

Lokalne zmiany wektorów przemieszczenia w czasie nad eksploatacją górnictw

The local changes of the displacement vectors in time over the mining excavation



Dr hab. inż. Zygmunt Niedojadło,
prof. AGH**



*Dr inż. Paweł Sopata**



*Dr inż. Tomasz Stoch**



*Mgr inż. Artur Wójcik**



*Mgr inż. Dawid Mrocheń**

Treść: W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących poziomych przemieszczeń szeregu gęsto rozmieszczonych punktów w rejonie podziemnej eksploatacji górnictw pokładu węgla kamiennego. Geometrię układu pomiarowego stanowił prostoliniowy odcinek 49 punktów zastabilizowanych w interwale co jeden metr. Analizą objęto całkowite wektory poziomego przemieszczenia punktów dla wybranych stanów frontu eksploatacyjnego w stosunku do miejsca położenia sieci obserwacyjnej. Przeprowadzone badania umożliwiły śledzenie rozwoju procesu przemieszczania się powierzchni terenu w ujęciu lokalnym w warunkach przechodzącego frontu eksploatacyjnego, dając możliwość wykrycia nieregularnych wartości wskaźnika w rejonie zaburzeń budowy geologicznej górnictw.

Abstract: The paper presents the results of research on horizontal displacements of a number of densely distributed points in the area of underground mining exploitation of a coal seam. The geometry of the measurement system was a straight line segment of 49 points, stabilized at intervals of one meter. The analysis concerned the total vectors of horizontal displacement of points for the selected states of face advances in relation to the location of the observation line. The conducted research enabled tracking the development of the process of surface movement locally, under conditions of the advancing longwall panel excavation, giving the possibility of detecting irregular values of the indicator in the area of disturbances in the geological structure of the rock mass.

Słowa kluczowe:

deformacje powierzchni, przemieszczenia poziome, wektory przemieszczeń, górnictwo węgla kamiennego

Keywords:

surface deformations, horizontal displacements, displacement vectors, hard coal mining

* AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza, WGGiIŚ w Krakowie

1. Wstęp

Skutkiem podziemnej eksploatacji górniczej są przekształcenia terenu zwane powszechnie deformacjami. Powstawanie deformacji jest związane z przestrzennym przemieszczaniem się elementów górotworu i powierzchni terenu w kierunku pustki poeksploatacyjnej (Kowalski 2015, Ostrowski 2015, Piwowarski i in. 1995, Popiołek 2009, Strzałkowski 2015). Zatem ruch każdego punktu w przyjętym układzie współrzędnych można opisać wektorem przemieszczenia o trzech składowych. Składowa pionowa – obniżenie – opisuje nieckę obniżeniową. Pozostałe dwie składowe obrazują poziomy ruch punktu powierzchni terenu, który wynika głównie z przebiegu procesu deformacji na skutek postępującej eksploatacji górniczej. Przemieszczenia poziome oraz ich rozkład na powierzchni terenu decydują o wartościach odkształcenia poziomego (Knothe 1984), które stanowi ważne kryterium w ocenie zagrożeń wynikających z wpływu eksploatacji (GIG 2000).

W artykule przedstawiono analizę wektorów przemieszczeń poziomych szeregu gęsto zastabilizowanych punktów (odcinki 1-metrowe) w warunkach przemieszczającego się frontu eksploatacyjnego węglowej ściany górniczej. Przeprowadzone pomiary oprócz zobrazowania ruchu poszczególnych punktów sieci w odniesieniu do przeprowadzonej eksploatacji górniczej, umożliwiły m.in. wykrycie

nieregularnych wartości przemieszczeń w strefie zaburzonej budową geologiczną przypowierzchniowej warstwy górotworu (Niedojadło i in. 2016).

