

Anna Szafarczyk, Ewelina Wilk

**ROZPROSZENIE LOSOWE ODKSZTAŁCEŃ
POZIOMYCH WYZNACZANYCH
W SIECIACH POMIAROWYCH**

***RANDOM DISPERSION OF HORIZONTAL AREA
DEFORMATIONS APPOINTED
IN NETWORK MEASUREMENTS***

Streszczenie

W artykule przeanalizowano rozkład parametrów rozproszenia losowego odkształceń poziomych terenu wyznaczanych w sieciach pomiarowych. Na terenie poddawanych wpływom eksploatacji górniczej w Bytomiu, Bieruniu, Piekarach Śląskich oraz Chelmie zastabilizowano rozety geodezyjne, a następnie na podstawie wyników prac polowych, wyznaczano odchylenie standardowe i współczynnik zmienności. Określono również czynniki mające największy wpływ na rozproszenie losowe odkształcenia poziomego. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, iż przebieg parametrów rozproszenia losowego zależy od wartości odkształceń poziomych otrzymanych w poszczególnych seriach, sposobu eksploatacji, jak również kształtu sieci pomiarowych. Charakterystyka współczynnika zmienności dla większości przypadków w znacznym stopniu odbiegała od wartości teoretycznych z powodu zawyżenia prognoz odkształceń poziomych w stosunku do wartości obserwowanych.

Słowa kluczowe: odkształcenia poziome terenu, rozproszenie losowe

Summary

The article describes the parameters of probability distribution of ground vertical deformations based on data retrieved from surveying networks. The experiment was located in the mining areas of Bytom, Bieruń, Piekary Śląskie and Chelm, where geodetic rosettes were stabilized. On the basis of carried out surveys a standard deviation and variation was counted and factors influencing the

probability distribution of vertical deformations were analyzed. The final results show, that the parameters of probability distribution in this case depend on: the values of vertical deformations measured in particular sessions, the methods of mining and the structure of surveying network. The characteristics of a variation parameter in most of the cases differ a lot from the theoretical values due to over-estimation of assumed vertical dislocations.

Key words: ground vertical deformations, random dispersion

WSTĘP

W Polsce wydobywa się rocznie około 250 mln ton surowców skalnych z około 1500 złóż występujących na terenie niemal całego kraju. Korzyść, jaką jest pozyskanie surowca niesie za sobą również szereg różnorodnych, ujemnych skutków, jakimi są między innymi deformacje powierzchni terenu i obiektów na niej się znajdujących.

Najbardziej popularnym sposobem określenia wartości deformacji terenu wywołanych prowadzoną podziemną eksploatacją górnictwem są pomiary geodezyjne. Na ich podstawie wyznaczane są tak zwane wskaźniki deformacji terenu, spośród których za najważniejszy dla większości obiektów budowlanych uznaje się odkształcenie poziome. Wartości wskaźników predysponują dany teren do określonej kategorii terenu górnictwem (tab. 1), która z kolei określa stopień przydatności terenu do zabudowy, bądź określa konieczność wdrożenia środków zabezpieczających budynki przed ujemnymi wpływami prowadzonej podziemnej eksploatacji górnictwem.

Tabela 1. Kategorie terenu górnictwem

Tabela 1. Mine terrain categories

Kategoria	Wartości wskaźników deformacji		
	Nachylenie T (mm/m)	Promień krzywizny R (km)	Odkształcenie poziome ϵ (mm/m)
0	$T \leq 0,5$	$40,0 \leq R $	$\epsilon \leq 0,3$
I	$0,5 < T \leq 2,5$	$20,0 \leq R < 40,0$	$0,3 < \epsilon \leq 1,5$
II	$2,5 < T \leq 5,0$	$12,0 \leq R < 20,0$	$1,5 < \epsilon \leq 3,0$
III	$5,0 < T \leq 10,0$	$6,0 \leq R < 12,0$	$3,0 < \epsilon \leq 6,0$
IV	$10,0 < T \leq 15,0$	$4,0 \leq R < 6,0$	$6,0 < \epsilon \leq 9,0$
V	$15,0 < T$	$ R < 4,0$	$9,0 < \epsilon$

Zródło: Kwiatek J, 2000.

