GÓRNICTWO I GEOLOGIA 2010
Tom 5 Zeszyt 2

Jan ZYCH
Politechnika Śląska, Gliwice

WPŁYW ODLEGŁOŚCI PUNKTÓW W LINIACH OBSERWACYJNYCH NA WARTOŚCI OBLICZANYCH Z POMIARÓW ODKSZTAŁCEŃ POZIOMYCH

Streszczenie. W artykule zostanie przeprowadzona analiza, w jaki sposób odległość pomiędzy punktami w liniach pomiarowych wpływa na wartości obliczanych z pomiarów odkształceń poziomych.

THE INFLUENCE OF DISTANCE BETWEEN POINTS IN OBSERVATION LINES ON THE VALUES OF HORIZONTAL DEFORMATION CALCULATED FROM MEASUREMENTS

Summary. An analysis of the influence of distance between points in observation lines on the values which are calculated from measurements of horizontal deformation has been presented in this paper.

1. Uwagi ogólne o mierzeniu i wyznaczaniu wskaźników deformacji

W praktyce naszego górnictwa największe zastosowanie do pomiarów deformacji znajdują metody geodezyjne, które w przeważającej mierze spełniają wymagania stawiane tego rodzaju pomiarom. Wykazują one wiele zalet, a mianowicie:

- pozwalają wyznaczać zarówno bezwzględne, jak i względne wartości poszczególnych wskaźników deformacji,
- są uniwersalne, gdyż mogą być stosowane do badań deformacji powierzchni terenu i obiektów znajdujących się na niej lub w górotworze,
- mogą być stosowane do pomiarów zarówno dużych, jak i małych wartości deformacji, dzięki możliwości doboru odpowiedniej aparatury pomiarowej i metody mierzenia,
- umożliwiają uzyskiwanie dużych dokładności wyników pomiarów,
- są dostatecznie wypróbowane, a zatem i niezawodne.

Na podstawie pomiarów geodezyjnych prowadzonych w nawiązaniu do stałych punktów odniesienia wyznacza się bezwzględne wartości:

- przemieszczeń pionowych (obniżeń lub wypiętrzeń) punktów obserwacyjnych,
- przemieszczeń poziomych.

Nachylenia i krzywizny wyznacza się na podstawie wyników pomiarów osiadań, natomiast odkształcenia poziome na podstawie wyników pomiarów przemieszczeń poziomych punktów obserwacyjnych, względnie z pomiarów odległości między punktami. Dla przykładu, mając pomierzone przemieszczenia poziome dwóch punktów A i B oraz odległość między nimi, możemy obliczyć średnie odkształcenie poziome ze wzoru:

$$\varepsilon_{śr} = \frac{u_B - u_A}{L_{AB}} = \frac{\Delta u_{AB}}{L_{AB}} \tag{1.1}$$

lub mając pomierzone odległości pomiędzy punktami linii, ze wzoru:

$$\varepsilon_{śr} = \frac{L^1_{AB} - L_{AB}}{L_{AB}} = \frac{\Delta L_{AB}}{L_{AB}}, \tag{1.2}$$

gdzie:

u_A, u_B – przemieszczenia poziome punktów A i B,

L_{AB} – długość odcinka AB.

L^1_{AB} – długość odcinka AB w następnym pomiarze.

Tak obliczone odkształcenia poziome są wartościami średnimi dla odcinka AB, gdyż nie możemy wyznaczyć odkształcenia poziomego w punktach pośrednich. Dla wyznaczenia tych wielkości w punkcie należałoby operować wartościami przy przejściu do granicy:

$$\varepsilon_{L\to 0} = \frac{\Delta u}{L}. \tag{1.3}$$

W praktyce dla wyznaczania wartości odkształceń poziomych powinno się stosować odpowiednio dobrane długości odcinków (boków).

2. Przyczyny różnic pomiędzy prognozowanymi i obserwowanymi na podstawie pomiarów wskaźnikami deformacji

Przy podejmowaniu decyzji o dopuszczeniu eksploatacji górniczej, zwłaszcza w filarach ochronnych, podstawowym elementem, jaki bierze się pod uwagę, jest prognoza deformacji powierzchni terenu. Decyduje ona o wielkości spodziewanych szkód w istniejących obiektach, a przy projektowaniu nowych, decyduje o sposobie i rodzaju zastosowanych zabezpieczeń profilaktycznych przed wystąpieniem nadmiernych uszkodzeń. W tej sytuacji

zakres podejmowanych działań zależy bezpośrednio od wiarygodności prognozy. Im prognoza jest bardziej wiarygodna, tym lepiej potrafimy wykorzystać złoże oraz zoptymalizować zakres nieodzownych zabezpieczeń obiektów.