2. Przemieszczenie poziome terenu górniczego

Przemieszczeniem punktu w rozumieniu ogólnym nazywamy zmianę jego położenia przestrzennego. W przyjętym prostokątnym układzie współrzędnych będzie to oznaczało zmianę współrzędnych danego punktu względem jego położenia pierwotnego (przed przemieszczeniem). Zatem współrzędne X^0, Y^0, Z^0 zmieniają się na X', Y', Z' . Rozpatrując jedynie poziomy ruch punktu wystarczy określić zmianę współrzędnych płaskich X, Y (wzory 1, 2 i 3):

$$u_x^i = x_p^i - x_p^0 \quad (1)$$

$$u_y^i = y_p^i - y_p^0 \quad (2)$$

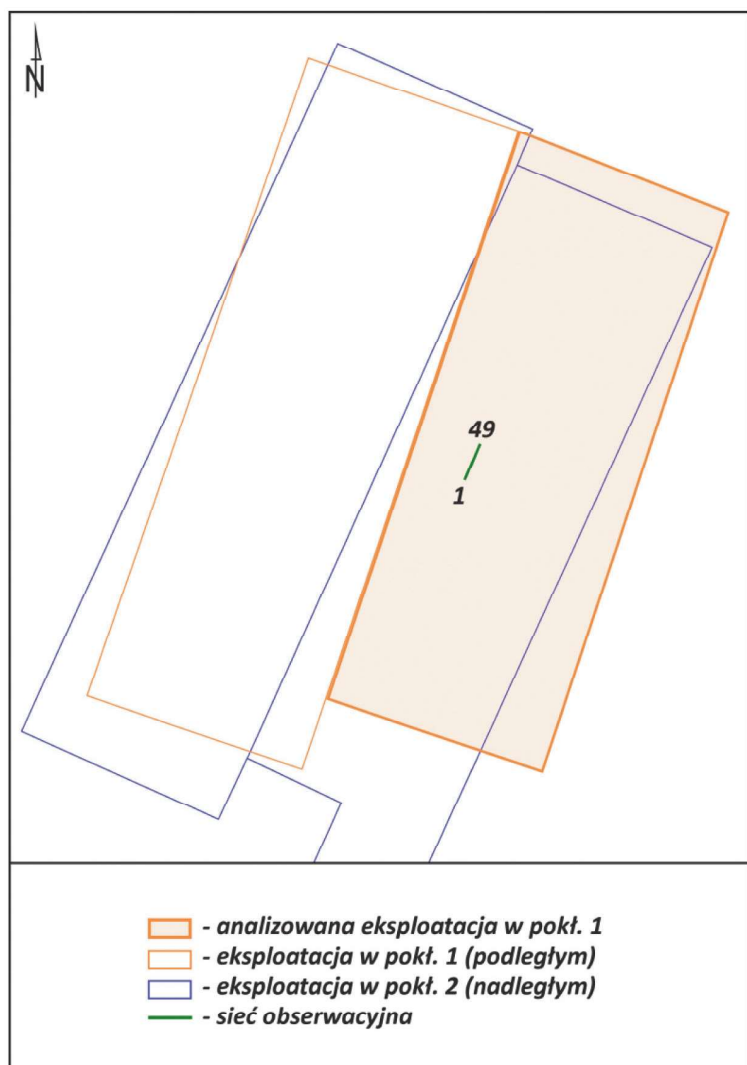
$$u_p = \sqrt{(u_x^i)^2 + (u_y^i)^2} = \sqrt{(x_p^i - x_p^0)^2 + (y_p^i - y_p^0)^2} \quad (3)$$

Obecnie pomiary deformacji na terenach górniczych prowadzone są nowoczesnymi metodami, które umożliwiają w każdej serii obserwacyjnej wyznaczenie zmian współrzędnych punktów obserwacyjnych. Daje to podstawę do wyznaczania zmian położenia punktów pomiarowych i opisu tych zmian poprzez wektory przemieszczenia (Tajduś 2015). Analizie podlegać mogą wektory przestrzenne lub ich składowe (pionowa w oraz pozioma u – dająca się przedstawić jako wypadkowa przemieszczeń w kierunkach osi X i Y przyjętego układu współrzędnych). Geodezyjne pomiary realizujące zadania tego typu to przede wszystkim pomiary kątowno-liniowe, dające możliwość wyznaczania przestrzennego położenia punktów sieci obserwacyjnej lub pomiary satelitarne (statyczne oraz czasu rzeczywistego RTK), umożliwiające również wyznaczenie położenia obserwowanego punktu.