METODY WYZNACZANIA ODKSZTAŁCENÍ POZIOMYCH

Dla wyznaczenia wartości względnego odkształcenia poziomego ϵ wykonywane są seryjne obserwacje długości odcinków linii pomiarowych, z których wyznaczane są następnie względne zmiany długości utożsamiane z odkształceni-

niem poziomym. Za wielkość odkształcenia liniowego w sensie Cauchy'ego uważana jest względna różnica długości odcinka przed i po zdeformowaniu badanego obiektu wyznaczana zgodnie z zależnością (Gustkiewicz J., 1980):

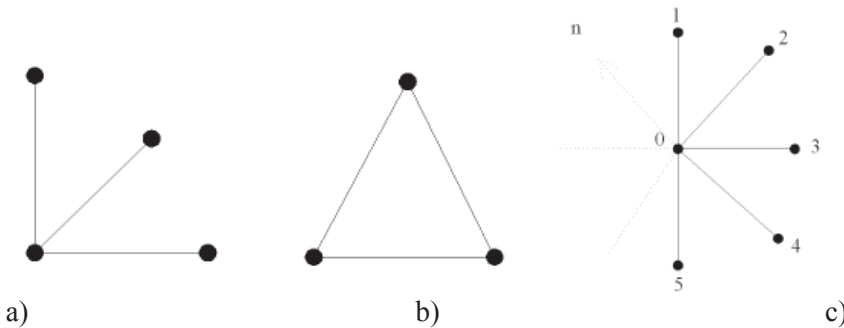
$$e^c = \varepsilon = \lambda - 1 = \frac{l - l_0}{l_0}, \quad (1)$$

gdzie:

- e^c – wielkość odkształcenia liniowego w sensie Cauchy'ego,
- l_0 – długość odcinka przed zdeformowaniem,
- l – długość odcinka po zdeformowaniu,
- λ – wielkość definiowana jako

$$\lambda = \frac{l}{l_0}, \quad (2)$$

Usytuowanie punktów linii powinno być ściśle związane z kształtem eksploatowanego pola oraz kierunkiem postępu frontu. Ze względu na bezpieczeństwo obiektów znajdujących się na powierzchni terenu w sąsiedztwie linii pomiarowych zaczęto stabilizować dodatkowe punkty, tworzące sieć, którą przyjęło się nazywać gniazdami lub rozetami (rys. 2).



Źródło: Pielok 2005.

Rysunek 2. Przykłady rozet pomiarowych a) – rozeta prostokątna, b) – rozeta „delta”, c) – rozeta centralna

Figure 2. Examples of rosettes a) rectangular rosette, b) delta rosette, c) central rosette

Poprzez wyznaczenie wartości odkształcenia na minimum trzech bokach rozety możliwe jest, przy wykorzystaniu rachunku tensorowego wyznaczenie składowych tensora odkształcenia:

$$T_{\varepsilon} = \begin{vmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} \end{vmatrix}, \quad (3)$$

gdzie:

$$\varepsilon_{xx} F_{xx} = \frac{dx'}{dx}, \quad (4)$$

$$\varepsilon_{yy} F_{yy} = \frac{dy'}{dy}, \quad (5)$$

$$\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = F_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{dy'}{dx} + \frac{dx'}{dy} \right). \quad (6)$$

Składowe tensora na przekątnej głównej odzwierciedlają wartości wydłużeń względnych na odcinkach równoległych do odpowiednich osi układu współrzędnych, natomiast składowe poza przekątną to połowy kątów, o jakie zmieniają się kąty proste między odcinkami równoległymi, do odpowiednich osi układów współrzędnych (Bodnar A., 2004).

