

Badania rozkładów odkształceń poziomych w rozetach pomiarowych

Observed vs. modelled distributions of horizontal deformations in measurement rosettes



*Dr inż. Tomasz Stoch**



*Dr hab. inż. Janusz Ostrowski**



*Dr hab. inż. Zygmunt Niedojadło**



*Dr inż. Paweł Sopata**



*Mgr inż. Marcin Skobel**

Treść: Artykuł obejmuje zagadnienia związane z badaniem rozkładów odkształceń poziomych w rozetach pomiarowych. Przedstawiono wyniki obserwacji względnych wydłużeń odcinków pomiarowych dla dwóch rozet znajdujących się w strefach odkształceń ściskających oraz rozciągających w zasięgu wpływu eksploatacji górniczej. Obydwie rozety zostały wyodrębnione z punktów regularnej sieci obserwacyjnej założonej nad projektowanym polem górniczym w rejonie Jaworzna. Ze względu na konfigurację sieci pomiarowej omawiane rozety są rozetami gwiazdzistymi o ośmiu kierunkach wyznaczania wartości odkształcenia liniowego. Wartości odkształceń zostały wyznaczone z bezpośrednich pomiarów odległościowych. Testowano przy tym różne długości baz celem stwierdzenia ich wpływu na uzyskiwane rozkłady odkształceń. Analizowane rozkłady odkształceń poziomych w rozpatrywanych rozetach zostały odniesione do reguł występujących w modelu teoretycznym. Głównym celem pracy było przedstawienie rzeczywistych rozkładów kierunkowych odkształceń poziomych dla stref maksymalnych ich wartości. Wskazano przy tym trudności w precyzyjnym opisie aktualnego stanu deformacji powierzchni terenu oraz obiektów powierzchniowych oraz wyciągnięto wnioski dotyczące badania deformacji na terenach górniczych.

Abstract: This paper presents the issues connected with the analysis of distributions of horizontal deformations in measurement rosettes. It presents the results of observations of relative extensions of measurement sections for two rosettes located in the areas of compressing and extending deformations within the reach of the mining exploitation impact. Both rosettes were separated from the points of the regular observation grid covering the projected mining field in the neighbourhood of Jaworzna. Due

* AGH w Krakowie

to the measurement grid configuration the investigated rosettes are star rosettes of 8 directions of linear deformation values determination. The deformation values were determined by use of direct distance measurements. Various base distances were tested in order to determine their effect on the obtained deformation distributions. The analysed horizontal distribution in the investigated rosettes was related to the theoretical model principles. The major purpose of the paper was to present the real distributions of horizontal deformations for the areas with their maximum values. This caused in problems with the precise description of the current state of surface deformations and surface objects, which in turn allowed the researchers to draw conclusions from the study of the mining area deformations.

Słowa kluczowe:

wpływy eksploatacji górniczej, proces deformacji powierzchni terenu, odkształcenia poziome powierzchni terenu, rozety pomiarowe

Key words:

impact of mining exploitation, land surface deformation process, land surface horizontal deformations, measurement rosettes

1. Wprowadzenie

Najczęstszą praktyką badania pogórnich deformacji powierzchni są pomiary prowadzone na liniach obserwacyjnych. Pomimo że wyniki takich rejestracji ograniczają informację o zjawisku do określonego przekroju niecki obniżeniowej, uzyskiwane obrazy deformowania się powierzchni wykazują cechę pewnego uporządkowania, co pozwala na stosunkowo łatwe ich porównywanie z wynikami modelowania, a także wyznaczanie wartości parametrów modelu procesu. Należy jednak stwierdzić, że przebiegi linii obserwacyjnych są często uzależnione od istniejących przeszkód terenowych, wskutek czego rejestrowane deformacje odnoszą się do kierunków przypadkowych, nieobejmujących stref wartości istotnych (np. ekstremalnych) danego wskaźnika deformacji. W takiej sytuacji konfrontowanie wyników pomiarów z wynikami prognozy może być niewiarygodne, szczególnie że pomiar odnosi się do odcinka o określonej długości, a prognoza – do punktu.

