak więc wybieranie pokładu wywołuje działanie momentu niszczącego najpierw w warstwie stropowej wybranego pokładu, a następnie w kolejnych warstwach idąc, w kierunku nadkładu. Wartość tego momentu wynosi:

$$M_{\max} = \frac{q_i x_i^2}{8} = \frac{m_1^2 y_i}{6} (R_{CS} + R_{RS}), \quad (1)$$

gdzie:

m_1 - grubość warstwy stropowej,

R_{RS}, R_{CS} - średnia wartość wytrzymałości na rozciąganie i ściskanie skał,

q_i - obciążenie graniczne działające na poszczególłą warstwę karbońską, wywołujące niszczenie jej struktury lub jej deformację w postaci ugięcia
 $q_i = p_2 y_i$ po wybraniu pokładu na długości x_i .

Deformacje warstw w górotworze wywołują siły rozciągające i ściskające. Zapisanie warunków równowagi sił i rozwiązanie układów równań pozwoliło autorom na podanie

wzoru na wielkość parametru rozproszenia wpływów głównych na powierzchni terenu (czy tzw. promienia zasięgu wpływów głównych) :

$$r = \sqrt{\frac{HR_{rs}}{\gamma_{sr}}}, \quad (2)$$

gdzie:

H - głębokość zalegania pokładu,

γ_{sr} - średni ciężar objętościowy skał obliczany między stropem pokładu i powierzchnią terenu,

R_{rs} - średnia wytrzymałość skał na rozciąganie.

Przesunięcie wpływów eksploatacji p określa wzór :

$$p = 0.14 \sqrt{\frac{HR_{rs}}{\gamma_{sr}}}. \quad (3)$$

Jak widać, omawiana teoria wiąże najściślej spośród znanych z literatury rozwiązań wartości wskaźników deformacji z własnościami mechanicznymi górotworu.

Szczegółowe wzory pozwalające na obliczanie wartości wskaźników deformacji dla zagadnienia płaskiego oraz wartości maksymalne podstawowych wskaźników podano w pracy [2]. Z tego względu oraz z uwagi na ograniczoną objętość artykułu nie będą tu przytaczane.

Dla przypadku przestrzennego wzór na przemieszczenia pionowe punktu P(s,t) - rys.2b, wyrażony jest następująco :

$$w(x, y, s, t) = w_{\max} \frac{\gamma_{sr}}{HR_{rs}} \iint_P e^{-\pi \frac{(x-s)^2 + (y-q)^2}{\gamma_{sr}}} HR_{rs} dP, \quad (4)$$

$$w_{\max} = -a g, \quad (5)$$

gdzie:

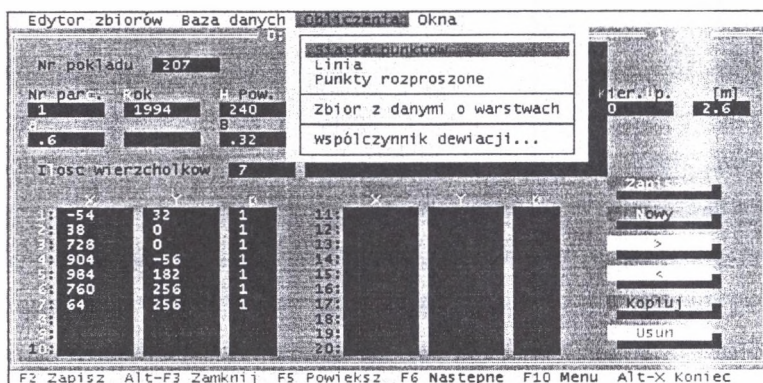
a - współczynnik eksploatacji (kierowania stropem),

g - grubość pokładu.

Pozostałe wskaźniki deformacji oblicza się w prosty sposób na drodze różniczkowania.

