ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2008
Seria: GÓRNICTWO z. 286 Nr kol. 1798

Jan ZYCH, Marek KRUCZKOWSKI
Politechnika Śląska, Gliwice

PORÓWNANIE PROGNOZY DEFORMACJI POWIERZCHNI Z WYNIKAMI POMIARÓW

Streszczenie. Podstawowymi czynnikami decydującym o jakości prognozy wpływu eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu są właściwie przyjęte założenia co do wartości parametrów teorii prognozowania. W wielu przypadkach stosuje się uproszczenia, które mają wpływ na zaniżanie lub zawyżanie wskaźników deformacji. W artykule zostanie przedstawiony wpływ rozrzutu wartości parametrów teorii prognozowania wpływów na końcowe wartości wskaźników deformacji, a następnie obliczone prognozowane wskaźniki zostaną porównane z wynikami pomiarów geodezyjnych.

COMPARISON OF MINING DEFORMATION PREDICTION TO GEODETIC SURVEY RESULTS

Summary. Elemental factors determined mining effect prediction quality on land surface are correct proposition of mining effect prediction method parameters. Simplifications are used in many prediction studies. These have influence on enlargement and reduction deformation coefficients. Dispersion effect of prediction method parameters on asymptotic subsidence, slope, stain and horizontal displacement values are presented in the paper. Predicted subsidence, slope, stain and horizontal displacement are compared with geodetic survey results.

1. Wprowadzenie

Prognozowanie deformacji powierzchni terenu w wyniku podziemnej eksploatacji złóż bazuje na teoriach geometryczno-całkowych. Do chwili obecnej powstało wiele teorii służących prognozowaniu ciągłych przekształceń geomechanicznych [1, 3, 6]. Najczęściej stosowaną metodą prognozowania wpływów jest teoria W. Budryka – S. Knothego [2, 3]. W rozwiązaniu zaproponowanym przez W. Budryka i S. Knothego występują trzy parametry: współczynnik kierowania stropem, tangens kąta zasięgu wpływów głównych i parametr B ze

związku Awierszyna. Teoria ta może być stosowana z pierwotnymi założeniami przyjętymi przez jej Autorów (czyli trzema wymienionymi parametrami), ale również spotyka się prognozy, w których stosuje się pewne późniejsze zmiany. Najbardziej znaczącym zabiegiem zastosowanym w przypadku rozwiązania W. Budryka – S. Knothego jest wprowadzenie pojęcia tzw. obrzeża eksploatacyjnego, czyli cofania krawędzi wybranego pola w celu dopasowania wyników pomiarów geodezyjnych do obliczeń teoretycznych, gdyż według teoretycznego pierwotnego rozwiązania nad krawędzią eksploatacji występuje połowa osiadań maksymalnych, czego nie obserwowano w praktyce. Wprowadzenie do obliczeń obrzeża eksploatacyjnego powoduje poprawę jakości opisu statycznej niecki osiadania.

Jednocześnie należy zwrócić uwagę na to, że zastosowanie obrzeża eksploatacyjnego powoduje zmiany w wartościach ekstremalnych wskaźników deformacji oraz zmiany miejsca ich występowania. W przypadku gdy nie stosuje się obrzeża eksploatacyjnego, połowa osiadań ekstremalnych wystąpi nad krawędzią eksploatacji (wykluczając uwzględnienie wpływu nachylenia pokładu).

Analizując zagadnienie podanych wcześniej parametrów teorii, należy w tym miejscu podać najczęściej przyjmowane wartości.

Wartość tangensa kąta zasięgu wpływów głównych tgβ dla GZW najczęściej przyjmuje się z przedziału od 1,5 do 2,5.

Wartość współczynnika kierowania stropem a jest przyjmowana w zależności od sposobu likwidacji wybranej przestrzeni. Ze względu na to, że w chwili obecnej dominującym sposobem likwidacji wybranej przestrzeni jest zawał skał stropowych, wartość tego współczynnika przyjmujemy z przedziału od 0,7 do 0,8.

Wartość parametru B ze związku Awierszyna W. Budryk określił równą B=0,4r [2]. Na podstawie analizy wyników pomiarów E. Popiołek i J. Ostrowski wyznaczyli wartość B=0,32r [5].