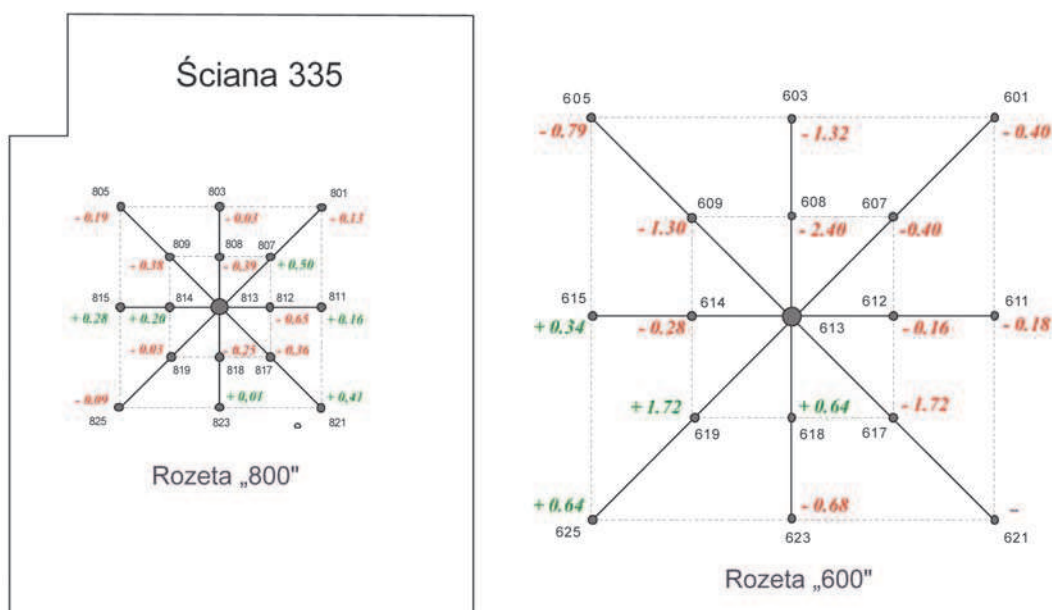
Zaletą pomiarów wykonywanych na sieciach punktów rozproszonych, w tym także w formie rozet, jest pokrycie określonej powierzchni terenu, w granicach której można wyznaczać wskaźniki deformacji w różnych kierunkach. Jednak, o ile linie obserwacyjne dostarczają szczególnych

i „ubogich” informacji o zjawisku, o tyle w przypadku rozet mamy do czynienia z ich nadmiarem. Stwarza to określone komplikacje interpretacyjne i wręcz utrudnia konfrontację wyników pomiaru z rezultatami modelowania czy prognozy danego wskaźnika deformacji.

W artykule omówiono niektóre z tych zagadnień, na przykładzie wyników pomiarów wykonanych klasycznymi metodami geodezyjnymi w miejscowości Cezarówka Górna. Obserwowano zespoły rozet pomiarowych zlokalizowanych nad ścianą węglową nr 335 w pokładzie 209, zalegającą na głębokości $H = 600$ m. Eksploatacja prowadzona była z zawałem stropu na wysokość $g = 4,0$ m [2]. Interpretację wyników obserwacji poziomych odkształceń wykonano w odniesieniu do dwóch rozet gwiaździstych:

- rozety „600” o długościach boków 50 m i 25 m oraz ~ 70 m i ~ 35 m (na przekątnych) zlokalizowanej nad calizną, w odległości ~ 100 m od krawędzi ściany 335 oraz
- rozety „800” o długościach boków 25 m i 12,5 m oraz ~ 35 m i $\sim 17,5$ m (na przekątnych) położonej nad rejonem środka ściany 335.

Lokalizację rozet „600” i „800” z podaniem wartości odkształceń poziomych wyznaczonych na poszczególnych bokach rozet przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Szkic rozmieszczenia rozet „600” i „800” w stosunku do ściany 335 wraz z wartościami zarejestrowanych poziomych odkształceń

Fig. 1. Outline of “600” and “800” rosettes layouts in relation to wall no. 335 along with the values of the registered horizontal deformations

2. Prezentacja wyników pomiarów odkształceń poziomych w rozetach promienistych

W przypadku linii obserwacyjnych, prezentowanie wyników pomiarów odbywa się zazwyczaj w formie tabel, wykresów czy też izolinii rozkładów wskaźników, według powszechnie uznanych konwencji. Umożliwia to jednoznaczny i zrozumiały dla odbiorców interpretację zarejestrowanego zjawiska, nawet jeżeli niektóre wynikające stąd informacje trzeba traktować jedynie jako umowne.