Dla danego stanu odkształceń istnieje możliwość wyznaczenia wartości odkształceń głównych (maksymalnego ε_{max} i minimalnego ε_{min}) według zależności:

$$\varepsilon_{max} = \frac{\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})^2 + 4\varepsilon_{12}^2}, \quad (7)$$

$$\varepsilon_{min} = \frac{\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})^2 + 4\varepsilon_{12}^2}. \quad (8)$$

Kąt β pomiędzy kierunkiem osi X układu odniesienia, a kierunkiem odkształcenia ε_{max} obliczany jest ze wzoru:

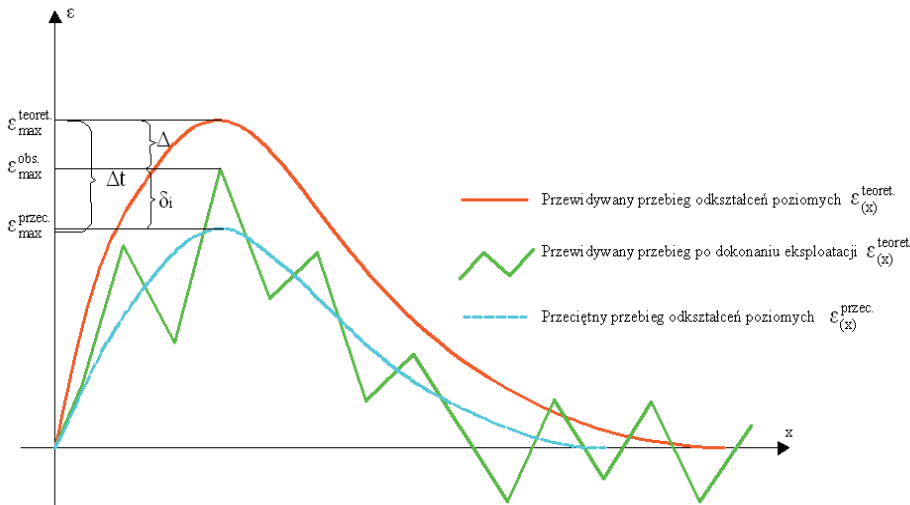
$$\beta = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2\varepsilon_{xy}}{\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy}}, \quad (9)$$

a wielkość odkształcenia postaciowego opisuje zależność:

$$\gamma_{ekstr} = \varepsilon_{max} - \varepsilon_{min} = \pm \left[(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + 4\varepsilon_{xy}^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

PARAMETRY ROZPROSZENIA LOSOWEGO ODKSZTAŁCEŃ POZIOMYCH

Wartość, odkształcenia poziomego jest prognozowana dla każdej eksploatacji, jeszcze przed jej rozpoczęciem, a w trakcie lub po zakończeniu eksploatacji wyznaczana jest przy wykorzystaniu metod geodezyjnych. Na skutek losowego wpływu wielu czynników na deformację terenu wartości prognozowane i obserwowane nie są sobie równe (rys. 3).



Źródło Popiołek 2009.

Rysunek 3. Rozbieżność między prognozowaną, a obserwowaną wielkością odkształceń poziomych terenu

Figure 3. Differences between prognosed and observed horizontal strain value.

Sprzeczności te mogą być spowodowane przez:

- niezrealizowanie przewidzianych projektem parametrów eksploatacji, jak grubość warstwy, sposób wypełnienia pustki, kształt i wielkość pola eksploatacji,
- rozproszenie statystyczne przypisane zjawiskom przyrodniczym,
- błąd teorii, który wynika z nieadekwatności modelu przyjmowanego do obliczeń, a rzeczywistością.

Za miarę rozproszenia statystycznego powszechnie przyjmowana jest wariancja lub pierwiastek z niej nazywany odchyleniem standardowym. Odchylenie standardowe odkształceń poziomych σ_ε jest równe średniemu pierwiastkowi kwadratowemu z różnic pomiędzy wartościami zaobserwowanymi, a wielkościami najprawdopodobniejszymi przebiegu funkcji odkształceń poziomych. Natomiast współczynnik zmienności M_ε jest stosunkiem odchylenia standardowego σ_ε do maksymalnej wartości odkształcenia ε_{\max} .