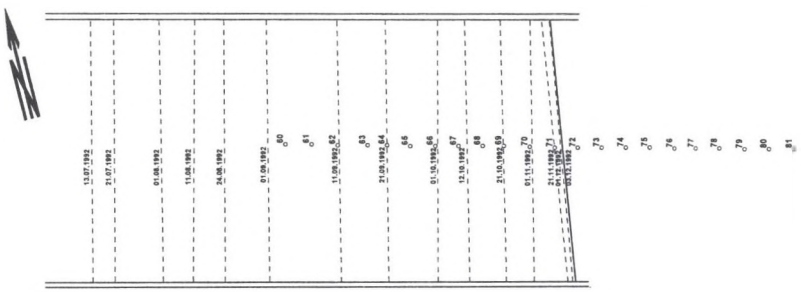
2. Analiza wpływu wartości parametrów na przebieg i wartości wskaźników deformacji

Korzystając z badań A. Kowalskiego prezentowanych w pracy [4], na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych prowadzonych na linii obserwacyjnej z terenu jednej z kopalń GZW wyznaczono wartości parametrów teorii W. Budryka – S. Knothego.

Analizowaną linię założono równolegle w stosunku do przesuwającego się frontu eksploatacyjnego w końcowym fragmencie biegu ściany. Linia składa się z 22 punktów obserwacyjnych rozmieszczonych średnio co 25 m. Lokalizację linii obserwacyjnej względem dokonanej eksploatacji przedstawiono na rys. 1.

Bezpośrednio pod linią obserwacyjną była prowadzona eksploatacja ścianą z zawałem warstw stropowych. Długość ściany wynosiła 282 m, natomiast wybieg 1236 m. Średnia głębokość eksploatacji w rejonie linii wynosiła 482 m. Wysokość, na jaką wybierano ścianę, wynosiła w rejonie omawianej linii średnio 2,0 m.

W omawianym rejonie górotwór zbudowany jest z utworów czwartorzędowych o grubości ok. 20 m wykształconych w postaci piasków, glin i iłów oraz karbońskich (warstwy orzeskie) zbudowanych z utworów iłowcowo-mułowcowych z niewielkim udziałem wkładek piaskowców drobnoziarnistych. Upad warstw jest w kierunku na południe pod kątem 4 – 6°.



Rys. 1. Lokalizacja linii pomiarowej względem eksploatacji
Fig. 1. Layout of the longwall panel and monitoring stations

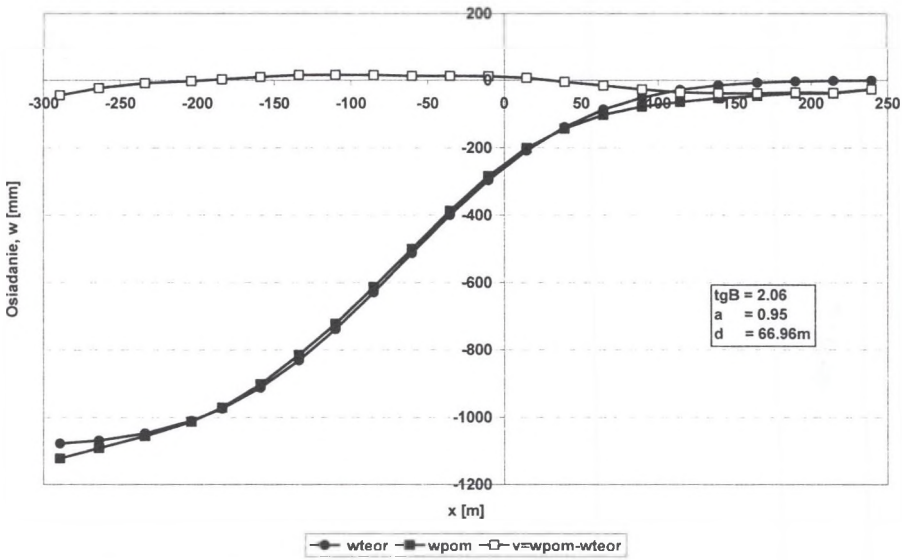
Wartości parametrów kształtują się następująco:

- współczynnik kierowania stropem - a = 0,95 (zastosowano ograniczenie a = 0,95, gdyż wartość współczynnika otrzymywana w wyniku obliczeń była większa od 1),
- obrzeże eksploatacyjne - d = 66,26 m,
- tangens kąta zasięgu wpływów głównych - tgβ = 2,06.