3. Rejon badań

Rejon badań położony jest w granicach Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Sieć badawcza zlokalizowana była w terenie otwartym, na wzniesieniu, w znacznym oddaleniu od wysokich drzew, budynków i sieci energetycznych. Stwarzało to bardzo dobre warunki dla pomiaru satelitarnego. Linia obserwacyjna znajdowała się nad ścianą węglową o długości 270 m i wybiegu 710 m, eksploatowaną na średniej głębokości $H_{sr} = 620$ m. Front eksploatacyjny przemieszczał się z południa na północ, natomiast średnia grubość wybieranego złoża wynosiła $g_{sr} = 4,0$ m. Od strony zachodniej analizowanej eksploatacji, w tym samym pokładzie, znajdowała się wcześniej wybrana ściana o podobnych parametrach (długość ściany: 270 m, wybieg ściany: 805 m, $H_{sr} = 620$ m, $g_{sr} = 4,0$ m), natomiast w pokładzie nadległym eksploatacja została zakończona 5 lat wcześniej ($H_{sr} = 540$ m, $g_{sr} = 4,5$ m). Sytuację górnictwa przedstawia rysunek 1.

Badania geofizyczne rejonu badań, prowadzone metodą zobrazowania elektrooporowego (Mościcki, Antoniuk 1999), wykazały znaczne zróżnicowanie



Rys. 1. Sytuacja górnictwa w rejonie badań
Fig. 1. Mining situation in the study area

w budowie przypowierzchniowej warstwy górotworu. Mogło to spowodować dużą nieregularność w zakresie ujawniania się wpływów, jak również sprzyjać powstawaniu deformacji nieciągłych. Prowadzone pomiary miały za zadanie potwierdzić powyższą tezę.

4. Metodyka badań

Nad eksploatacją ścianową węgla kamiennego została założona sieć obserwacyjna składająca się z 49 punktów pomiarowych. Punkty zastabilizowano za pomocą prętów stalowych, co jeden metr, wbijanych w ziemię na głębokość około 1,0 – 1,1 m na odcinku o długości 48 metrów. Dzięki temu możliwe było zbadanie zmian wartości wektorów przemieszczenia i ich kierunków w obrębie standardowych długości boków linii obserwacyjnej, tj. 24 i 48 metrów.

W celu uzyskania wektorów przemieszczenia poziomego punktów wykonano szereg pomiarów metodą satelitarną w oparciu o system ASG EUPOS (RTK, RTN). W okresie od maja 2014 roku do kwietnia 2015 roku zrealizowano 27 serii obserwacyjnych. Pomiary wykonano odbiornikiem satelitarnym Trimble SPS882 ze średnim błędem wyznaczenia położenia wynoszącym $m_{xy} \approx \pm 0,03$ m (Ryczkowski i in. 2008). Począwszy od 4 serii pomiarowej, całkowite wektory poziomego przemieszczenia osiągały wartości większe od $u = 45$ mm dla poszczególnych punktów linii obserwacyjnej. Z tego powodu możliwa była ich analiza jako istotnych wartości przemieszczenia.

5. Wyniki badań

Do opisu przebiegu omawianego zjawiska wybrano 8 serii pomiarowych, których wyniki reprezentują rozwój pola przemieszczeń. W powiązaniu z pozycją frontu eksploatacyjnego uwidacznia się każdorazowo efekt opóźnienia czasowego ujawniania się wpływów.