3. Charakterystyka oprogramowania

W celu wykonywania prognoz dla stanów ustalonych został opracowany program komputerowy o nazwie DEFC. Oprócz podstawowego zadania wspomnianego wyżej, program łączy w sobie bazę danych o eksploatacji górniczej wraz z możliwością graficznego przedstawienia zawartości tej bazy na ekranie monitora w różnej postaci. Wbudowany moduł sprawdzający poprawność danych do obliczeń zgromadzonych w bazie pozwala na szybkie i bezbłędne przygotowywanie danych. Program wyposażono w nowoczesny interfejs użytkownika z wykorzystaniem menu oraz systemu okien dialogowych. Przykładowy wygląd ekranu w czasie pracy programu przedstawiono na rys.1.



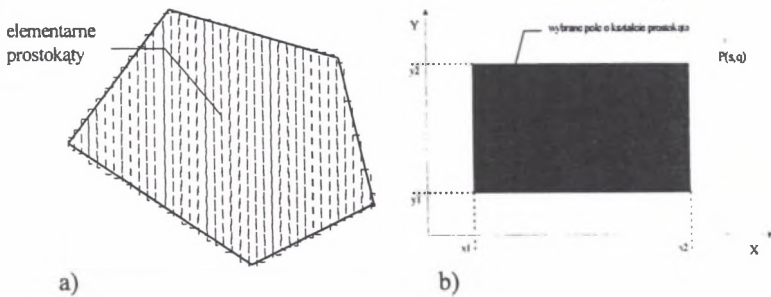
Rys. 1. Przykładowy wygląd ekranu w czasie pracy programu DEFC

Fig. 1. The example of user interface from DEFC software

Najistotniejsze możliwości programu są następujące :

- obliczenia mogą być przeprowadzane dla dowolnej ilości parcel eksploatacyjnych o dowolnym kształcie,
- program oblicza wartości następujących wskaźników deformacji: osiadania, nachylenia w dwóch dowolnie wybranych kierunkach, nachylenia maksymalne, przesunięcia poziome w dwóch dowolnie wybranych kierunkach, przesunięcia poziome maksymalne, krzywizny pionowe w dwóch dowolnie wybranych kierunkach, krzywizny pionowe w kierunkach głównych, odkształcenia poziome w dwóch dowolnie wybranych kierunkach, odkształcenia poziome w kierunkach głównych, odkształcenia pionowe,
- uwzględniana jest dewiacja wpływów w przypadku pokładów nachylonych,
- obliczenia mogą być przeprowadzane dla dowolnej ilości punktów, które mogą stanowić regularną siatkę, mogą być rozmieszczone w linii bądź też mogą to być punkty rozproszone na powierzchni terenu oraz w górotworze.

Algorytm obliczeniowy programu oparty jest na zasadzie podziału parceli o dowolnym kształcie na elementarne prostokąty (paski) - rys.2a.



Rys. 2. Schemat objaśniający sposób obliczania całki z funkcji wpływów:

a) podział parceli o dowolnym kształcie na elementarne prostokąty,

b) obliczanie wartości całki z funkcji wpływów dla eksploatacji w kształcie prostokąta

Fig. 2. The schetch explaining calculation of integral from influence function

a) division of extraction field into elementary rectangles,

b) calculation of integral from influence function for extraction field of rectangular shape

Dzięki takiemu podejściu możliwe jest numeryczne obliczenie całki z funkcji wpływów. Dla każdego paska w ramach parceli oblicza się wartość całki z funkcji wpływów wg zależności (rys.2b) :

$$F(x, y, s, t) = \iint_P e^{\frac{-\pi((x-s)^2 + (y-q)^2)}{\gamma_{ur}} HR_{ns}} dP = \int_{x_1}^{x_2} e^{\frac{-\pi((x-s)^2 + (y-q)^2)}{\gamma_{ur}} HR_{ns}} dx \int_{y_1}^{y_2} e^{\frac{-\pi((x-s)^2 + (y-q)^2)}{\gamma_{ur}} HR_{ns}} dy \quad (6)$$

Ze względu na fakt, iż całka ta nie jest rozwiązywalna przez kwadraturę, w programie zastosowano przybliżenie jej wartości wielomianem Czebyszewa [4]. Obliczone w ten sposób elementarne wartości całki podlegają zasadzie superpozycji, umożliwiając tym samym efektywne obliczenie jej wartości dla danej parceli.