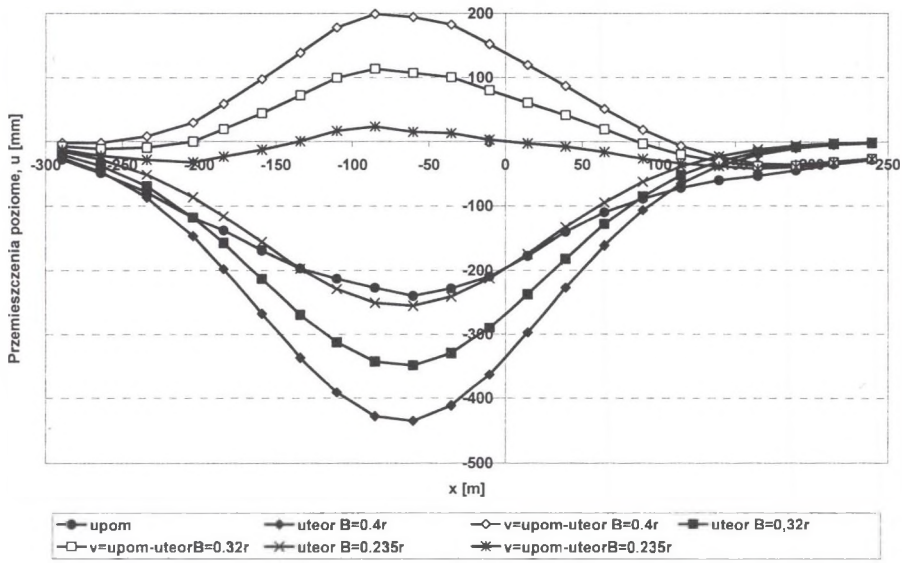
O wysokim stopniu dopasowania osiadań dla niecki pomierzonej do teoretycznej świadczy wartość odchylenia standardowego σ = 24,0 mm oraz błąd procentowy równy M = 2,14%. Porównanie osiadań pomierzonych do osiadań otrzymanych z obliczeń teoretycznych przedstawiono na rys. 2.

Na podstawie przebiegu przemieszczeń poziomych wyznaczono wartość parametru B występującego w związku Awierszyna (rys. 3). Wartość tego parametru wyniosła B = 0,235r przy wartości odchylenia standardowego σ = 24,30 mm oraz błędu procentowego równego M = 10,12%. Podobną wartość parametru B w swojej pracy podał A. Kowalski [4].

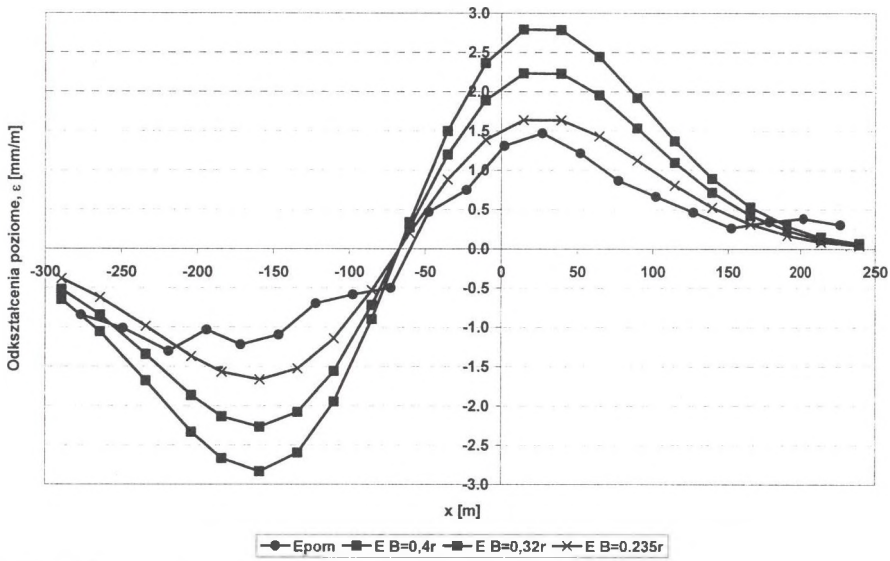
Dodatkowo na rys. 3 przedstawiono przebieg przemieszczeń poziomych obliczony dla wartości B=0,4r [2], B=0,32r [5] oraz dla wartości B i r wyznaczonej z pomiarów. Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że najlepszą jakość dopasowania wyników pomiarów do wyników obliczeń teoretycznych uzyskano dla wartości B wyznaczonej z obserwacji geodezyjnych. Powyższe stwierdzenie potwierdza analiza wykresu odkształceń poziomych przedstawiona na rys. 4.