Charakterystyka parametrów zjawiska mierzonych w rozetach jest pełniejsza, ale jej czytelne zobrazowanie natrafia na trudności, które w pewnym zakresie zostaną omówione.

Właściwością wybranych rozet „600” i „800” jest to, że na każdym ich promieniu wyznaczono dwa repery odległe od repery centralnego o odcinek L i 2L. W rezultacie każda rozeta składa się z dwóch elementów: rozety większej („zewewnętrznej”) obejmującej repery bardziej odległe od repery centralnego oraz zawartej w niej rozety mniejszej („wewnętrznej”). Taka konstrukcja umożliwiła badanie rozkładu poziomych odkształceń nie tylko w różnych kierunkach wokół repery centralnego, ale także zależności wartości odkształcenia od długości odcinka pomiarowego na tym samym kierunku.

Rezultaty wykonanych obserwacji przedstawiono w formie tabelarycznej i graficznej.

W tabelach 1 i 2 zestawione zostały wartości poziomych odkształceń obliczone na podstawie wyników pomiarów rozet „600” i „800”. Przyjmując za podstawę centralny punkt każdej rozety, wyznaczono wartości poziomych odkształceń w ośmiu kierunkach. Konstrukcja rozet (które można nazwać umownie „kwadratowymi”) różnicuje długości odcinków pomiarowych w zależności od ich położenia na boku kwadratu lub na jego przekątnej.

Wartości poziomych odkształceń podane w tabelach 1 i 2 zostały zobrazowane na rysunku 1. Liczba opisująca wartość odkształcenia widoczna przy danym punkcie pomiarowym odnosi się do odcinka pomiędzy tym punktem a punktem centralnym rozety.

Zbiór informacji zawarty w tabelach 1 i 2, a także na rysunku 1 nie przedstawia czytelnego obrazu zaistniałej deformacji. Jednak nawet pobieżne spojrzenie na podane wartości odkształceń poziomych, pozwala na stwierdzenie braku regularności ich rozkładów w obu rozetach.

Pomiary wykazały wyraźną różnicę pomiędzy zakresem wartości poziomych odkształceń w obu rozetach. W zasięgu rozety „600”, obejmującej obszar o powierzchni 10 000 m² zlokalizowany nad calizną, wartości poziomych odkształceń zawierały się w granicach od $\epsilon_{\text{extr}}(-) = -2,40$ mm/m do $\epsilon_{\text{extr}}(+)= +1,72$ mm/m. Natomiast w zasięgu rozety „800” o powierzchni 2500 m² położonej nad ścianą 535, wartości poziomych odkształceń zawarte były w granicach od $\epsilon_{\text{extr}}(-) = -0,65$ mm/m do $\epsilon_{\text{extr}}(+)= +0,50$ mm/m. Biorąc pod uwagę dokładność wyznaczenia wartości odkształceń, można uznać, że w rozecie „800” wartości odkształceń w istotnym stopniu wynikają z błędów pomiarowych.

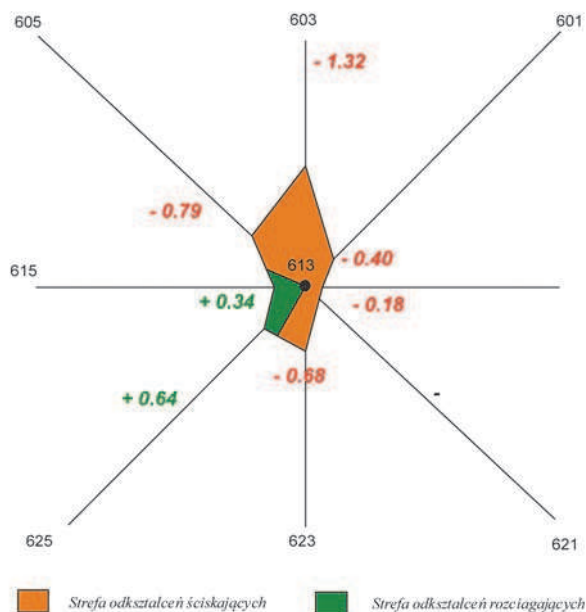
Ponieważ rozeta pomiarowa obejmuje określoną powierzchnię terenu, powstaje pytanie, jak zilustrować zaobserwowany rozkład poziomych odkształceń na tej powierzchni, mając do dyspozycji wartości wskaźnika w odniesieniu do każdego promienia rozety? Na rysunkach przedstawiono schematycznie rozkłady poziomych odkształceń wokół punktu centralnego 613 rozety „600”, w zasięgu rozety większej („zewewnętrznej”) o długości promienia 50 m (rys. 2) i rozety mniejszej („wewnętrznej”) o długości promienia 25 m (rys. 3). Rozkładów takich nie prezentowano w odniesieniu do rozety „800”, ponieważ nie są one wystarczająco wiarygodne jako obrazy deformacji, ze względu na znaczny wpływ błędów pomiarowych na wartości odkształceń poziomych.