Ze szczegółowych badań prowadzonych in situ [1, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17], a także na modelach [2, 3], wynika, że teorie geometryczno-całkowe wykazują pewne systematyczne rozbieżności pomiędzy prognozowanymi wartościami deformacji a wynikami pomiarów geodezyjnych. Rozbieżności te wynikają zasadniczo z następujących przyczyn:

- zmiany przebiegu eksploatacji w stosunku do projektu,
- błędów pomiarowych,
- rozproszenia losowego wskaźników deformacji,
- nieadekwantości modelu górotworu przyjętego w teorii w odniesieniu do górotworu rzeczywistego,
- nieliniowego przebiegu wskaźników deformacji.

Każda z wymienionych wyżej przyczyn ma określony wpływ i odgrywa różną rolę w procesie deformacji.

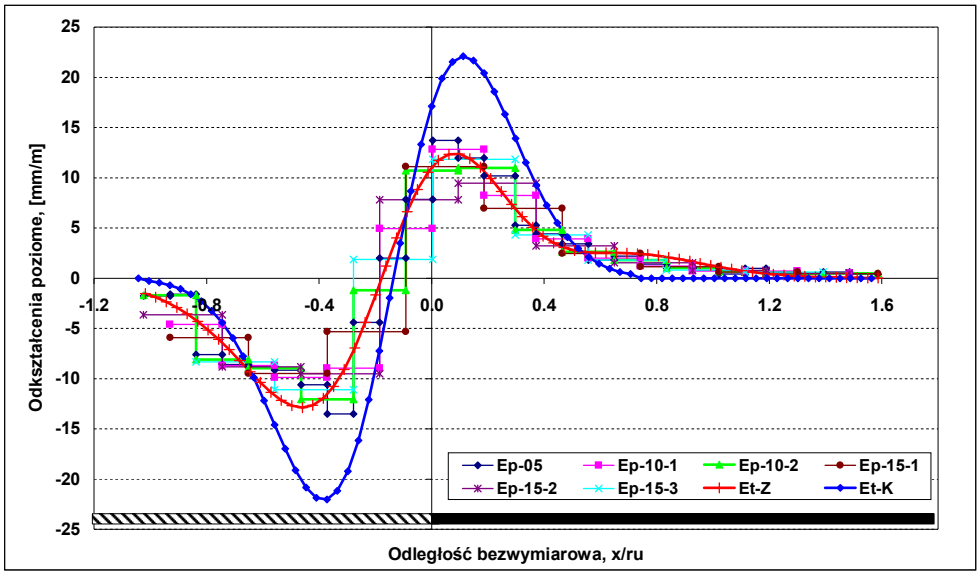
Zmiany projektu eksploatacji mogą mieć w określonych warunkach zasadnicze znaczenie lub mogą być pomijalne. Jeśli nie przyczyniły się one do zasadniczego wzrostu deformacji oraz uszkodzenia obiektów, to zawsze można skorygować prognozę deformacji, aktualizując dane wyjściowe dotyczące warunków eksploatacji złoża. Wpływ zmiany projektu eksploatacji jest w badaniach w zasadzie do wyeliminowania i pominięcia, jeśli ta zmiana nie zmienia celu badań.

Błędy pomiarowe popełniane przy obserwacji deformacji powierzchni są w większości przypadków pomijalne, pod warunkiem stosowania metod pomiaru i przyrządów eliminujących grube i systematyczne błędy. Pozostałe przyczyny w zasadzie nakładają się na siebie i trudno je w związku z tym rozdzielić.

Rozproszenie losowe ujawnia się w postaci nieregularności obserwowanego przebiegu wskaźników deformacji, których nie można wyjaśnić błędami pomiarowymi. Wielkość rozproszenia losowego można określić jedynie w stosunku do przeciętnego, najbardziej prawdopodobnego przebiegu danego wskaźnika deformacji.

Nieadekwatność modelu górotworu przyjętego w teorii w odniesieniu do górotworu rzeczywistego ma zasadnicze znaczenie. Błąd modelu powinien być mały (mniejszy od rozrzutu statystycznego zjawiska) i nie powinien wykazywać cech błędu systematycznego. Należy tutaj szczególnie podkreślić, że błąd teorii można prawidłowo określić jedynie w

przypadku dobrej zgodności teorii z wynikami pomiarów geodezyjnych. Na rys. 1 przedstawiono wykresy odkształceń poziomych obliczonych z pomiarów dla różnej długości przęsła oraz odkształcenia poziome obliczone teoretycznie według teorii S. Knothego (Et-K) i teorii J. Zycha (Et-Z) przy wyznaczonych z pomiarów parametrach teorii. Z wykresów wynika, że teoria S. Knothego wykazuje systematyczne rozbieżności z wynikami pomiarów. Takich rozbieżności nie wykazuje teoria własna [13].