Rys. 2. Osiadania pomierzone i obliczone teoretycznie
Fig. 2. Subsidence profile obtained from survey and subsidence predictions



Rys. 3. Przemieszczenia poziome pomierzone i obliczone teoretycznie
Fig. 3. Horizontal displacement profile obtained from survey and horizontal displacement predictions



Rys. 4. Odkształcenia poziome otrzymane z pomiarów i obliczone teoretycznie
Fig. 4. Strain profile obtained from survey and strain predictions

Kolejnym etapem badań było przeprowadzenie analizy wpływu doboru wartości parametrów występujących we wzorach teorii na wartości wskaźników deformacji.

W rozważaniach przyjęto następujące założenia dotyczące możliwych wariantów:

1. Do obliczeń dla ruchów poziomych przyjęto wartość parametru B = 0,235r, czyli wyznaczoną pomiarów.
2. Wartość jednego z trzech parametrów teorii została zawyżona lub zaniżona o 10%, co odpowiada wartościom:
   - współczynnika osiadania równej odpowiednio a = 0,855 i a = 1,045,
   - obrzeża eksploatacyjnego odpowiednio d = 60,26 m i d =73,66 m,
   - tangensa kąta zasięgu wpływów głównych odpowiednio tgβ = 1,86 i tgβ = 2,27.

Krótkiego komentarza wymaga przyjęcie wartości współczynnika osiadania większej od 1, co wynika z tego, że wartość grubości pokładu również może zostać zawyżona i zaniżona.

Na rys. 5, 6, 7 i 8 przedstawiono wykresy odpowiednio: osiadań, nachyleń, przemieszczeń poziomych i odkształceń poziomych. W legendzie podano tylko te wartości parametrów, które były zmieniane, natomiast wartości pozostałych zostały przyjęte na podstawie przeprowadzonej identyfikacji (pierwsza pozycja w legendzie).

W tablicy 1 przedstawiono wartości maksymalnych i minimalnych wskaźników deformacji obliczonych: z pomiarów geodezyjnych, przy wyznaczonych parametrach oraz otrzymanych w wyniku przeprowadzonych badań.

Tablica 1

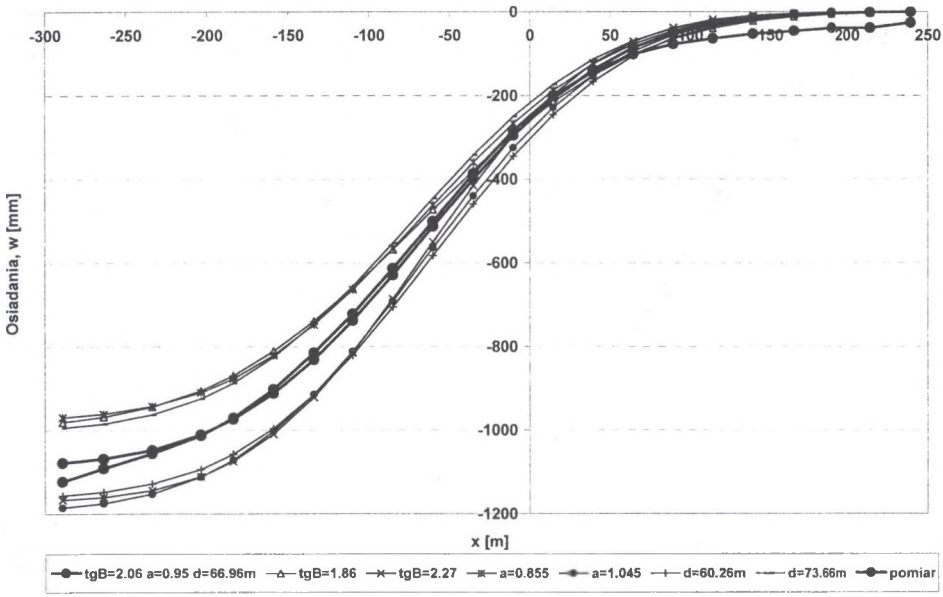
Porównanie wartości wskaźników deformacji