Pierwsze wartości przemieszczeń, wykraczające poza granice dokładności ich wyznaczania w przyjętej technice pomiarowej zanotowano w serii 4, kiedy front eksploatacyjny osiągnął początkowe punkty linii badawczej. Niewielkie wartości przemieszczeń poziomych ($u_{max} = 65$ mm), skierowane w stronę wyjściowej krawędzi ściany (rys. 2a) wynikały z początkowej fazy eksploatacji zrealizowanej w pewnej odległości przed siecią pomiarową. Potwierdzają to wyniki kolejnych serii pomiarów, w których wektory przemieszczeń zmieniają swój zwrot dopiero po przejściu frontu eksploatacyjnego pod linią i znacznym oddaleniu się od niej. Efekt zmiany kierunku przemieszczeń na gęstej sieci punktów uwidacznia się w sposób wyraźny i sukcesywny. Świadczą o tym wyniki serii 11 (rys. 2b) – początkowe punkty linii wracają praktycznie do pozycji wyjściowej oraz serii 17, w której punkty terenowe na długości 48 m przemieszczają się zarówno w kierunku końca ściany (punkty początkowe linii), jak i jej początku (punkty końcowe linii) – rysunek 2c. Wówczas na powierzchnię terenu oddziałuje już powstała pustka zlokalizowana bezpośrednio pod siecią (front eksploatacyjny po przejściu pod linią oddalił się od końcowych jej punktów na odległość około 150 m).

W serii 20, w przypadku większości punktów linii (patrząc od jej początku), następuje wzrost wartości przemieszczeń poziomych w kierunku postępu eksploatacji ($u_{max} = 192$ mm). Końcowe punkty linii nadal zmieniają kierunek przemieszczenia, zgodnie z sytuacją górnica (trajektorię ich ruchu wymusza centrum wybranej przestrzeni złoża położone na wschód od linii – rys. 2d). Podobny efekt zanotowano w serii

22, w której wektory przemieszczeń wszystkich punktów linii doznały odchylenia w kierunku wschodnim (rys. 2e). Dynamika zmian pola przemieszczeń w miejscu lokalizacji sieci maleje w serii 24, o czym świadczą niewielkie przyrosty wskaźnika w początkowym fragmencie linii (rys. 2f). Końcowe punkty linii objęte są jeszcze wpływami oddalającej się eksploatacji górnica, o czym świadczą istotne zmiany kierunku wektorów ich przemieszczeń (rys. 2f).

Front eksploatacyjny osiągnął końcową krawędź ściany w trakcie realizacji serii 26 (w odległości 375 m od linii). Praktycznie od tego momentu w rejonie badań zaczęto obserwować wygasanie wpływów. W tym czasie niekiedy obniżeniowa dążyła już do stanu ustalonego (asymptotycznego). Skutkiem tego była ponowna zmiana kierunków wektorów przemieszczeń pionowych do centrum pola górnica (rysunki 2g i 2h). Ostatnia seria pomiarowa (seria 27) została wykonana kilka miesięcy po zakończeniu eksploatacji górnica. Na podstawie analizy opóźnień czasowych ujawniania się wpływów podczas realizacji projektu można było uznać, że wyniki tej serii prezentują asymptotyczny stan deformacji (rys. 2h). Prezentują one obraz pola przemieszczeń zgodny jakościowo z teorią wpływów. Wszystkie punkty linii badawczej zbieżają do centrum wybranej przestrzeni złoża. W zależności od usytuowania punktów w stosunku do centrum pola górnica przemieszczenia poziome osiągnęły wartości w zakresie od $u_{asymp} = 143$ mm do $u_{asymp} = 349$ mm.