Rys. 1. Odkształcenia poziome teoretyczne obliczone w punktach według teorii S. Knothego (Et-K) i teorii J. Zycha (Et-Z) oraz odkształcenia poziome obliczone z pomiarów dla różnej długości przęsła

Fig. 1. Strain calculated for S. Knothe's method (Et-K) and Zych's method (Et-Z) and strain calculated on the basis of geodtetic survey for different distances beetwen observation points

Ponieważ błąd modelu oraz rozproszenie losowe zjawiska nakładają się na siebie i trudno je rozdzielić, dlatego bada się je najczęściej wspólnie i przedstawia jako błąd teorii.

3. Wpływ odległości punktów w liniach obserwacyjnych na wartości oraz rozkład wskaźników deformacji

W celu przeprowadzenia rozważań teoretycznych dotyczących wpływu odległości punktów (długości przęseł) w liniach obserwacyjnych na wartości i rozkład wskaźników deformacji, przyjmijmy następujące założenia:

- błąd pomiaru jest równy zero,
- nie ma rozrzutu statystycznego zjawiska,
- teoria nie jest obarczona błędem systematycznym.

Dla dalszych rozważań zastosowano teorię własną [13], chociaż w zasadzie podobne rozważania można przeprowadzić na podstawie każdej innej teorii. Przy takim założeniu obliczono, wzdłuż linii zlokalizowanej prostopadle do kierunku eksploatacji, przemieszczenia poziome teoretyczne. Podkreślić należy, że obliczenia takie możemy wykonać dla dowolnych parametrów teorii oraz dowolnie gęsto rozmieszczonych punktów. Te obliczone przemieszczenia poziome potraktowano następnie jako wyniki pomiarów nieobarczone żadnym błędem i na ich podstawie obliczono odkształcenia poziome według wzoru (1.1). Obliczenia te wykonano wielokrotnie, przyjmując za każdym razem inną odległość między punktami (długość przęsła). Długość przęsła w jednostkach bezwymiarowych dla odkształceń poziomych wynosi:

$$\zeta = L/ru, \tag{1.4}$$

gdzie:

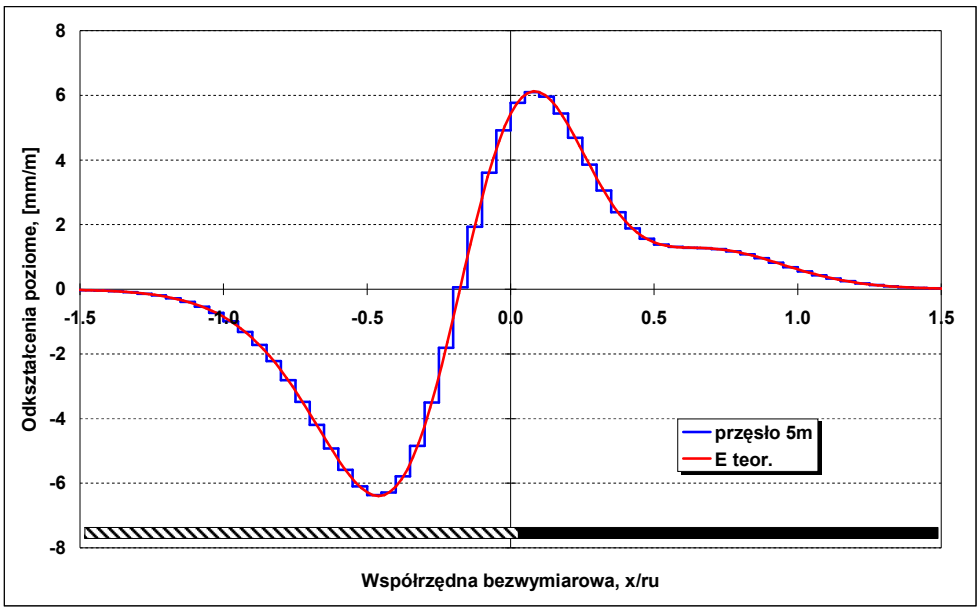
L – długość przęsła,

r_u – promień rozproszenia wpływów głównych dla ruchów poziomych.

