

# Wpływ długości bazy pomiarowej na wyznaczone wartości odkształceń poziomych – przegląd literaturowy

## Influence of the length of survey site on the determined values of horizontal strains – literature review



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



*Dr inż. Paweł Sopata\**



*Mgr inż. Dawid Mrocheń\**

**Treść:** W artykule przedstawiono przegląd badań dotyczących wpływu długości boku pomiarowego linii obserwacyjnej na wyznaczone wartości odkształceń poziomych na terenach górniczych. Omówiono problemy związane z doбором optymalnej długości boku oraz statystyczny opis zmienności odkształceń poziomych. Przedstawione badania prowadzone od końca lat 60. ubiegłego wieku opierają się na danych pomiarowych, badaniach modelowych oraz rozważaniach teoretycznych. Wartość odkształcenia poziomego wyznaczana dla boku linii obserwacyjnej zależy od samej długości boku, inaczej stopnia uśredniania wskaźnika oraz występowania w jego obrębie lokalnych stref zwiększonych rozluźnień czy zagęszczeń gruntu. Przedstawiono różne metody określenia optymalnej długości baz pomiarowych w Polsce i na świecie.

**Abstract:** This paper presents the development of studies on the influence of the survey site length of an observation line on the values of horizontal strains in mining areas. The problems associated with the selection of the optimal length of a survey site and statistical description of the variability of horizontal strains were discussed. The presented studies, conducted since the late 1960s, are based on the measurement data, model studies and theoretical considerations. The value of the horizontal strains determined for an observation line depends on the side length, the degree of averaging the indicator and the presence of local zones of excessively loosened or compacted soil within it. Various methods of determining the optimum length of the sites in Poland and in the world have been presented.

### Słowa kluczowe:

*odkształcenia poziome, długość bazy pomiarowej*

### Keywords:

*horizontal strain, length of survey site*

## 1. Wstęp

Obserwacje geodezyjne dostarczają niezbędnych informacji nt. oddziaływania podziemnej eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu. Pomiary długości i pomiary wysokościowe wykonuje się na specjalnie w tym celu zakładanych liniach obserwacyjnych. Na ich podstawie wyznacza się przemieszczenia i wskaźniki deformacji. Do monitorowania przemieszczeń powierzchni wykorzystywane są również sieci punktów rozproszonych lub rozety pomiarowe. Pomiary na liniach obserwacyjnych należy prowadzić na bokach równej długości (Ostrowski 2001). Umożliwia to porównanie wskaźników wyznaczonych dla różnych warunków górniczo-geologicznych (Klein 1973, Klein 1975, Popiołek, Ostrowski 1981). Długość boku pomiarowego wpływa na wyznaczone wartości

odkształceń poziomych, które stanowią podstawę oceny zagrożenia obiektów. Z tego powodu wielu badaczy zajmowało się zagadnieniem ustalenia ich optymalnej długości. Rezultaty tych badań zebrano i przedstawiono w sposób syntetyczny, zwracając szczególną uwagę na najważniejsze wnioski.

## 2. Badania zjawiska

W połowie lat 50. XX wieku Budryk & Knothe (1956) podali graniczne wartości wskaźników deformacji:  $\epsilon$ ,  $T$ ,  $K$ , ze względu na stopień zagrożenia budynków. Porównano wyznaczone z pomiarów wartości wskaźników na bokach 20 ÷ 30-metrowych lub obliczonych wg wzorów teorii Knothe (Knothe 1984) z uszkodzeniami budynków. Podana wówczas klasyfikacja stanowi podstawę dla stosowanego obecnie podziału na kategorie terenu górniczego i odporno-

\* AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

ści obiektów budowlanych (GIG 2000). Jednak klasyfikacja oparta o inny materiał pomiarowy (dla innej długości boków) miałaby inne wartości graniczne kategorii (Milewski 1975). Dlatego szczególnie istotna z punktu widzenia bezpieczeństwa jest odległość między punktami sieci pomiarowej.