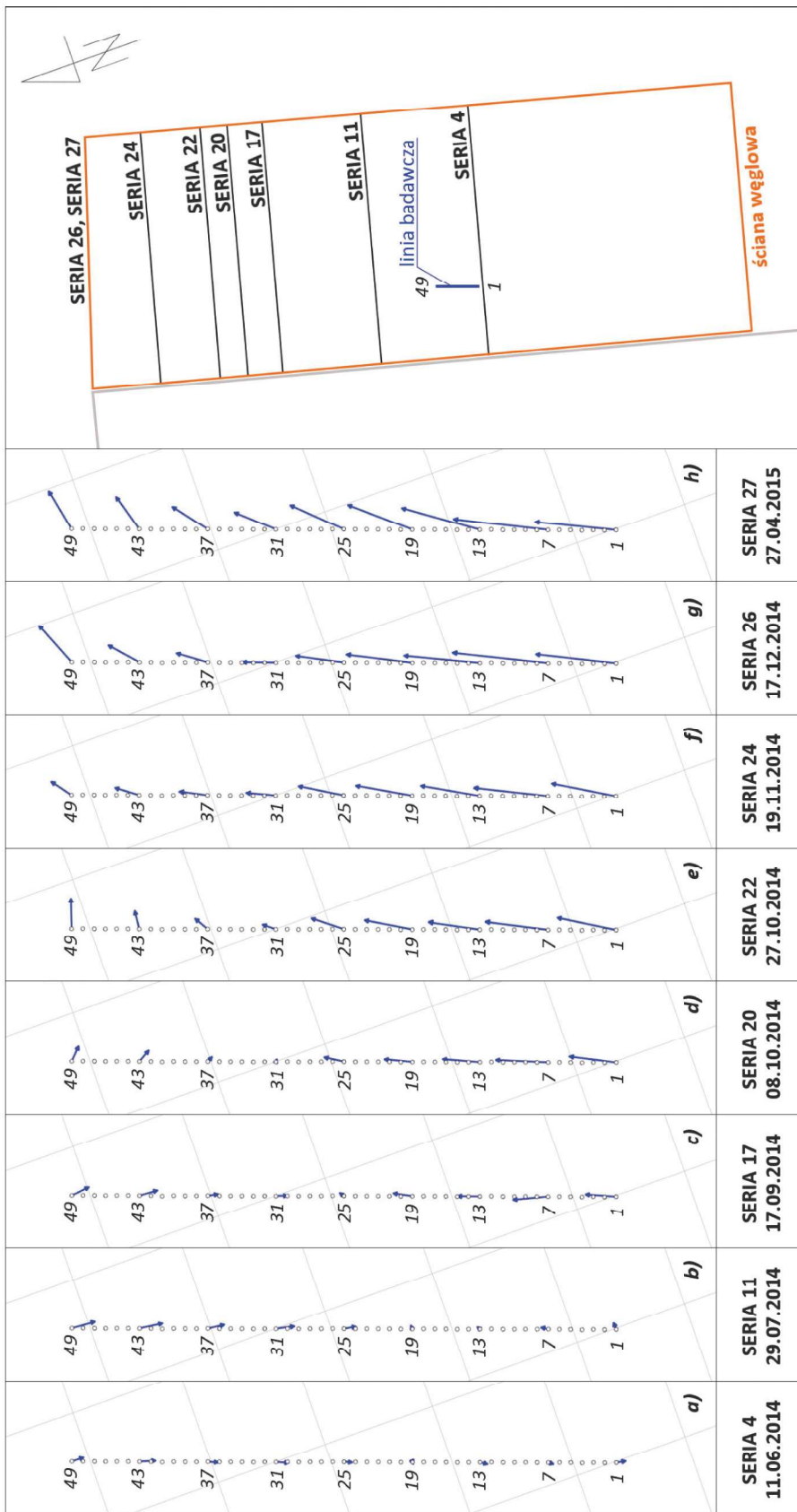
W aspekcie ilościowym zanotowano jednak pewną anomalie. Lokalne zmiany wektorów przemieszczeń wzdłuż linii wskazują na regularność polegającą na zmniejszaniu ich wartości z równoczesną zmianą kierunku. Wyjątek od tej reguły występuje w przypadku przemieszczeń punktów 26 i 27. Zostało to zobrazowane na rysunku 3, gdzie zestawiono wektory przemieszczeń (o wspólnym początku) wybranych punktów linii (seria 27).