W celu przeprowadzenia kontroli odkształceń poziomych w należyty sposób trzeba zestawzić i porównać następujące parametry:

– prognozowane ekstremalne odkształcenia poziome $\epsilon_{\max^{(+)}}^{\text{progn}}$ i $\epsilon_{\max^{(-)}}^{\text{progn}}$ dla baz pomiarowych,

– określone z obserwacji przeciętne maksymalne odkształcenia $\epsilon_{\max^{(+)}}^{\text{przec}}$ i $\epsilon_{\max^{(-)}}^{\text{przec}}$,

– granica odkształceń poziomych do oszacowanej wartości (przykładowo granica kategorii zerowej zagrożenia).

Przebieg deformacji poziomych powiązany jest z dużym rozproszeniem losowym osiągającym przeważnie wartość $\pm 20\%$. Z tego względu należy zatem wyznaczyć wartości $\epsilon_{\max^{(+)}}^{\text{przec}}$ i $\epsilon_{\max^{(-)}}^{\text{przec}}$, a miejsca ich wystąpienia oraz parametry rozproszenia losowego σ_ϵ i M_ϵ na podstawie przeprowadzonej aproksymacji przebiegu $\epsilon_{(x)}^{\text{przec}}$. Wielkości statystyczne wyznaczane są z zależności (Popiołek 2009):

$$\sigma_\epsilon = \pm \sqrt{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^n \left(\left(\epsilon_{[(x)]_i}^{\text{obs}} \right) - \left(\epsilon_{[(x)]_i}^{\text{przec}} \right) \right)^2}, \quad (11)$$

$$M_\epsilon = \frac{\sigma_\epsilon}{\epsilon_{\max}^{\text{przec}}}. \quad (12)$$

CZYNNIKI WARUNKUJĄCE WIELKOŚĆ ROZPROSZENIA LOSOWEGO

Po uwzględnieniu przyczyny powstania danego stanu deformacji zarówno w górotworze, jak i na powierzchni w określonym momencie, czynników geologicznych, elementów wpływających na dokładność rejestrowanych wskaźników deformacji oraz skali zjawiska, możliwe staje się precyzyjne zdefiniowanie czynników warunkujących miarę rozproszenia losowego wskaźników deformacji.

Na omawiany proces statystyczny mogą wpływać następujące parametry:

– **Głębokość eksploatacji H** – określa miąższość skał podlegających deformacji, które zalegają nad stropem eksploatowanego złoża. Od wartości głębokości eksploatacji zależy stosunek objętości wybranego złoża do objętości utworów geologicznych znajdujących się w wydobywanym pokładzie, który maleje wraz ze wzrostem wartości H . Zachodzące zjawiska wiążą się ze zwiększeniem drogi, jaką musi przejść deformacja przez górotwór, aby dotrzeć do powierzchni, a tym samym powodują wydłużenie się przebiegu procesu wpły-

wającego na dynamikę. Równocześnie masowość ruchów w górotworze zmniejsza się. Mniejsza masowość procesu znajduje swoje odzwierciedlenie w większym rozproszeniu losowym.

– **Grubość pokładu g** – precyzuje poniekąd skalę zjawiska, co pozwala wstępnie oszacować spodziewane maksymalne obniżenie, a tym samym wartości pozostałych wskaźników (w tym odkształcenia poziomego). Nie udowodniono, jak na razie, wpływu tego czynnika na wielkość rozproszenia, jednak nie należy go wykluczać.

– **Sposób wypełniania pustki poeksploatacyjnej a** – określa jaka część miąższości wydobywanego złoża ukaże się na powierzchni terenu pod postacią maksymalnego obniżenia w momencie, gdy pole eksploatacji stanie się niecką pełną. Parametr ten przyjmuje wartości od 0 do 1, jednak należy go wyznaczać dla każdego przypadku.

– **Rozwój pola eksploatacyjnego P** – opisuje etap rozwoju eksploatacji wpływający na charakter deformacji powierzchni. Fazy rozwojowe niecki zależą od obszaru wydobywania. Istnieje przypuszczenie, iż początkowy etap rozwoju pola eksploatacji może być powiązany z większym rozproszeniem losowym wskaźników deformacji.