Obliczenia wykonano dla bezwymiarowych długości przęseł równych 0,05, 0,10, 0,15, 0,20, 0,25 i 0,30 wartości parametru r_u. Obliczone wartości odkształceń poziomych są wartościami średnimi na danej długości przęsła. Dla dalszych rozważań założono, że wartości te odpowiadają punktowi położonemu w środku przęsła. Jest to potrzebne dla porównania tak obliczonych odkształceń poziomych z odkształceniami poziomymi obliczonymi teoretycznie w punktach. Aby dokonać tego porównania, konieczne jest obliczenie odkształceń poziomych teoretycznych w punktach położonych w środku przęsła. Na rys. 2, 3 i 4 przedstawiono przykładowo odkształcenia poziome teoretyczne oraz obliczone z przemieszczeń poziomych teoretycznych przy różnej długości przęsła. Z rysunków tych wynika, że krzywa odkształceń poziomych obliczona przy mniejszej długości przęsła lepiej opisuje krzywą teoretyczną. Na rys. 5 przedstawiono zbiorcze wykresy odkształceń poziomych obliczonych teoretycznie dla różnej długości przęsła. Na rys. 6 przedstawiono zbiorcze wykresy odkształceń poziomych obliczonych z pomiarów dla różnej długości przęsła oraz krzywą teoretyczną odkształceń poziomych obliczoną przy wyznaczonych parametrach teorii. Przebieg krzywej teoretycznej odkształceń poziomych przez środek pasa wyznaczonego przez odkształcenia obliczone z pomiarów świadczy o dobrej zgodności teorii własnej oraz braku błędów systematycznych.

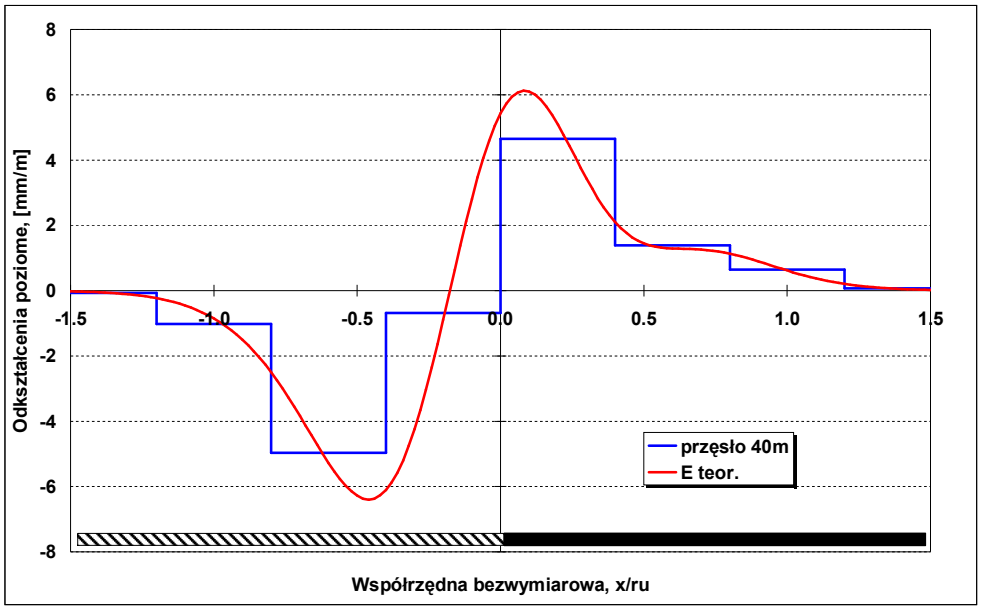
Dla porównania obliczonych teoretycznie oraz obliczonych z krzywych teoretycznych wskaźników deformacji potrzebne jest przyjęcie określonego kryterium. Problem ten wymaga szerszej dyskusji. W rozpatrywanym przypadku jako kryterium przyjęto odchylenie

standardowe oraz błąd procentowy rozumiany jako stosunek odchylenia standardowego do maksymalnej wielkości wskaźnika deformacji.



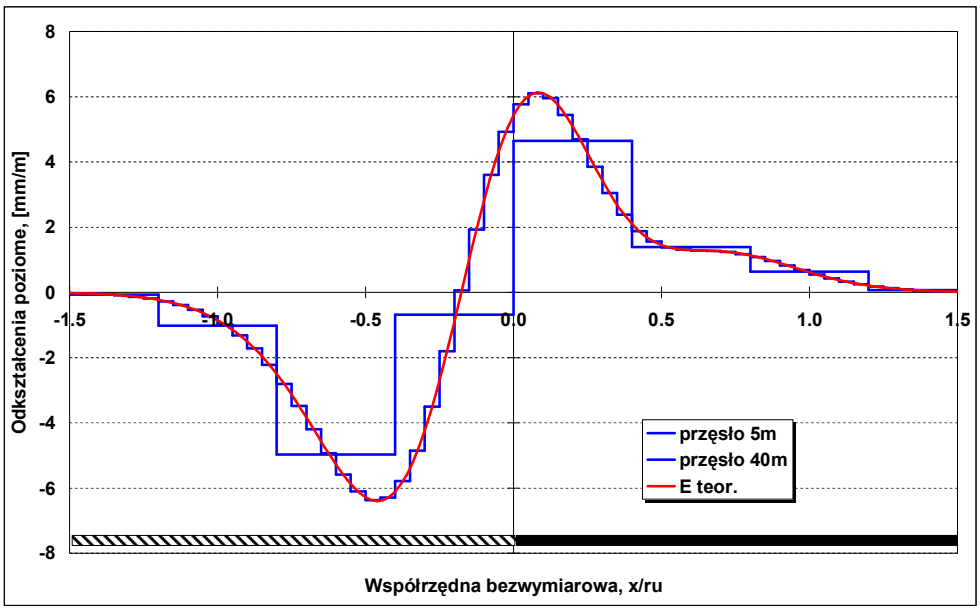
Rys. 2. Odkształcenia poziome teoretyczne obliczone w punktach według teorii J. Zycha oraz odkształcenia poziome obliczone z przemieszczeń poziomych teoretycznych dla długości przęsła równej 5 m