Pomierzone wektory przemieszczeń punktów 26 i 27 o zwiększonych wartościach występują „powyżej” wektora przemieszczeń dla punktu 19. Ich spodziewane wartości (mniejsze o około 50 mm ÷ 70 mm) powinny wystąpić w zmienionym nieco kierunku, tak by wektory te znalazły się „poniżej” wektora przemieszczeń punktu 25. Wykazana lokalna nieregularność pola przemieszczeń, praktycznie niemożliwa do wykrycia przy klasycznych pomiarach linii obserwacyjnych (o długościach boków 24 m lub 48 m) znalazła przyczynę w budowie geologicznej przypowierzchniowej warstwy górotworu. Wykonane badania geofizyczne metodą elektrooporową wykazały w miejscu stabilizacji punktów 26 i 27 kontakt utworów plastycznych (ilastych) i sztywnych (wapiennych) – rysunek 4.

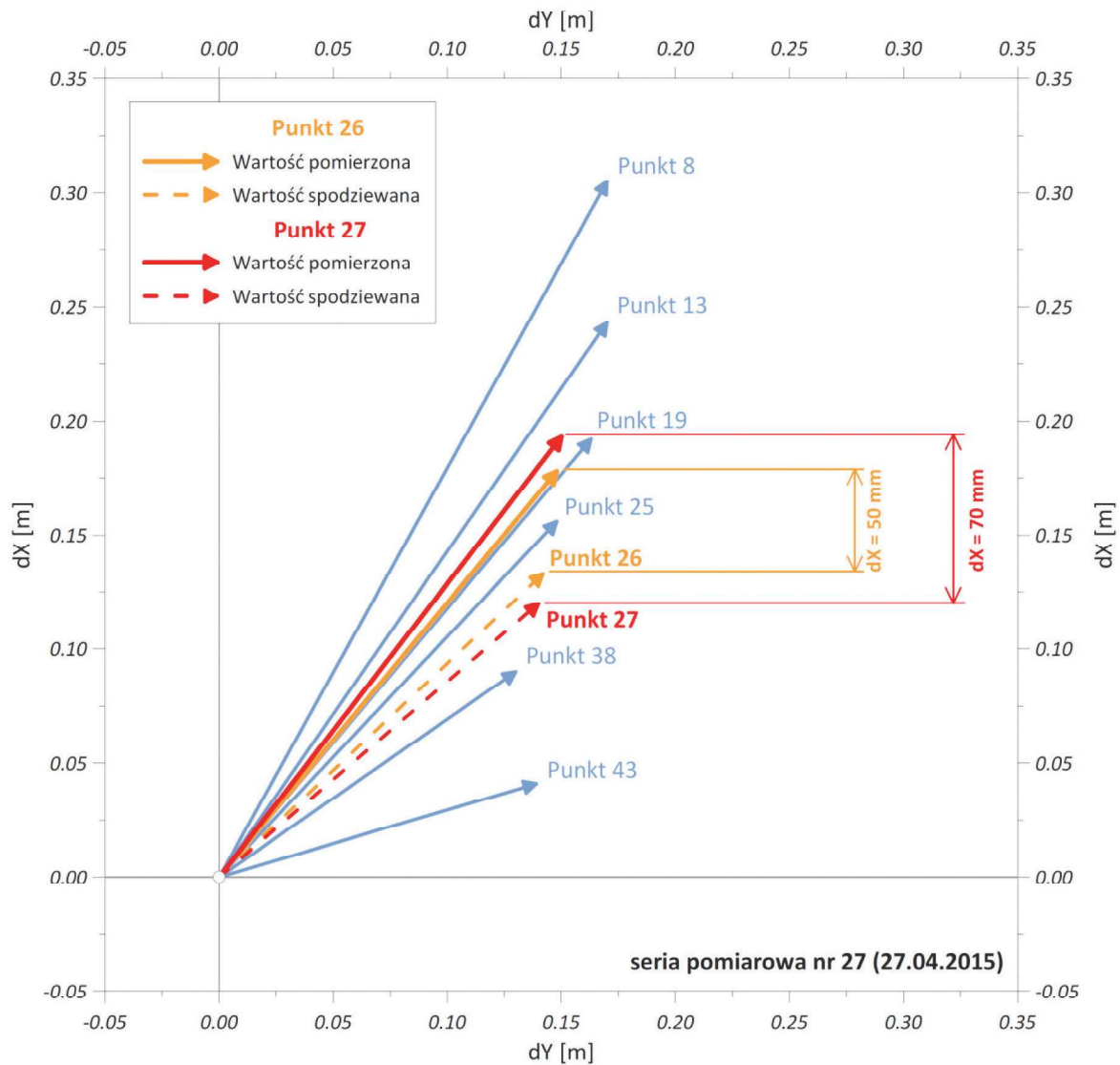
Na skutek różnic w deformowaniu się obydwu utworów, w bliskim sąsiedztwie rejonu badań, wystąpił przypadek uszkodzenia nowo posadowionego obiektu budowlanego (domu jednorodzinne) wzniesionego w strefie kontaktu ww. utworów. Obiekt uległ uszkodzeniu w stopniu uniemożliwiającym jego naprawę i użytkowanie (Niedojadło i in. 2016). Wykonane przed podjęciem eksploatacji badania tego typu pozwoliłyby wybrać bezpieczniejsze (przesunięte jedynie o kilka metrów) miejsce wznoszenia budynku, chroniąc go przed destrukcyjnym działaniem procesu deformacji.