Tabela 1. Wartości odkształceń poziomych pomierzonych w rozecie „600”
Table 1. Values of horizontal deformations measured in rosette “600”

Długość boku	Numer boku	Odształcenie poziome ϵ	Długość boku	Numer boku	Odształcenie poziome ϵ
50	613 - 603	- 1,32	70	613 - 601	- 0,40
25	613 - 608	- 2,40	35	613 - 607	- 0,40
50	613 - 611	- 0,18	70	613 - 621	-
25	613 - 612	- 0,16	35	613 - 617	- 1,72
50	613 - 623	- 0,68	70	613 - 625	+ 0,64
25	613 - 618	+ 0,64	35	613 - 619	+ 1,72
50	613 - 615	+ 0,34	70	613 - 605	- 0,79
25	613 - 614	- 0,28	35	613 - 609	- 1,30

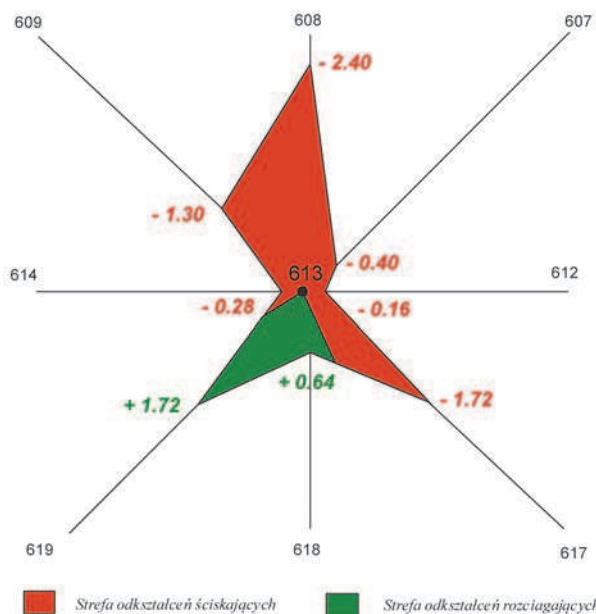
Tabela 2. Wartości odkształceń poziomych pomierzonych w rozecie „800”
Table 2. Values of horizontal deformations measured in rosette “800”

Długość boku L	Numer boku	Odształcenie poziome ϵ	Długość boku L	Numer boku	Odształcenie poziome ϵ
25	813 - 803	- 0,03	35	813 - 801	- 0,13
12,5	813 - 808	- 0,39	17,5	813 - 807	+ 0,50
25	813 - 811	+ 0,16	35	813 - 821	+ 0,41
12,5	813 - 812	- 0,65	17,5	813 - 817	- 0,36
25	813 - 823	+ 0,01	35	813 - 825	- 0,09
12,5	813 - 818	- 0,25	17,5	813 - 819	- 0,03
25	813 - 815	+ 0,28	35	813 - 805	- 0,19
12,5	813 - 814	+ 0,20	17,5	813 - 809	- 0,38



Rys. 2. Schemat powierzchniowego rozkładu odkształceń poziomych w granicach rozety „600” większej (zewnętrznej)

Fig. 2. Scheme of surface horizontal deformation distribution within the borders of rosette “600” bigger (external)



Rys. 3. Schemat powierzchniowego rozkładu odkształceń poziomych w granicach rozety „600” mniejszej (wewnętrznej)

Fig. 3. Scheme of surface horizontal deformation distribution within the borders of rosette “600” smaller (internal)

Stosunkowo niewielka liczba promieni rozety (8) powoduje, że obraz powierzchniowego rozkładu odkształceń należy uznać za schematyczny i nie można traktować obwiedni pola tego rozkładu jako linii odpowiadającej granicom rozkładu „rzeczywistego”. Po pierwsze, obwiednia pola rozkładu pomiędzy wartościami odkształceń, zaznaczonymi na sąsiednich promieniach jest odcinkiem, ponieważ nie ma żadnego uzasadnienia dla stosowania tam funkcji krzywoliniowej.