– **Rodzaj górotworu** – charakteryzowany najczęściej przez **zwięzłość Z_g** ($tg\beta$ według teorii S. Knothego lub r_o w teorii T. Kochmańskiego). Traktowany jest przeważnie jako ośrodek o zachowaniu losowym. Budowa geologiczna górotworu posiada duże znaczenie dla przebiegu procesu deformacji. Po rozpoczęciu robót górniczych nie jest możliwe, aby charakter ruchów brył ośrodka został przewidziany. Zwięzłość pomocna w określeniu wielkości deformacji wyznacza się nie na podstawie budowy litologicznej, lecz z niecki asymptotycznej. Wartości tego parametru zależą od stwierdzonej poprzez wykonanie odwiertu budowy geologicznej i wahają się w przedziale od 0 do 1, gdzie 0 oznacza górotwór idealnie sypki, zaś 1 – górotwór zbudowany z monolitycznego, niespękanego bloku skalnego. W praktyce najczęściej otrzymywane są wartości pośrednie z racji tego, że deformowany ośrodek jest niejednorodny. Najważniejszym aspektem podczas przeprowadzonych analiz geologicznych jest określenie przewagi mniej lub bardziej zwięzłych utworów.

– **Grubość nadkładu luźnego N** – nadkład luźny składa się z utworów czwartorzędowych i trzeciorzędowych. Podstawowy składnik to cienka warstwa glebowa oraz warstwy skał osadowych (piaski, żwiry, ropy). Z perspektywy regularności obserwowanych deformacji znacząca jest miąższość tej części nadkładu N . Im większa miąższość nadkładu luźnego tym regularniejsze stają się przebiegi wskaźników deformacji. Najprawdopodobniej czynnik ten posiada stosunkowo duże znaczenie w badaniu rozproszenia losowego odkształcenia poziomego, jak również pozostałych wskaźników.

– **Długość bazy pomiarowej l_o** – źle dobrana powoduje tak zwane nadmierne uśrednianie wartości odkształceń, co może przyczyniać się do powstawanie błędów w analizie rozproszenia losowego odkształceń poziomych. Należy zatem zwracać uwagę na geometryczną charakterystykę sieci pomiarowych.

– **Prędkość postępu frontu eksploatacyjnego v_e** – zbyt duża jest przyczyną poważnych uszkodzeń w obiektach pomimo stosunkowo niewielkich wskaźników deformacji. Wyznacza się prędkość „chwilową” - v_e (pomierzoną w dniu wykonywania obserwacji) oraz prędkość średnią – v_{se} (uzyskiwaną na podstawie całkowitego wybiegu ściany bądź pola eksploatacyjnego, znajomości dat rozruchu i zamknięcia eksploatacji).

– **Obniżenie maksymalne w_{max}** – wyraża skalę procesu. Rejestruje się go w trakcie okresowych pomiarów geodezyjnych. Obniżenie maksymalne opisuje skalę deformacji wywołaną danym wydobywaniem. Można przypuszczać, że im większa wartość tego czynnika, tym większe rozproszenie losowe wskaźników deformacji powierzchni terenu.

ANALIZA PARAMETRÓW ROZPROSZENIA LOSOWEGO ODKSZTAŁCEŃ POZIOMYCH UZYSKANYCH W WYBRANYCH REJONACH BADAWCZYCH

Wszystkie wytypowane rejony badawcze znajdowały się w momencie prowadzenia badań pod wpływem eksploatacji górniczej, prowadzonej systemem ścianowym, z zawałem stropu, nad prostokątnym polem eksploatacyjnym o długości frontu od 180m do 280 m. Analizą objęto wyniki z rozet trójkątnych, prostokątnych oraz centralnych zastabilizowanych w czterech miejscowościach Górnego Śląska: Bytomiu, Piekarach Śląskich, Bieruniu i Chełmie [Szafarczyk 2008], których charakterystykę geologiczno-górnicyz przedstawiono w tabeli 2.