6. Podsumowanie i wnioski

Zrealizowane badania przemieszczeń poziomych szeregu gęsto zastabilizowanych punktów posiadały charakter lokalny. Wykonano je na odcinku 48 metrów. W rezultacie uzyskano dynamiczny obraz zmian pola przemieszczeń, wywołanego

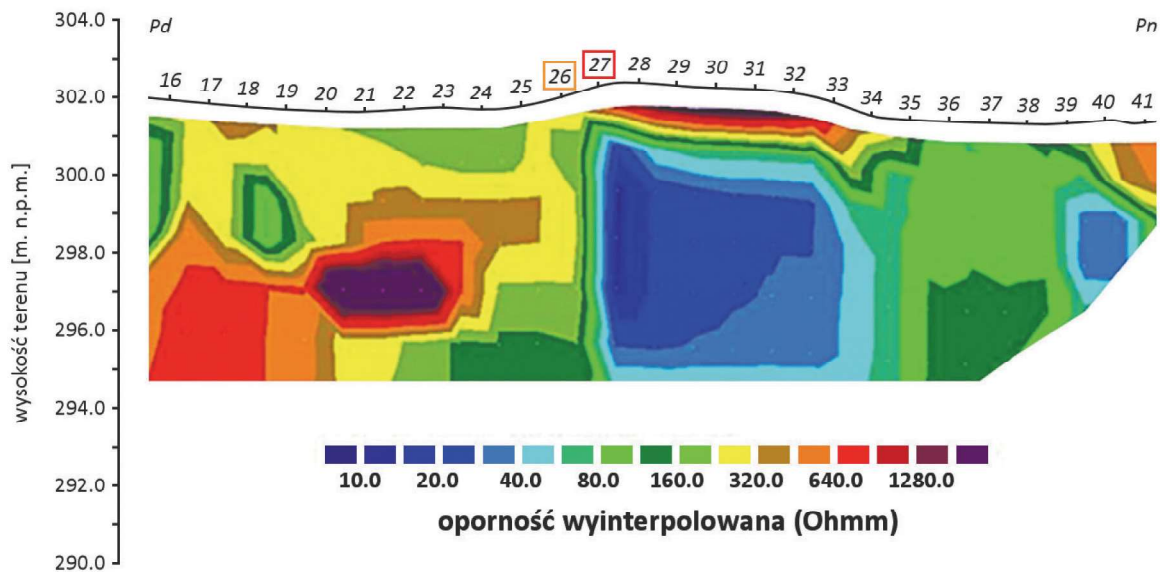


Rys. 2. Całkowite wektory przemieszczeń poziomych w wybranych seriach pomiarowych
 Fig. 2. Total horizontal displacement vectors in the selected measurement series