Fig. 2. Strain calculated for Zych's method and strain calculated on the basis predicted displacement for distances beetwen observation points equal 5 m



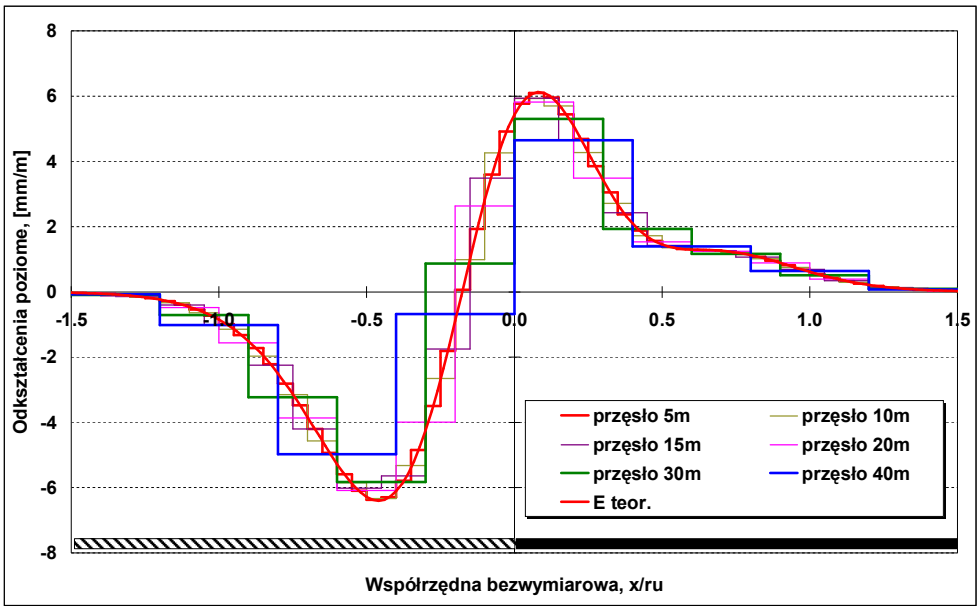
Rys. 3. Odkształcenia poziome teoretyczne obliczone w punktach według teorii J. Zycha oraz odkształcenia poziome obliczone z przemieszczeń poziomych teoretycznych dla długości przęsła równej 40 m

Fig. 3. Strain calculated for Zych's method and strain calculated on the basis predicted displacement for distances beetwen observation points equal 40 m



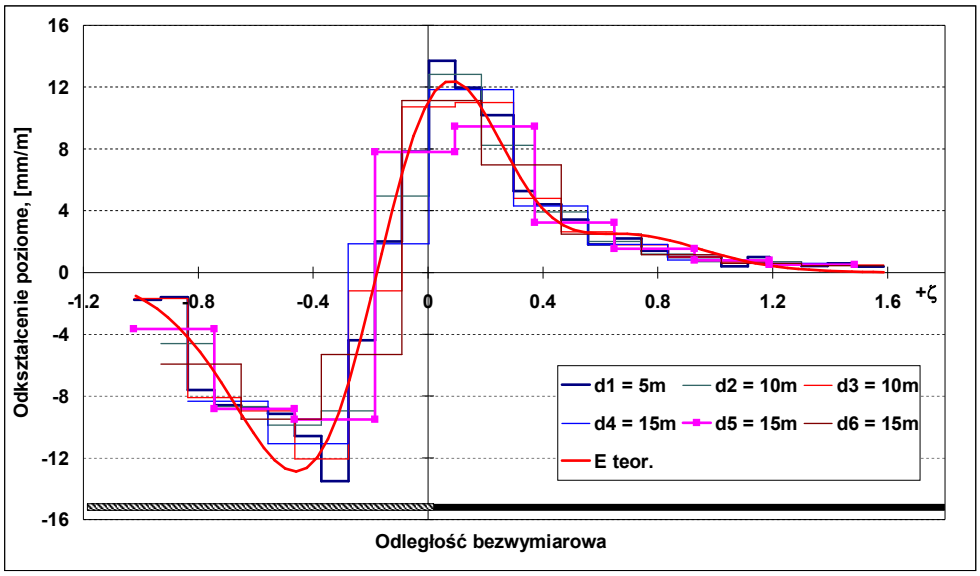
Rys. 4. Odkształcenia poziome teoretyczne obliczone w punktach według teorii J. Zycha oraz odkształcenia poziome obliczone z przemieszczeń poziomych teoretycznych dla długości przęsła równej 5 m i 40 m