Po drugie, wartość odkształcenia poziomego $\epsilon = 0$, jako granica odkształceń rozciągających i ściskających, powinna być umieszczona dokładnie w centralnym punkcie rozety, co znacznie zniekształciłoby obraz rozkładu, doprowadzając do absurdu w przypadku występowania „rozciągań” i „ściskań” naprzemiennie na kolejnych promieniach. Dlatego, dla wyznaczenia granicy odkształceń ujemnych i dodatnich zastosowano metodę interpolacji liniowej na odcinku łączącym wartości odkształceń o przeciwnych znakach. Rozwiązanie to należy traktować jako „czysto” umowne, które można pomijać w przypadku dużej liczby promieni w rozecie.

3. Dyskusja wyników pomiarów rozet

Pozyskany zbiór informacji charakteryzujących poziome odkształcenia powierzchni w zasięgu pomierzonych rozet gwiaździstych pozwala na rozważenie wielu różnych zagadnień, z których kilka omówiono poniżej.

Jak już wspomniano, konstrukcja rozet pozwala na podjęcie próby zbadania, czy i w jakim zakresie istnieje zależność pomiędzy wartością poziomego odkształcenia a długością odcinka pomiarowego. Odpowiednie zestawienie zawiera tabela 3.

Tabela 3. Porównanie wartości poziomych odkształceń pomierzonych na promieniach o długości L i 2L

Table 3. Comparison of values of horizontal deformations measured on the radii L and 2L in length

	Rozeta punkt centralny 813				Rozeta punkt centralny 613			
	Długość	ϵ	Długość	ϵ	Długość	ϵ	Długość	ϵ
2L	25	-0,03	35	-0,13	50	-1,32	70	-0,40
L	12,5	-0,39	17,5	+0,50	25	-2,40	35	-0,40
2L	25	+0,16	35	+0,41	50	-0,18	70	+0,64
L	12,5	-0,65	17,5	-0,36	25	-0,16	35	+1,72
2L	25	+0,01	35	-0,09	50	-0,68	70	-0,69
L	12,5	-0,25	17,5	-0,03	25	+0,64	35	-1,30
2L	25	+0,28	35	-0,19	50	+0,34	70	-
L	12,5	+0,20	17,5	-0,38	25	-0,28	35	-

W rozecie „600”, trzy pary (na siedem) odcinków o długościach dwukrotnie większych, wykazują zróżnicowanie wartości odkształceń poziomych jednakowoznakowych w stosunku 2 : 1. W rozecie „800” pojawia się jedna taka para. W każdym z tych przypadków wartość odkształcenia poziomego na odcinku dwukrotnie dłuższym jest około dwukrotnie mniejsza niż na odcinku krótszym. W pozostałych przypadkach prawidłowości takiej nie stwierdza się. Niekiedy na odcinku krótszym występuje mniejsza wartość odkształcenia niż na odcinku dłuższym lub też pojawiają się na obu odcinkach odkształcenia różnoznakowe. Na podstawie wartości odkształceń zestawionych w tabeli 3 nie można jednoznacznie stwierdzić, czy w rzeczywistości ujawnia się efekt znany z modelu Knothe’go, polegający na zmniejszaniu się wartości odkształceń poziomych wraz ze wzrostem długości bazy pomiarowej. Temu efektowi zaprzeczają natomiast wnioski wynikające z niektórych publikacji (np. [3]).

W związku z tym należy raczej uznać, że rozkład odkształceń poziomych powierzchni jest rezultatem procesu deformowania się górotworu pękającego blokami [1], czego ilustracją może być następująca analiza.