	Osiadanie, w [mm]	Nachylenie, T [mm/m]	Przemieszczenie poziome, u [mm]	Odkształcenie poziome, ε [mm/m]	
				Ściskające	Rozciągające
Pomierzone	-1122	4,53	-240	-1,30	1,47
a=0,95 tgB=2,06 d = 66,96m	-1077	4,65	-255	-1,66	1,64
Minimalne	-970 (a=0,855)	3,84 (tgβ=1,86)	-230 (a=0,855)	-1,37 (tgβ=1,86)	1,37 (tgβ=1,86)
Maksymalne	-1185 (a=1,045)	5,51 (tgβ=2,27)	-281 (a=1,045)	-1,96 (tgβ=2,27)	1,97 (tgβ=2,27)

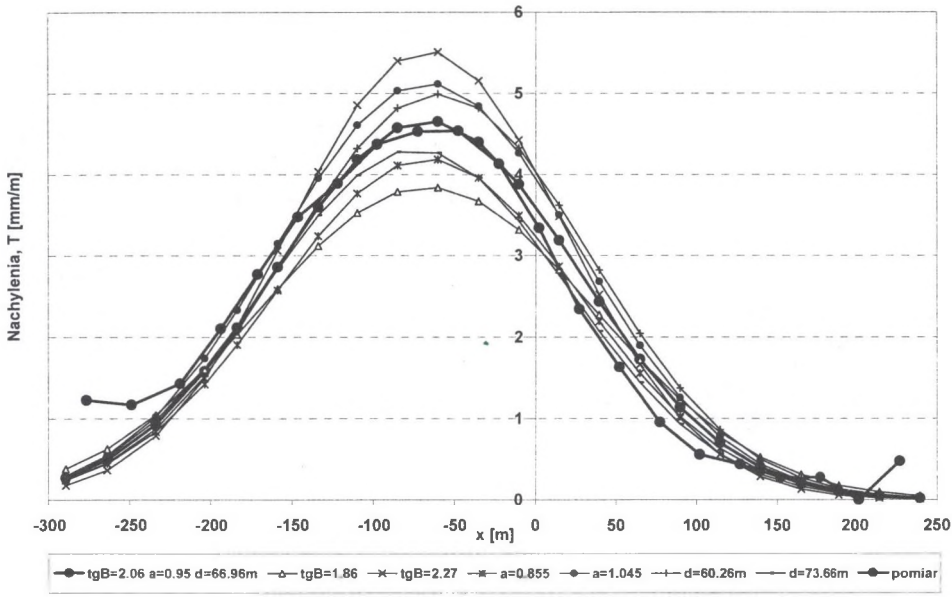
Analizując poniższe wykresy i tablicę 1, można stwierdzić, że w zależności od przyjętych założeń co do wartości parametrów można uzyskać różne rozkłady poszczególnych wskaźników deformacji. Różnice mogą wystąpić w maksymalnych wartościach - dla osiadań różnice pomiędzy wartością zmierzoną a obliczonymi przy najbardziej niekorzystnych wariantach wynosiła od 63 do 152 mm, dla nachyleń od ok. 0,7 mm/m do ok. 1 mm/m, dla przemieszczeń poziomych od 10 do 41 mm oraz dla odkształceń poziomych ściskających od 0,07 do 0,66 mm/m, natomiast dla odkształceń poziomych rozciągających od 0,10 do 0,50 mm/m. Występowały też różnice w miejscach występowania maksymalnych wartości wskaźników deformacji, w szczególności największe różnice dotyczyły odkształceń poziomych ściskających.