Fig. 4. Strain calculated for Zych's method and strain calculated on the basis predicted displacement for distances beetwen observation points equal 5 m and 40 m



Rys. 5. Odkształcenia poziome teoretyczne obliczone w punktach oraz odkształcenia poziome obliczone z przemieszczeń poziomych teoretycznych dla różnych długości przęsła

Fig. 5. Predicted strain calculated for points and strain calculated on the basis predicted displacement for different distances beetwen observation points



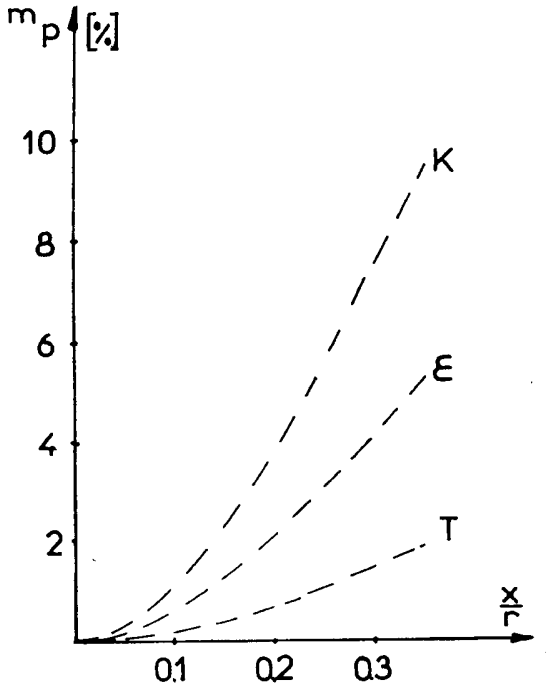
Rys. 6. Odkształcenia poziome teoretyczne obliczone w punktach oraz odkształcenia poziome obliczone z przemieszczeń poziomych otrzymanych z pomiarów dla różnej długości przęsła
Fig. 6. Predicted strain calculated calculated for points and strain calculated on the basis of geodtetic survey for different distances beetwen observation points

Z przeprowadzonych obliczeń dla podstawowych wskaźników deformacji wynika, że w przypadku gdyby pomiary osiadań i przemieszczeń poziomych były bezbłędne i nie występowało rozproszenie statystyczne procesu deformacji, to wówczas im mniejsza byłaby długość przęsła, tym mniejszy byłby błąd procentowy (rys. 7).

Rozważmy teraz przypadek, gdy osiadania i przemieszczenia poziome obarczone są pewnymi błędami. Żeby nie wnikać w całą teorię błędów, przyjmijmy pewien specyficzny rodzaj błędu, a mianowicie, że każdy punkt obarczony będzie takim samym co do bezwzględnej wartości błędem, przy czym punkty nieparzyste ze znakiem minus, a parzyste ze znakiem plus. Obliczenia wykonano dla różnej długości przęsła oraz błędu +/-0,25 mm.

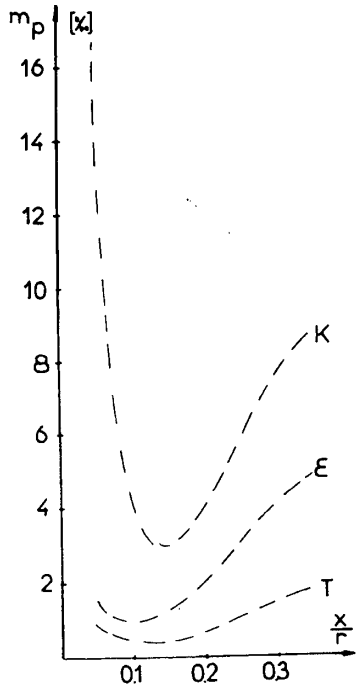
Dalsze obliczenia przeprowadzono dla różnych wartości błędu od +/-0,50mm do +/-3,00 mm oraz różnej długości przęsła. Wyników tych obliczeń nie zamieszczono w niniejszym artykule ze względu na ich dużą objętość. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że ze wzrostem wartości błędu rośnie optymalna długość przęsła [17].