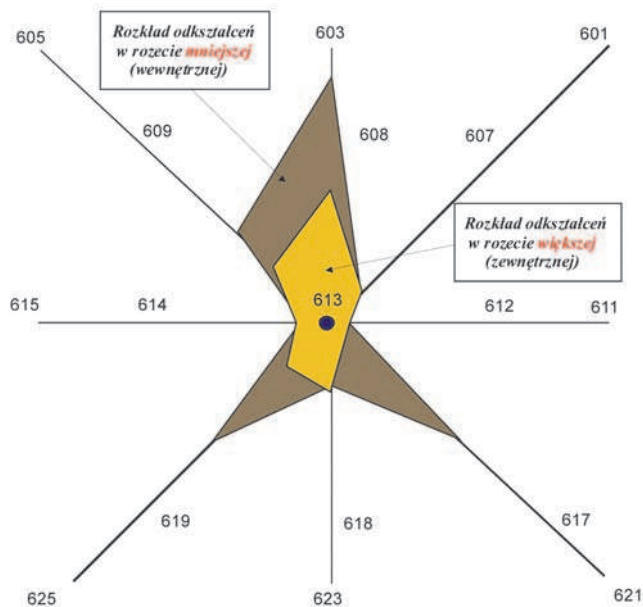
W rozecie „600” (rys. 1), na promieniu 613 – 623 o długości 50 m, zarejestrowano odkształcenie poziome $\epsilon = -0,68$ mm/m, i na tym samym kierunku, na promieniu 613 – 618 o długości 25 m odkształcenie poziome $\epsilon = +0,64$ mm/m.

Natomiast odkształcenie obliczone na odcinku 618 – 623 o długości 25 m wynosi $\epsilon = -2,00$ mm/m! Wynika z tego ważny wniosek:

Wartość odkształcenia poziomego w granicach obszaru o określonej powierzchni, zależy przede wszystkim od lokalizacji odcinka pomiarowego, natomiast w mniejszym stopniu od jego długości.

Ponieważ rozkład odkształceń poziomych wyznaczony na podstawie pomiarów jest rozkładem dyskretnym, każda zmiana położenia odcinka pomiarowego lub konfiguracji kilku odcinków może zasadniczo zmienić obraz takiego rozkładu. Uwzględniając, że w rzeczywistości odkształcenia poziome wynikają ze zmian układów szczelin w przypowierzchniowej warstwie górotworu (a nie „ciąglego” przemieszczania się materiału skalnego budującego tę warstwę), konstrukcja i lokalizacja rozety pomiarowej ma zasadnicze znaczenie dla uzyskania wiarygodnego obrazu odkształceń powierzchni, np. w zakresie odkształceń ekstremalnych.

Analizując wyniki pomiarów rozety „600” stwierdzono jeszcze jeden efekt (zilustrowany na rysunku 4), który odnosi się do wspomnianej zależności wartości odkształcenia poziomego od długości odcinka pomiarowego.



Rys. 4. Porównanie rozkładów odkształceń poziomych w granicach większej („zewewnętrznej”) i mniejszej („wewnętrznej”) rozety „600”

Fig. 4. Comparison of horizontal deformation distributions within the borders of the bigger (external) and smaller (internal) rosette “600”

Porównując rozkłady odkształceń poziomych na powierzchni rozety „600” większej („zewewnętrznej”) i na powierzchni rozety „600” mniejszej („wewnętrznej”) można zauważyć, że bezwzględne wartości odkształceń poziomych obliczone z dłuższych odcinków są globalnie mniejsze od tych wartości obliczonych z odcinków krótszych. Innymi słowy, zagrożenie powierzchni odkształceniami ocenione na podstawie pomiarów rozety mniejszej („wewnętrznej”) należałoby uznać za dużo większe niż na podstawie pomiarów rozety większej („zewewnętrznej”). Wynika z tego, że odkształcenia poziome wyznaczone na dłuższych odcinkach prezentują uśredniony („wygładzony”) obraz deformacji, który rozmywa znaczną zmienność tych odkształceń, jaką rejestrują odcinki

krótsze. Świadczy to o pewnej zależności wartości odkształceń poziomych od długości odcinka pomiarowego. Jak to wcześniej stwierdzono, wniosku takiego nie można sformułować na podstawie analizy wartości odkształceń, bez uwzględnienia ich lokalizacji w granicach danego obszaru.

Wyniki pomiarów rozety „600” skonfrontowano z rezultatami modelowania rozkładów poziomych odkształceń zgodnie z regułami tzw. teorii Knothego-Budryka. W tym celu obliczono wartości poziomych odkształceń w punkcie centralnym 613 rozety, uwzględniając geometrię ściany 335 oraz wielkości charakteryzujące eksploatację (patrz punkt 1). Przyjęto wartości parametrów modelu Knothego: $\text{tg}\beta = 2,45$ i $a = 0,7$.