Na rys. 9 przedstawiono porównanie wartości odchylenia standardowego dla osiadań i przemieszczeń poziomych, natomiast na rys. 10 wartości błędu procentowego dla obu podanych wskaźników deformacji. Analizując rys. 9, można stwierdzić, że zmiana tylko jednego z parametrów spowodowała 2,5–3-krotny wzrost odchylenia standardowego dla osiadań w porównaniu z wyznaczonymi wartościami parametrów teorii. Dla przemieszczeń poziomych wartość odchylenia standardowego wzrosła maksymalnie o około 15 mm dla wariantów uwzględniających błędne założenie co do współczynnika osiadania. Dla wariantu tgβ = 1,86 wystąpiło zmniejszenie wartości odchylenia standardowego o 6,8 mm, co może być dowodem na większy zasięg wpływów dla ruchów poziomych.

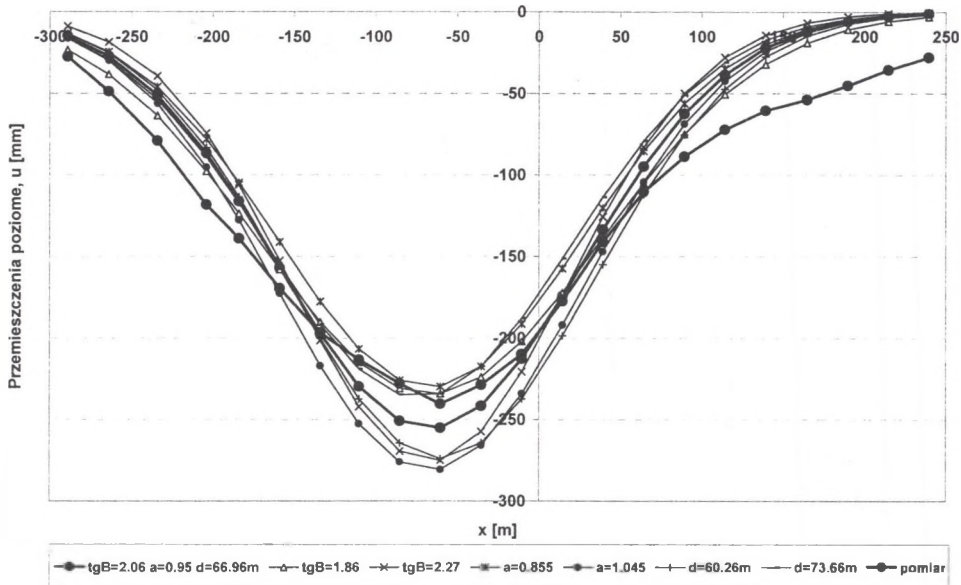
Podobne zmiany można zauważyć w wartościach błędu procentowego, wyrażonego jako stosunek odchylenia standardowego do wartości maksymalnej danego wskaźnika (rys. 10).



Rys. 5. Porównanie osiadań pomierzonych i obliczone teoretycznie dla 7 wariantów wartości parametrów
Fig. 5. Comparison measured subsidence profile with subsidence predictions obtained from 7 variants of parameter values