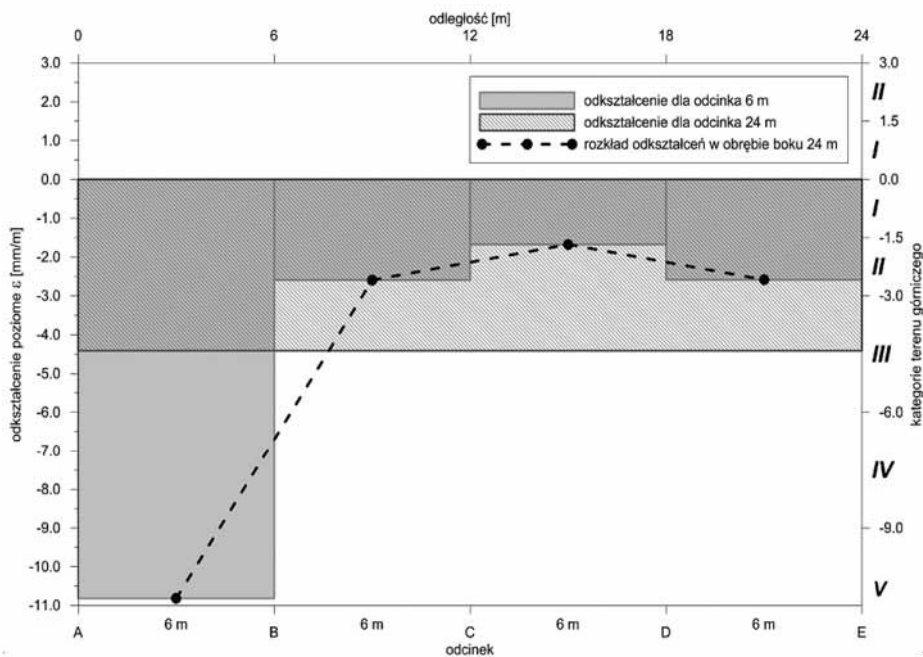
Pod koniec lat 60. badacze zwrócili uwagę na wpływ długości boku pomiarowego i obserwowanych wartości odkształceń poziomych. Milewski (1969) podaje przykład dwóch obiektów przemysłowych. W pierwszym przypadku zastabilizowano obok siebie dwa odcinki badawcze. Pierwszy o długości 8 metrów, natomiast drugi 32-metrowy. Zaobserwowano zgodne pod względem jakościowym wartości odkształceń. Jednak ich ekstremalne wartości znacznie się różniły: dla boku 8-metrowego  $\varepsilon = -8.2 \text{ mm/m}$ , a dla dłuższego boku  $\varepsilon = -2.4 \text{ mm/m}$ . Podobne wyniki uzyskano dla fragmentu innej linii obserwacyjnej. Pomiaru prowadzono na trzech bazach o długościach 24, 8 i 24 metrów. Roczne obserwacje wykazały zwiększone wartości odkształceń poziomych na boku środkowym ( $\varepsilon = -0.45 \text{ mm/m}$ ) w stosunku do dwóch skrajnych boków ( $\varepsilon \approx -0.15 \text{ mm/m}$ ). Obserwowane wartości wskaźników zależą od długości odcinka, jak również od jego rozmieszczenia na powierzchni terenu. Podobne wnioski przedstawił Szpetkowski (Szpetkowski 1969). Bez względu na wartości wskaźników deformacji wyznaczane na dłuższych odcinkach są zazwyczaj mniejsze, niż wyznaczane w oparciu o krótsze bazy. Z tego powodu prowadzone obserwacje mogą nie dawać pełnej informacji o potencjalnym zagrożeniu terenu. W celu zwiększenia wiarygodności wyników autor zaleca zagęszczenie sieci punktów. Jednak stabilizacja „gęstych” sieci skutkuje podwyższeniem kosztów stabilizacji oraz obsługi geodezyjnej.

Badania modelowe (Klein 1973) wykazały, że długość boku powinna zależeć od właściwości ośrodka – górotworu. Dla ośrodka jednorodnego (np. modelu piaskowego) można stosować dowolne odległości między punktami. Jednak w rzeczywistości górotwór jest ośrodkiem stochastycznie niejednorodnym w przestrzeni. Oznacza to, że nakładają się w nim dwa procesy. Losowy ze względu na cechy stochastycz-

ne górotworu oraz deterministyczny związany z zadanymi warunkami brzegowymi. Natomiast zniszczenie spójności materiału (ośrodka) zależy od wartości odkształcenia lokalnego, a nie wartości przeciętnej. Dlatego projektowana linia obserwacyjna powinna mieć bazy o długościach zapewniających otrzymywanie średnich wartości odkształceń. Dodatkowo, wybrane boki należy „zagęścić” wielokrotnie krótszą bazą w miejscach spodziewanych ekstremalnych odkształceń. W ten sposób można pozyskać informacje nt. charakteru i wielkości fluktuacji wskaźnika (Klein, 1973, Szpetkowski 1972).

Prowadząc obserwacje na standardowych długościach boków pomiarowych – 24 m dla GZW, nie ma możliwości zaobserwowania ekstremum lokalnego. Dopiero stabilizacja krótkich baz np. 6-metrowych pozwala obserwować nieregularność procesu deformacji powierzchni (Sopata i in. 2016), związaną z nieregularną budową przypowierzchniowej warstwy górotworu. Na rys. 1 przedstawiono rozkład odkształceń dla boków 6 m w obrębie odcinka 24 m. Dla boku AB zaobserwowano ekstremum lokalne (deformację nieciągłą)  $\varepsilon = -1.1 \text{ mm/m}$ , wobec  $\varepsilon = -4.5 \text{ mm/m}$  dla boku standardowego (AE) i odkształceń w zakresie  $2 \div 3 \text{ mm/m}$  dla pozostałych baz 6 m.