Wokół punktu centralnego 613 rozety „600” zamodelowane odkształcenia poziome tworzą cztery strefy:

- wzdłuż kierunku 601 – 625 (pod kątem 45° do kierunku wybiegu) pojawiają się dwie strefy ekstremalnych odkształceń rozciągających o wartości $\epsilon_{\text{extr}}(+)_m = +2,40$ mm/m, symetryczne względem punktu centralnego,
- wzdłuż kierunku prostopadłego 605 – 621 występują dwie strefy odkształceń ściskających o wartości $\epsilon(-)_m = -0,55$ mm/m, również symetryczne względem punktu centralnego.

Natomiast z rozkładów odkształceń wyznaczonych z pomiarów (rys. 2 i 3) wynika, że wokół punktu 613 utworzyła się jedna strefa odkształceń ściskających o dużym zasięgu oraz jedna strefa odkształceń rozciągających o zasięgu dużo mniejszym. Strefy te są niesymetryczne i również w tym sensie nie odpowiadają rozkładowi wynikającemu z modelu.

Interesujące jest porównanie wartości odkształceń poziomych pomierzonych i zamodelowanych. Ekstremalne pomierzone odkształcenie rozciągające występuje na odcinku 613 – 619 (rozeta „600” mniejsza) i wynosi $\epsilon_{\text{extr}}(+)_m = +1,72$ mm/m. Natomiast w rozecie „600” większej ekstremalne rozciąganie pojawia się wprawdzie na tym samym kierunku na odcinku 613 – 625, ale jego wartość wynosi $\epsilon_{\text{extr}}(+)_m = +0,64$ mm/m. Kierunek pomierzonych i zamodelowanych ekstremalnych odkształceń rozciągających jest identyczny. Wartości tych odkształceń rosną wraz ze zmniejszaniem się długości odcinków, na których zostały wyznaczone, osiągając największą wartość w punkcie (na co wskazuje wynik modelowania). To spostrzeżenie sugeruje w pewnym stopniu zależność pomiędzy długością odcinka pomiarowego a wartością odkształcenia poziomego.

Należy zauważyć, że na kierunku ekstremalnych odkształceń rozciągających wyznaczonym reperami 613 – 607 – 601 pojawiają się odkształcenia ściskające o wartości $\epsilon(-) = -0,40$ mm/m, jednakowej w rozetach „600” mniejszej i większej (według modelu w tym kierunku odkształcenie poziome w punkcie 613 wynosi $\epsilon_{\text{extr}}(+)_m = +2,40$ mm/m). W tym przypadku identyczne wartości odkształceń w obu rozetach (mniejszej i większej) przeczą twierdzeniu o zależności wartości poziomego odkształcenia od długości odcinka pomiarowego.

Pomiar wykazał również, że największe zagrożenie powierzchni, przekraczające ekstremalną wartość odkształcenia rozciągającego $\epsilon_{\text{extr}}(+)_m = +1,72$ mm/m, wystąpiło na kierunku 613 – 608 – 603 (równoległym do kierunku wybiegu ściany 335). Zagrożenie to wynika ze znacznych odkształceń ściskających (!) o wartościach $\epsilon(-) = -2,40$ mm/m (na odcinku 613 – 608) oraz $\epsilon(-) = -1,32$ mm/m (na odcinku 613 – 603). Rozkład wymienionych wartości odkształceń wskazuje, podobnie jak na kierunku 613 – 619 – 625, na ich zależność od długości odcinka pomiarowego. Natomiast wartości odkształceń poziomych w tym kierunku obliczone według modelu wynoszą około zera.

Podobne spostrzeżenia można poczynić analizując rozetę „800”.

Stwierdzone niezgodności pomiędzy pomierzonymi a zamodelowanymi rozkładami poziomymi odkształceń świadczą o dużej nieregularności procesu deformacji powierzchni zachodzącego w rzeczywistości. Model w znacznym stopniu upraszcza ten proces, operując wybranymi parametrami uznawanymi za decydujące o kształtowaniu się deformacji. W rzeczywistości, w warunkach lokalnych, na przebieg procesu mogą mieć istotny wpływ inne właściwości ośrodka (górotworu) czy też prowadzonych w nim działań (eksploatacji górniczej), nieuwzględnione w modelu. Te właściwości utożsamia się z czynnikami losowymi, co nie zawsze jest właściwe. Skutki uproszczenia procesu przez model ujawniają się szczególnie w przypadku badań metodami pomiarowymi powierzchniowych rozkładów deformacji, np. w rozetach gwiazdzistych, jak wcześniej wykazano.