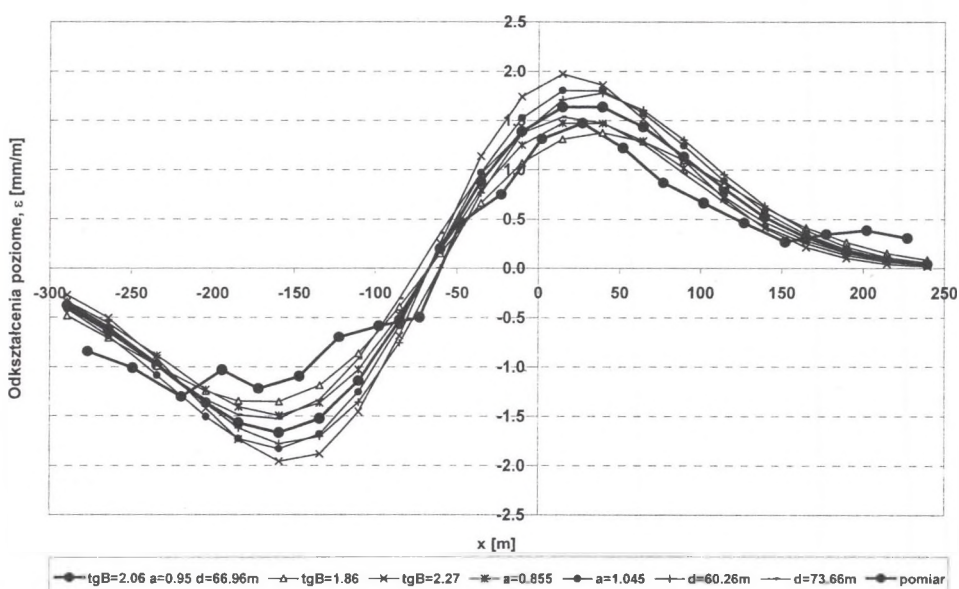


Rys. 6. Porównanie nachyleń obliczonych z pomiarów i obliczonych teoretycznie dla 7 wariantów wartości parametrów
Fig. 6. Comparison slope profile calculated from survey with slope predictions obtained from 7 variants of parameter values



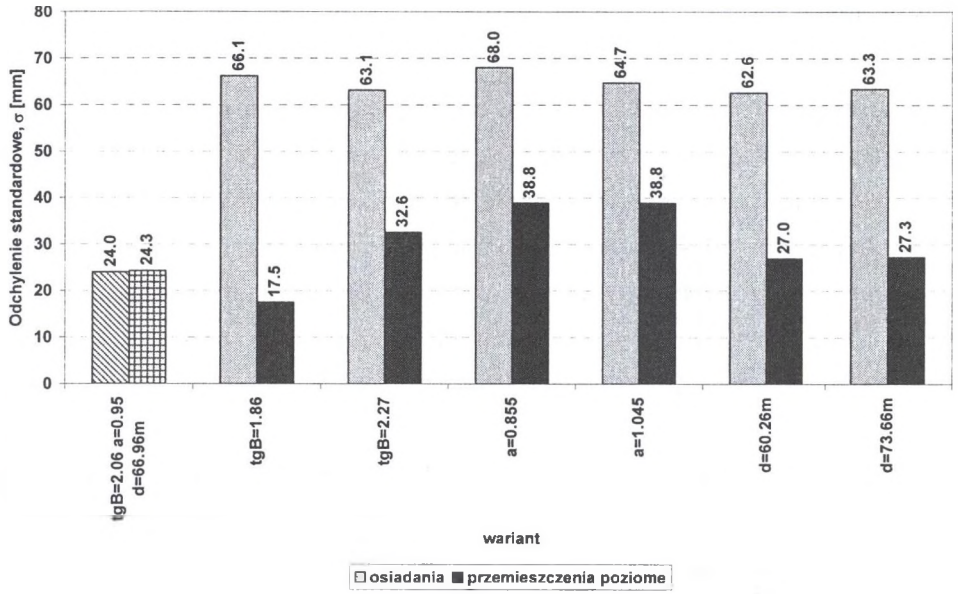
Rys. 7. Porównanie przemieszczeń poziomych pomierzonych i obliczonych teoretycznie dla 7 wariantów wartości parametrów

Fig. 7. Comparison measured horizontal displacement profile with horizontal displacement predictions obtained from 7 variants of parameter values