Wyniki obliczeń dla błędu +/-0,25 mm przedstawiono na rys. 8.



Rys. 7. Wykresy rozkładu błędu procentowego teorii w zależności od długości przęsła, przy założeniu, że błąd pomiaru jest równy zero

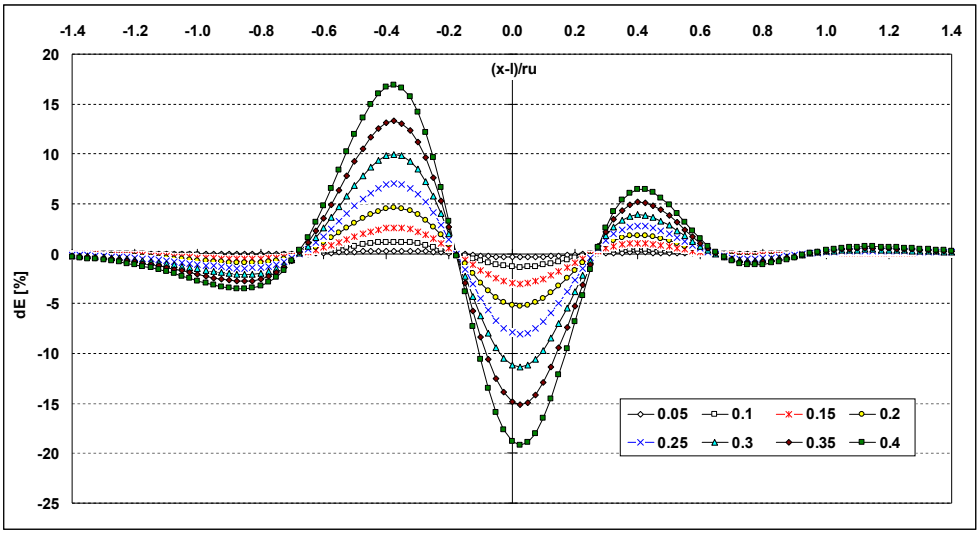
Fig. 7. Curves of proportional error distribution of prediction mining effect method according to distances beetwen observation points. It was assumed that error of subsidence and displacement surveing was equal zero



Rys. 8. Wykresy rozkładu błędu procentowego teorii w zależności od długości przęsła, przy założeniu, że błąd pomiaru osiadań i przemieszczeń poziomych jest równy ±0,25 mm

Fig. 8. Curves of proportional error distribution of prediction mining effect method according to distances beetwen observation points. It was assumed that error of subsidence and displacement surveing was equal ±0.25 mm

Na rys. 9 przedstawiono zbiorcze wyniki obliczonych różnic procentowych odkształceń poziomych dla różnej długości przęsła. Z wykresów tych wynika, że największe różnice występują w rejonie występowania ekstremalnych wartości odkształceń poziomych. Związane jest to z nieliniowym charakterem przebiegu odkształceń poziomych.



Rys. 9. Rozkład różnic wyrażonych w procentach pomiędzy odkształceniami poziomymi teoretycznymi obliczonymi punkcie a odkształceniami poziomymi średnimi dla różnej długości przęsła

Fig. 9. Distibution of proportional results beetwen strain calculated for point and average strain for different distances beetwen observation points

4. Wnioski

Z przeprowadzonych rozważań teoretycznych oraz wykonanych obliczeń wynikają następujące wnioski:

1. Wartości odkształceń poziomych średnich, obliczanych z przemieszczeń poziomych, zależą od długości baz (przęseł), na których są wyznaczane.
2. Dla przęseł większych od 0,2 r_u, wartości błędu procentowego pomiędzy odkształceniami poziomymi obliczonymi teoretycznie a odkształceniami poziomymi średnimi zależą od rozmieszczenia ich względem krawędzi eksploatacji.
3. Różnice pomiędzy odkształceniami poziomymi obliczonymi teoretycznie a odkształceniami poziomymi średnimi, dla danej długości przęsła, mają charakter nieliniowy. Im większa jest długość przęsła, tym większa jest maksymalna różnica.
4. Bardzo istotnym kryterium z praktycznego punktu widzenia jest wartość różnicy pomiędzy maksymalnym odkształceniem poziomym teoretycznym a maksymalnym odkształceniem poziomym średnim. Wartość tej różnicy, dla danej długości przęsła, zależy od rozmieszczenia przęseł względem krawędzi eksploatacji.
5. Powyższe rozważania można przeprowadzić dla teorii, która nie wykazuje systematycznych rozbieżności względem wyników pomiarów.