Wyniki z przeprowadzonych doświadczeń polowych [Szafarczyk 2008] posłużyły do wyznaczenia odkształceń poziomych dla wszystkich boków każdej z rozet pomiarowych, a następnie do obliczenia ich odchylenia standardowego oraz współczynnika zmienności [Wilk 2010] według zależności podanych w rozdziale 3. Dodatkowo odchylenie standardowe i współczynnik zmienności wyznaczono dla ekstremalnych odkształceń poziomych wyznaczonych z tensora odkształceń dla poszczególnych rozet.

Obliczenia i analizy wykonywano osobno dla każdego rejonu obserwacyjnego. Łącznie przeanalizowano 34 przebiegi odkształceń poziomych w czasie dla każdego z boków we wszystkich założonych rozetach [Wilk 2010], oraz 11 przebiegów wartości odkształceń ekstremalnych wyznaczonych ze składowych tensora.

Tabela 2. Charakterystyka geologiczno-górnicza rejonów badawczych
Table 2. Mine and geological characteristics of measured regions

REJON BADAWCZY	BYTOM ul. Odrzańska	PIEKARY ŚLĄSKIE ul. Hutnicza	BIERUŃ ul. Bojszowska	CHEŁM ul. Jasna
Kopalnia	Centrum	Piekary	Piast	Piast
Pokład	501/1	510/III	207	206.1
Ściany	108	133,134	246, 247	520
H [m]	615	550	350	500
g [m]	2,7	2	3	3
a	0,8	0,8	0,7	0,75
tgβ	2,1	2	1,7	1,8
c [l/rok]	5	7	2	3
Krotność eksploatacji	ok. 25	9	1	1
System eksploatacji i sposób likwidacji zrobów	Ścianowy, zawał	Ścianowy, podsadzka hydrauliczna/zawał	Ścianowy, zawał	Ścianowy, zawał
Średnia prędkość postępu frontu	2,1 m/dobę	1,4m/dobę	1,8m/dobę	2,2 m/dobę
Przedział czasowy wykonanych obserwacji	02.05.2003 - 14.01.2005	03.10.2003 - 14.01.2005	20.06.2003- 21.07.2005	24.11.2003 - 24.09.2004
Ilość serii pomiarowych	22	14	16	21

Zródło: Szafarczyk 2008.

WNIOSKI

Wartości odkształceń poziomych oraz otrzymane na ich podstawie parametry rozproszenia losowego po dokonaniu analizy porównawczej w odniesieniu do teoretycznego przebiegu współczynnika zmienności przedstawionego w ramach pracy (Stoch T., 2005) pozwoliły na sformułowanie poniższych wniosków.

Nieregularny przebieg parametrów rozproszenia losowego w czasie, zaobserwowany dla wszystkich boków rozet, świadczy o losowości procesu deformacji badanego terenu.

Przebieg współczynnika zmienności dla wyznaczonych odkształceń poziomych w funkcji czasu odbiega od charakterystyki teoretycznej tego wskaźnika. Powodem takiego zjawiska jest zawyżenie prognozowanych odkształceń poziomych w stosunku do wartości obserwowanych, co potwierdza literatura (Popiołek E., 2009), zgodnie z którą wartość systematycznej odchyłki modelu (Δ) dla eksploatacji z zawałem wynosi w teorii Knothego $\Delta = +28\%$.

Przebieg współczynnika zmienności jest ściśle związany z wartościami odkształceń poziomych. Dla odkształceń nieznacznie zmieniających swoje wartości w następujących po sobie seriach pomiarowych charakterystyka współ-

czynnika zmienności odznaczała się bardzo regularnym przebiegiem. Największe wartości współczynnika zmienności wyznaczono dla rozet umiejscowionych w Bieruniu (od 0 do 1.19), zaś najmniejsze dla konstrukcji założonych w Piekarach Śląskich (od 0.01 do 1.11). Największy współczynnik zmienności ($M\varepsilon=1.33$) odnotowano w XVI serii dla rozety trójkątnej zastabilizowanej w Bytomiu.