Aby przyspieszyć obliczenia, program stosuje algorytmy wspomagające, mające na celu m.in. wykrycie w bazie danych parcel o kształcie prostokąta, co pozwala na uniknięcie podziału takiej parceli na elementarne prostokąty.

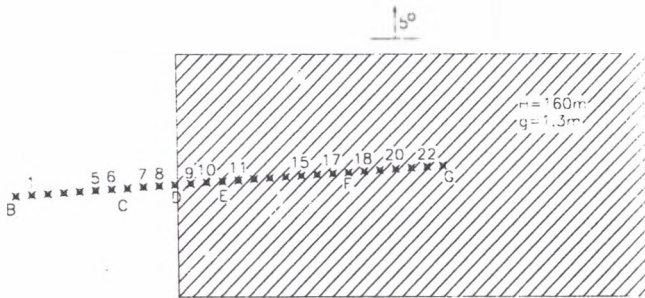
4. Wyniki przeprowadzonej weryfikacji

Przedmiotowa teoria znalazła praktyczne zastosowanie w wielu pracach wykonywanych na potrzeby przemysłu. Dzięki stworzonemu oprogramowaniu możliwe stało się wykonywanie odpowiednich prognoz dla asymptotycznego stanu deformacji. Tytułem przykładu poniżej przedstawione zostaną przypadki pokazujące zgodność kontrolnych obliczeń z wynikami pomiarów geodezyjnych (tzw. reproгноza).

4.1. Linia B-L z terenu KWK Dębieńsko

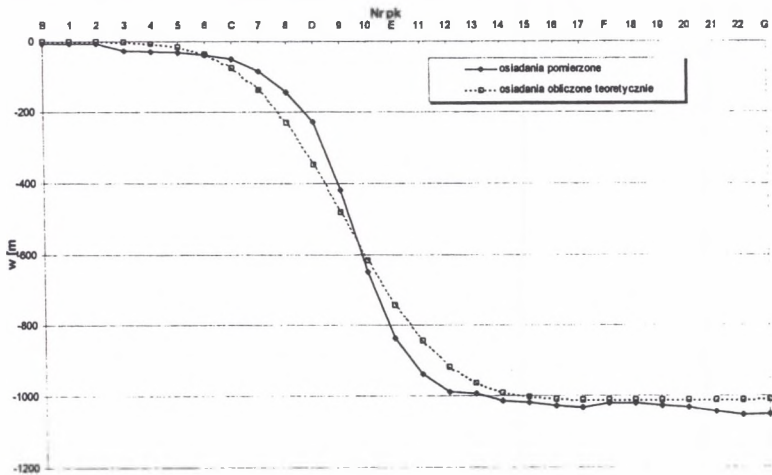
Na rys.3 przedstawiono usytuowanie rozpatrywanej linii obserwacyjnej względem dokonanej eksploatacji górniczej. Górótwór w rozpatrywanym rejonie zbudowany jest z nadkładu czwartorzędowego o grubości około 55 m oraz warstw karbońskich, wśród których

przeważają piaskowce drobnoziarniste i łupki ilaste. Warstwy zapadają się pod średnim kątem około 5° . Eksploatacja prowadzona była na głębokości około 160 m systemem ścianowym z zawalem stropu na wysokość 1.3 m.



Rys. 3. Usytuowanie linii obserwacyjnej B-L względem pola eksploacyjnego w pokładzie 326/5 KWK „Dębieńsko”
 Fig. 3. Location of observing line B-L in relation to extraction field in the coal seam 326/5 Dębieńsko Coal Mine

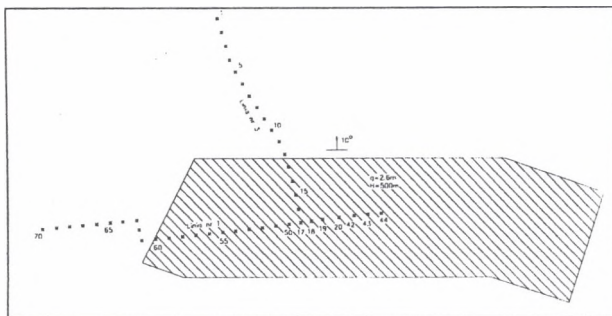
Na podstawie profilu geologicznego określono ciężar objętościowy poszczególnych warstw γ oraz wytrzymałość skał na rozciąganie R_t . Na bazie powyższych wielkości program komputerowy określił przebieg zmienności parametru rozproszenia wpływów głównych r od stropu pokładu i przesunięcia wpływów p aż do powierzchni terenu. Wartość współczynnika eksploatacji $a=0.8$ wyznaczono na podstawie wyników pomiarów dla niecki statycznej. Ze względu na ograniczoną objętość niniejszej pracy przedstawiono tylko graficzne porównanie wartości obliczonych teoretycznie z pomierzonymi – rys 4. Uzyskano wielkości odchylenia standardowego $\sigma=47.0$ mm oraz błędu procentowego $M_p=4.65\%$.