BIBLIOGRAFIA

1. Greń K., Zych J.: Kształtowanie się wskaźników deformacji w świetle wyników obserwacji geodezyjnych z rejonu intensywnej eksploatacji KWK „Manifest Lipcowy". Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Problemy i doświadczenia z eksploatacji górniczej pod miastem Jastrzębie", Jastrzębie Zdrój, październik 1984.
2. Gustkiewicz J., Rogowska J.: Pole przemieszczeń i odkształceń w ośrodku sypkim. Archiwum Górnictwa, t. 25, z. 1, 1980.
3. Klein G.: Długość bazy pomiarowej a wielkość fluktuacji odkształceń w ośrodku sypkim. Praca doktorska, Kraków 1973 (niepublikowana).
4. Knothe S.: Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, t. I, z. 1, 1953.
5. Niedojadło Z.: Model funkcjonalny przemieszczenia punktów nad eksploatacją górniczą. Praca doktorska, AGH, Kraków 1984 (niepublikowana).
6. Opracowanie sposobów badania metodami geodezyjnymi procesu deformacji górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej. Projekt badawczy Nr PB 0849/96/92/02, wykonany pod kierunkiem J. Zycha, Gliwice 1994.
7. Popiołek E., Ostrowski J.: Próba ustalenia głównych przyczyn rozbieżności prognozowanych i obserwowanych wskaźników deformacji. Ochrona Terenów Górniczych, nr 58, Katowice 1981.
8. Popiołek E.: Rozproszenie statystyczne odkształceń poziomych terenu w świetle geodezyjnych obserwacji skutków eksploatacji górniczej. Zeszyty Naukowe AGH, s. Geodezja, z. 44, Kraków 1976.
9. Popiołek E., Ostrowski J.: Zależność między nachyleniami a przemieszczeniami poziomymi terenu w ostatecznie wykształconych nieckach obniżeniowych. Ochrona Terenów Górniczych, nr 46, Katowice 1978.
10. Program komputerowy PRZĘSŁA, opracowany przez zespół w składzie: A. Karchniwy, R. Ścigała, J. Zych.
11. Strzałkowski P.: Program do wyznaczania parametrów teorii statystyczno-całkowych prognozowania wpływów eksploatacji górniczej. Ochrona Terenów Górniczych, nr 86, Katowice 1988.
12. Zych J.: Teorie geometryczno-całkowe w świetle wyników obserwacji geodezyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 157, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1987.
13. Zych J.: Metoda prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu uwzględniająca asymetryczny przebieg procesu deformacji. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 164, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1987.
14. Zych J.: Wpływ odległości punktów w liniach obserwacyjnych na wielkość i rozkład zmierzonych wskaźników deformacji. Konferencja Naukowo-Techniczna „II Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych", Ustroń – Jaszowiec 1993.
15. Zych K.: Wpływ odległości punktów w liniach obserwacyjnych na rozrzut parametrów i dokładność teorii J. Zycha. Praca magisterska, Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Gliwice 1992 (niepublikowana).
16. Zych J., Ścigała R.: Zasady prognozowania przemieszczeń i odkształceń poziomych powierzchni w świetle mierzonych deformacji poeksploatacyjnych. Praca naukowo-badawcza o symbolu 0301125BB, wykonana w ramach Projektu Badawczego Zamawianego pt.: „Ochrona obiektów budowlanych przed szkodami powodowanymi podziemną eksploatacją górniczą", realizowanego przez GIG, Gliwice 1996 .

17. Zych J.: Wpływ odległości punktów w liniach obserwacyjnych na wartości obliczanych z pomiarów odkształceń poziomych. Archiwum Górnictwa, Vol. 43, Issue 2, 1998.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Kwiatek

Abstract

Applied theories of underground extraction influences let us forecast the distribution and values of the deformation indices at points located arbitrarily in rclation to extraction. Real values of the deformation indices which oceur on the land surface at any time can be obtaincd using properly designed deformation measurements. The observation lines, which consist of measuring points stabilised mainly at a distance of 5 m to 30 m from one another. are the measurements main element.

Such a way of determining the deformation indices, which have in general a non-linear distribution, causes the appearance of substantial differences between those deformation indice values which were prognosed and those which were obtained from measurements. The aim of this paper is to determine the differences – with parlicular attention to their distnbution – which result from the impossibility of measuring certain deformation indices (tilt, curvature, horizontal deformation) using geodesic methods at chosen points located above mining cxtraction. After all measurement method permits values of these indices to be determined on the basis of finite length. While inside the base prognosed and usually real values of deformation indices are constantly changing, the method of measurement assigns only one mean value to the base.

An analysis of the influence of distance between points in observation lines on the values which are calculated from measurements of horizontal deformation has been presented in this paper.