We wszystkich analizowanych rozkładach wartości odkształceń poziomych w czasie ujawnienie się wpływów eksploatacji na powierzchnię terenu skutkowało w większości przypadków najwyraźniejszym w całym przebiegu skokiem wartości $M\varepsilon$. Następowołało to w drugiej lub trzeciej serii pomiarowej, której czas wykonania odpowiadał momentowi ujawniania się pierwszych wpływów na powierzchni terenu.

W 80% wykonanych charakterystyk współczynnika zmienności w trzech ostatnich seriach pomiarowych możliwa staje się do zaobserwowania faza stabilizacji przebiegu, której końcowym efektem jest zanikanie ruchów punktów powierzchni.

Przebiegi odchylenia standardowego w funkcji czasu mają charakter jakościowy zbieżny z przebiegami współczynnika zmienności. Największe wartości odchylenia standardowego wyznaczone zostały dla konstrukcji geodezyjnych w Bieruniu, natomiast najmniejszymi odchyleniami charakteryzowały się wartości odkształceń uzyskane w Piekarach Śląskich, gdzie wartości σ oscyływały wokół wielkości ± 0.6 [mm/m]. Maksymalne odchylenie standardowe ($\sigma=\pm 2.28$ [mm/m]) uzyskano dla II serii pomiarowej rozety wieloelementowej w Bytomiu.

Intensywność zmiany wartości współczynnika zmienności w poszczególnych seriach pomiarowych wiąże się z krotnością eksploatacji. Przebiegi $M\varepsilon$ są zgodne dla poszczególnych boków w przypadku Bierunia i Chełmu, czyli miejsc pierwszego wydobywania. Największa ilość eksploatacji zanotowana została dla Bytomia (około 25), gdzie prócz chaotycznego przebiegu współczynnika zmienności w czasie wystąpiło również największe, co do wartości odchylenie standardowe. W podobny sposób można opisać przebieg współczynnika zmienności dla Piekarów Śląskich, gdzie eksploatacji dokonywano po raz dziewiąty.

Wiarygodność wyników zależy w dużej mierze od budowy założonych rozet pomiarowych. Wraz ze wzrostem ilości boków w rozecie wzrastała wiarygodność wyników analiz, czego dowodzi porównanie otrzymanych przebiegów współczynnika zmienności wyznaczonego dla odkształceń wyliczonych dla pojedynczych boków z wartościami otrzymanymi dla ekstremalnych odkształceń poziomych wyznaczonych z tensora odkształceń.

BIBLIOGRAFIA

- Bodnar A. *Wytrzymałość materiałów*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004, 355ss.
- Gustkiewicz J. *Ochrona powierzchni przed szkodami górnictwami*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1980, s. 149-159.
- Kwiatek J. *Ocena możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych*. Bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie Nr 02/2000, Katowice, s. 5-13.
- Pielok J. *Wyznaczanie powierzchniowego tensora odkształceń na terenach górniczych w oparciu o pomiary geodezyjne*. Wydawnictwo AGH, Kraków 2005, 50ss.
- Popiołek E. *Ochrona terenów górniczych*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2009, 296 ss.
- Stoch T. *Wpływ warunków geologiczno – górniczych eksploatacji złoża na losowość procesu przemieszczeń i deformacji powierzchni terenu*. Rozprawa doktorska, AGH, Kraków 2005, 120 ss.
- Szafarczyk A. *Wyznaczanie odkształceń powierzchni terenu górniczego przy zastosowaniu rozet geodezyjnych*. Rozprawa doktorska, AGH, Kraków 2008, 150 ss.
- Wilk E. *Analiza parametrów rozproszenia losowego poziomych odkształceń terenu wyznaczanych w sieciach pomiarowych*. Praca dyplomowa, AGH, Kraków 2010, 85 ss.

Dr inż. Anna Szafarczyk, adiunkt
szafarcz@agh.edu.pl
tel 012 617 44 86

Mgr inż. Ewelina Wilk
ewwilk@gmail.com
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa
Al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Recenzent: *dr hab. inż. Waldemar Krupiński, prof. UR*