Rys. 4. Porównanie osiadań otrzymanych z pomiarów z obliczonymi teoretycznie dla linii B-L z terenu KWK „Dębieńsko”
 Fig. 4. The comparison of subsidence obtained from measurements with calculated for B-L observing line from Coal Mine “Dębieńsko”

4.2. Linia nr 1 z terenu KWK „Czczott”

Na rys. 5 przedstawiono usytuowanie linii obserwacyjnych 1 i 3 względem dokonanej eksploatacji górniczej w pokładzie 207. Górnotwór w rozpatrywanym rejonie zbudowany jest z warstw nadkładu trzecio- i czwartorzędowego oraz karbonu. Warstwy czwartorzędowe o grubości około 15 m tworzą warstwy piasku i gliny, a warstwy trzeciorzędowe o miąższości około 170 m – głównie ility i iłowce. Karbon zbudowany jest z warstw iłowców, mułowców i piaszczowców. Eksploatacja prowadzona była w pokładzie 207 na głębokości około 500 m z zawałem stropu na wysokość 2.6 m



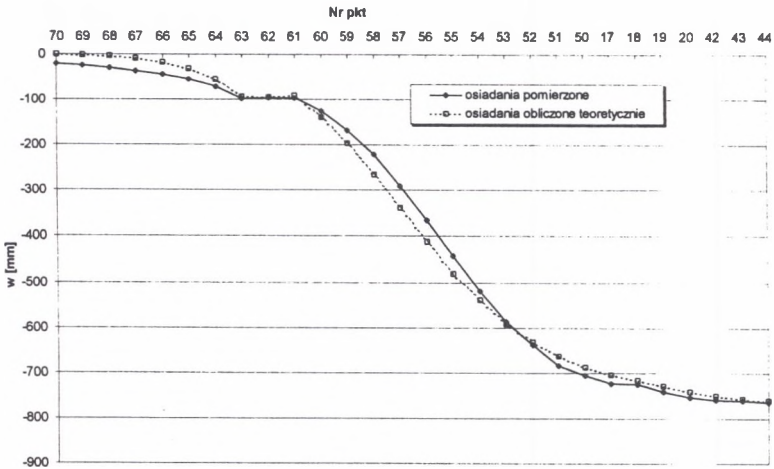
Rys. 5. Usytuowanie linii obserwacyjnych 1 i 3 względem pola eksploacyjnego w pokładzie 207 KWK „Czczott”

Fig. 5. Location of observing lines 1 and 3 in relation to extraction field in the coal seam 207 Czczott Coal Mine

Na podstawie profilu geologicznego określono budowę geologiczną oraz przyjęto wartości γ i R_p . Na identycznych zasadach jak uprzednio określony został przebieg zmienności parametru rozproszenia wpływów głównych r od stropu pokładu i przesunięcia wpływów p aż do powierzchni terenu. Do obliczeń przyjęto wartość współczynnika eksploatacji $a=0.6$ wyznaczoną na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych dla niecki statycznej. Wyniki przeprowadzonych obliczeń zilustrowano graficznie na rys.6. Otrzymano wielkości odchylenia standardowego $\sigma=23.4$ mm oraz błędu procentowego $M_p=3.07\%$.