Rys. 3. Wektory przemieszczeń poziomych w serii 27

Fig. 3. Horizontal displacement vectors in series 27



Rys. 4. Przekrój geoelektryczny przypowierzchniowej warstwy górotworu

Fig. 4. Geoelectrical cross-section of the near-surface rock mass

przechodzącym pod linią badawczą frontem eksploatacyjnym. Uwzględniając opóźnienie czasowe ujawniania się wpływów, należy uznać, że zaprezentowane wyniki są zgodne jakościowo z teoretycznym opisem zjawiska deformacji. W aspekcie ilościowym, w rozkładzie wektorów przemieszczeń wzdłuż linii, stwierdzono miejscową anomalie. W obrębie linii badawczej, w przypadku dwóch sąsiednich punktów (na odcinku 1 m) wystąpiło zaburzenie pola przemieszczeń, zarówno co do wartości przemieszczeń, jak i ich kierunków. Przyczyną tego stanu była niejednorodna budowa geologiczna przypowierzchniowej warstwy górotworu (rys. 4). Stwierdzona zarówno pomiarem geodezyjnym, jak i geofizycznym strefa kontaktu utworów plastycznych i sztywnych nie powinna stanowić miejsca posadawiania obiektów budowlanych na terenach objętych podziemną eksploatacją górnictwem. Wyznaczone w tej strefie zmiany przemieszczeń poziomych wskazują na deformacje powierzchni terenu, których skala powodować może poważne uszkodzenia obiektów, w tym również elementów konstrukcyjnych.

Artykuł zrealizowano w ramach badań statutowych WGGiŚ AGH nr 11.11.150.195.

Literatura

GIG Główny Instytut Górnictwa 2000 - Zasady oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górnictwem z uwagi na ochronę obiektów budowlanych. Seria: Instrukcje nr 12. Katowice.

- KNOTHE S. 1984 - Prognozowanie wpływów eksploatacji górnictwem. Wyd. Śląsk. Katowice.
- KOWALSKI A. 2015 - Deformacje powierzchni w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. GIG. Katowice.
- MOŚCICKI W., ANTONIUK J. 1999 - Metodyka obrazowania elektrooporowego. Przykład badań dla celów geologiczno-inżynierskich. Geofizyka w Geologii, Górnictwie i Ochronie Środowiska. V Konferencja Naukowo-Techniczna. Kraków.
- NIEDOJADŁO Z., PIWOWARSKI W., MOŚCICKI W., SOPATA P., STOCH T., BANIA G., ĆWIKLIK M. 2016 - Wpływ lokalnej, przypowierzchniowej budowy geologicznej na deformacje powierzchni terenu w warunkach podziemnej eksploatacji górnictwem. „Przeгляд Górnictwem” nr 1, s. 18–26.
- OSTROWSKI J. 2015 - Deformacje powierzchni terenu górnictwem. Agencja Wydawniczo-Poligraficzna ART-TEKST, Kraków.
- PIWOWARSKI W., DŻEGNIUK B., NIEDOJADŁO Z. 1995 - Współczesne teorie ruchów górotworu i ich zastosowania. Wyd. AGH, Kraków.
- POPIOLEK E. 2009 - Ochrona terenów górnictwem. Wyd. AGH, Kraków.
- RYCZKOWSKI M., ORUBA A., LEOŃCZYK M. 2008 - The precise satellite positioning system ASG-EUPOS. International Conference GEOS 2008 Proceedings, 27–29 February 2009, Praha.
- STRZAŁKOWSKI P. 2015 - Zarys ochrony terenów górnictwem. Wyd. Pol. Śl., Gliwice.
- TAJDUŚ K. 2015 - Analysis of horizontal displacement distribution caused by single advancing longwall panel excavation. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. Vol. 7, s. 295–403.

Artykuł wpłynął do redakcji – październik 2018
Artykuł akceptowano do druku 17.12.2018