4. Wnioski

1. Badając deformacje powierzchni terenu spowodowane oddziaływaniem podziemnej eksploatacji górniczej, należy zdawać sobie sprawę, że uzyskane wyniki obrazują ruchy płytkiej, przypowierzchniowej warstwy górotworu. W związku z tym, rezultat pomiaru rejestruje nie tylko skutek oddziaływania eksploatacji, ale również skutki innych procesów zachodzących w tej warstwie. Może mieć to konsekwencje w przypadku konfrontowania wyników pomiarów z modelowaniem deformacji, np. według tzw. teorii Knothe'go – Budryka.
2. Pomiary deformacji w zasięgu zespołów reperów w kształcie rozet o różnej konstrukcji pozwalają na zbadanie powierzchniowych rozkładów deformacji, co znacznie rozszerza zakres informacji o zjawisku w stosunku do uzyskiwanych z linii obserwacyjnych. Pojawiają się jednakże określone problemy interpretacyjne oraz trudności w porównywaniu wyników pomiarów z modelem procesu.
3. Czytelna prezentacja wyników pomiarów rozet, szczególnie w formie graficznej, jest trudna, ponieważ konieczne stają się niezbędne uproszczenia, skutkujące schematycznością i umownością tworzonych obrazów. Przykładem może być obraz rozkładu poziomych odkształceń w granicach rozety gwiazdzistej.
4. Biorąc pod uwagę stosowane techniki pomiarowe oraz rzeczywiste warunki pomiaru, należy stwierdzić, że do wiarygodnej analizy wyników nie powinny być brane odkształcenia poziome o wartości bezwzględnej mniejszej od 0,5 mm/m.
5. Istnieją przesłanki do twierdzenia, że istnieje zależność pomiędzy długością odcinka pomiarowego a wartością

odkształcenia poziomego. W związku z tym, należy wziąć pod uwagę postulat, aby prognozowane odkształcenia poziome obliczać na odcinkach o określonej długości, a nie jak dotychczas w punktach. Taka procedura uwiarygodni zarówno ocenę zagrożenia deformacjami np. obiektów budowlanych, jak i rezultaty porównywania wyników prognozy z rezultatami pomiarów.

6. Obraz deformacji powierzchni uzyskany na podstawie pomiaru rozety zależy od rozmieszczenia poszczególnych jej punktów w stosunku do pola eksploatacyjnego, czyli od gęstości podziału powierzchni na sektory (ilości „promieni”) i od długości odcinków pomiarowych w rozecie. Istotne jest, że nawet niewielkie modyfikacje rozmieszczenia punktów w rozecie mogą spowodować znaczne zmiany wartości mierzonych deformacji oraz ich rozkładu w granicach obszaru objętego rozetą. W wyniku takich zmian, ocena zaistniałej deformacji może być nawet drastycznie różna.
7. Badanie deformacji powierzchni w zasięgu rozet pomiarowych prowadzi do stwierdzenia, że model procesu deformacji uśrednia obraz jego skutków poprzez uwzględnienie tylko kilku czynników kształtujących ten proces. Odpowiada to wynikowi pomiaru w granicach rozety o dużej powierzchni. Na małych powierzchniach zaczyna wzrastać wpływ czynników losowych, innych niż uwzględnione w modelu. Wskutek tego obraz deformacji staje się bardziej nieregularny i w coraz większym stopniu zaczyna różnić się od obrazu modelowego. Pojawia się w związku z tym pytanie, jak kształtować sieci pomiarowe, szczególnie w zakresie gęstości i obszaru rozmieszczenia reperów, aby uzyskiwane informacje o deformacji powierzchni obrazowały wiarygodnie stan „rzeczywisty”? Szanse na odpowiedź stwarzają odpowiednio zaprojektowane pomiary zespołów punktów obejmujących określony obszar, np. w kształcie rozet.

Literatura

1. *Batkiewicz W.*: *Odchylenia standardowe poeksploatacyjnych deformacji górotworu*. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej PAN Oddział w Krakowie, „Geodezja” 1971, nr 10.
2. *Skobel M.*: *Obserwowane a modelowe rozkłady poziomych odkształceń w rozetach pomiarowych*, praca magisterska (niepublikowana), Kraków 2013.
3. *Szafarczyk A.*: *Wyznaczanie odkształceń powierzchni terenu górniczego przy zastosowaniu rozet geodezyjnych*, praca doktorska (niepublikowana), AGH, Kraków 2008.