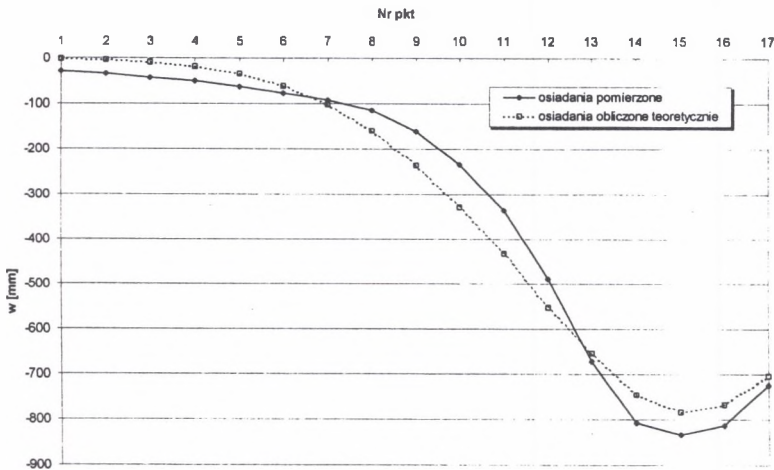
4.3. Linia nr 3 z terenu KWK „Czczott”

Ponieważ linia ta jest zlokalizowana nad tą samą eksploatacją co linia nr 1 (rys.5), do obliczeń wykorzystano te same dane dotyczące budowy geologicznej górnotworu oraz współczynnika eksploatacji a , jak w poprzednio rozważanym przykładzie. Wyniki przeprowadzonych obliczeń wraz z porównaniem z wartościami osiadań otrzymanymi na podstawie obserwacji geodezyjnych przedstawia rys.7. Otrzymano wielkości odchylenia standardowego $\sigma=51.2$ mm oraz błędu procentowego $M_p=6.14\%$.



Rys. 6. Porównanie osiadań otrzymanych z pomiarów z obliczonymi teoretycznie dla linii nr 1 z terenu KWK "Czczcott"

Fig. 6. The comparison of subsidence obtained from measurements with calculated for observing line 1 from "Czczcott" Coal Mine



Rys. 7. Porównanie osiadań otrzymanych z pomiarów z obliczonymi teoretycznie dla linii nr 3 z terenu KWK "Czczcott"

Fig. 7. The comparison of subsidence obtained from measurements with calculated for observing line 3 from "Czczcott" Coal Mine

5. Wnioski końcowe

Przedstawiony w ramach niniejszej pracy materiał oraz doświadczenia uzyskane ze stosowania w praktyce teorii M. Chudka - L. Stefańskiego pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Sposób określania wartości parametrów teorii dla celów prognoz jest jednoznaczny i prosty w zastosowaniu, gdy dysponuje się profilem litologicznym warstw budujących

górotwór. Jak wskazują na to przykłady zamieszczone w niniejszej pracy, zgodność osiadań obliczonych przy zastosowaniu teorii z wynikami pomiarów jest wystarczająco wysoka dla celów praktycznych. Świadczą o tym małe wartości błędów procentowych.

2. Opracowane oprogramowanie komputerowe pozwala na znaczne usprawnienie prac związanych z wykonywaniem prognoz oraz na osiągnięcie wysokiej dokładności obliczeń.

Powyższe stwierdzenia wskazują na pełną przydatność praktyczną przedmiotowej teorii.

LITERATURA

1. Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt Politechniki Śląskiej. Gliwice 1976.
2. Chudek M., Stefański L.: Teoretyczne ujęcie wpływu podziemnej eksploatacji złóż na deformacje powierzchni przy uwzględnieniu warstwowej budowy górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo nr 145, Gliwice 1987.
3. Chudek M., Stefański L.: Wpływ postępu frontu górniczego na szybkość deformacji terenu na powierzchni. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo nr 185, Gliwice 1990.
4. Strzałkowski P.: Program do wyznaczania parametrów teorii statystyczno-całkowych prognozowania wpływów eksploatacji górnich. Ochrona Terenów Górniczych nr 86/1989.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Antoni Goszcz

Abstract

The practical experiences of use the theory for forecasting underground mining influences on the ground surface worked out by M. Chudek – L. Stefański in the light of geodesic measurements from several Polish coal mines have been presented in this paper. Basic information's about worked out software for forecasting underground mining influences on the rock mass and ground surface by using this theory have been described too.