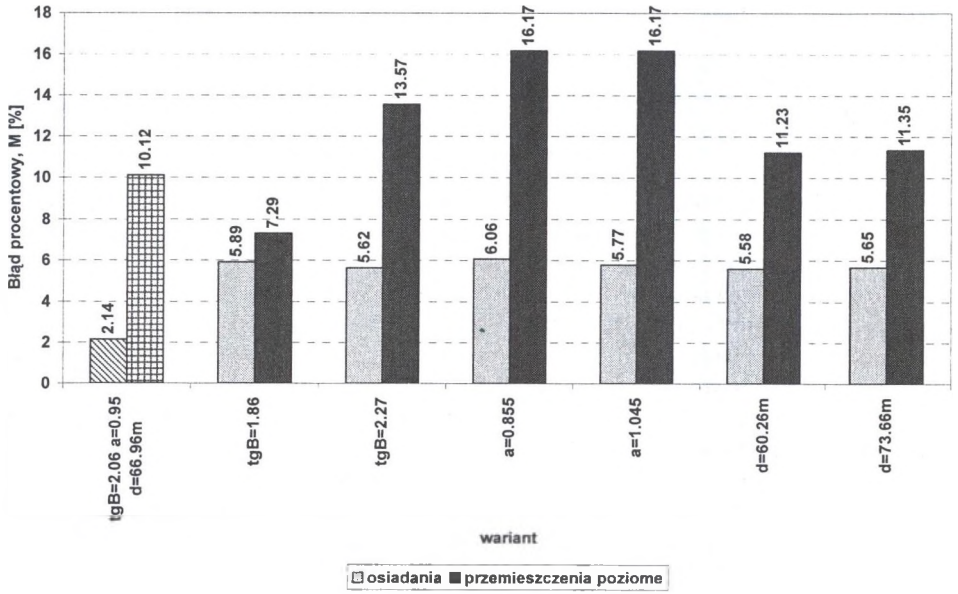


Rys. 8. Porównanie odkształceń poziomych obliczonych z pomiarów i obliczonych teoretycznie dla 7 wariantów wartości parametrów

Fig. 8. Comparison strain profile calculated from survey with strain predictions obtained from 7 variants of parameter values



Rys. 9. Odchylenia standardowe dla osiadań i przemieszczeń poziomych dla 7 wariantów wartości parametrów
Fig. 9. Standard deviation values for subsidence and for horizontal displacement obtained from 7 variants of parameter values



Rys. 10. Wartości błędu procentowego dla osiadań i przemieszczeń poziomych dla 7 wariantów wartości parametrów
Fig. 10. Proportional error values for subsidence and for horizontal displacement obtained from 7 variants of parameter values

3. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można wysunąć następujące wnioski:

- wartość parametru B ze związku Awierszyna powinna być w miarę możliwości indywidualnie przyjmowana dla każdego przypadku eksploatacji. Przyjmowanie w obliczeniach B=0,4r może powodować prawie dwukrotnie większe maksymalne wartości przemieszczeń i odkształceń poziomych od obserwowanych w praktyce,
- na podstawie 10% różnicy w wartościach przyjętych parametrów można stwierdzić, że mogą zaistnieć znaczące rozbieżności pomiędzy wartościami zmierzonymi i prognozowanymi,
- w przypadku osiadań różnica 10% w wartości jednego parametru spowodowała znaczne zmiany w jakości opisu (ponad 2,5-krotny wzrost odchylenia standardowego i błędu procentowego dla osiadań),
- błędne założenia parametrów teorii, paradoksalnie, mogą wpływać na poprawę jakości opisu ruchów poziomych, co jest związane z innym zasięgiem wpływów dla deformacji pionowych i poziomych [6].

BIBLIOGRAFIA

1. Chudek M., Stefański L.: Teoretyczne ujęcie wpływu podziemnej eksploatacji złóż na deformacje powierzchni przy uwzględnieniu warstwowej budowy górotworu. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo z. 145, Gliwice 1987.
2. Budryk W.: Wyznaczanie wielkości poziomych odkształceń terenu. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa t. 1 z.1, Kraków 1953.
3. Knothe S.: Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa t. 1 z.1, Kraków 1953.
4. Kowalski A.: Nieustalone górnicze deformacje powierzchni w aspekcie dokładności prognoz. Prace Naukowe GIG nr 871, Katowice 2007.
5. Popiołek E., Ostrowski J.: Zależność między nachyleniami a poziomymi odkształceniami terenu w ostatecznie wykształconych nieckach osiadania. OTG nr 46, Katowice 1978.
6. Zych J.: Metoda prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu uwzględniająca asymetryczny przebieg procesu deformacji. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. s. Górnictwo z. 164, Gliwice 1987.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Kwiatek