Ograniczając długości odcinków pomiarowych należy wziąć pod uwagę następujące kwestie. Zbyt krótkie odcinki pomiarowe obciążone są dużymi wartościami rozproszenia losowego (Ostrowski 1982, Hejmanowski, Kwinta 2007), przez co materiał pomiarowy nie nadaje się do dalszych analiz (Popiołek 1976). Natomiast długie odcinki mogą być obciążone błędem związanym z procesem uśredniania wraz ze wzrostem odległości między punktami obserwacyjnymi (Popiołek, Ostrowski 1981). Stopień uśredniania wskaźnika zależy również od krotności eksploatacji. Zjawisko to jest mniej widoczne na terenach, gdzie realizowana jest pierwsza eksploatacja i staje się wyraźniejsze przy eksploatacji kolejnych ścian lub pokładów (Pielok 2005). W praktyce warunek minimalnej długości spełniają wszystkie linie obserwacyjne (Popiołek 1976). Oryginalne podejście zaprezentował pod koniec lat 60. Siembab (1969). Zalecał ograniczyć długość boku ze względu na dokładność pomiaru. Odległość między



Rys. 1. Rozkład wartości odkształceń poziomych w obrębie standardowego boku linii obserwacyjnej (Sopata i in. 2016)

Fig. 1. Distribution of values of horizontal strains within standard side of the surveying line (Sopata et al. 2016)

punktami należy dobrać w taki sposób, aby błąd obniżenia punktu nie był większy niż błąd graniczny określenia tego obniżenia.

Rozważania teoretyczne w oparciu o autorską teorię przedstawił Zych (1991, 1993, 1998, 1999, 2010). Wartość odkształceń poziomych zależy od długości przęsła (boku) oraz jego usytuowania w stosunku do krawędzi eksploatacji (Klein 1981, Zych 1998). Przesunięcie odcinka wzdłuż linii obserwacyjnej nawet o kilka metrów, może znacząco wpłynąć na wartości wskaźnika. Odcinek może objąć swym zasięgiem, ze względu na niejednorodną budowę górotworu, strefy intensywnego ściskania lub rozciągania jego przypowierzchniowej warstwy. Jako kryterium porównania odkształceń poziomych, prognozowanych w punktach i obliczonych z przemieszczeń poziomych, Zych przyjmuje odchylenie standardowe oraz błąd procentowy – stosunek odchylenia standardowego do ekstremalnej wartości odkształcenia. W przypadku pomiarów całkowicie wolnych od błędów oraz rozproszenia losowego zjawiska błąd procentowy maleje wraz z długością odcinka pomiarowego. W przeciwnym wypadku optymalna długość przęsła rośnie ze wzrostem wartości błędu.

### 3. Model blokowy Batkiewicza

Do opisu procesu deformacji Batkiewicz (1971) zaproponował model górotworu, zbudowany z bloków skalnych. Z założenia jest to ośrodek kruchy i spękany jeszcze przed rozpoczęciem eksploatacji górniczej. Niejednorodny górotwór charakteryzuje się występowaniem szczelin o zerowej rozwarłości (płaszczyzny uskoków i kliważu, powierzchnie warstw o różnej wytrzymałości itp.) niezależnie od właściwości fizyko-mechanicznych skał. Jego zruszenie powoduje zmianę naprężeń wewnętrznych i wzrost liczby szczelin „niezerowych” oraz wystąpienie wzajemnych, stycznych przesunięć sąsiadujących warstw. Obecność dylatacji lokalnych potwierdzają wyniki badań rosyjskich uczonych z wykorzystaniem reperów głębinowych (Klein 1981). W oparciu o przyjęty model budowy górotworu Batkiewicz dowodzi wpływu długości boku pomiarowego na dokładność wyznaczanych wartości odkształceń poziomych. Odkształcenia względne obciążone są tzw. błędem zjawiska. Pod tym pojęciem należy rozumieć nieregularność procesu powstawania wydłużeń względnych związaną z ilością szczelin występujących w obrębie odcinka oraz błędy wynikające z przyjętej metodyki wyznaczania odkształceń. Pomiar krótkich odcinków obciążone są dużym wpływem nieregularności procesu przy małym udziale błędu metodyki. W miarę wydłużania odcinków maleje wpływ nieregularności procesu, a rośnie znaczenie metodyki pomiarów.

### 4. Metody doboru optymalnej długości boku

Duży wpływ na obecnie stosowane długości boków obserwacyjnych miała technologia prowadzenia pomiarów.

Przed pojawieniem się dalmierzy elektromagnetycznych, do precyzyjnych pomiarów odległości wykorzystywano druty inwarowe. Komplet przymiarów składał się z czterech drutów 24 m, jednego 8 m i jednego 4 m (Szymoński 1982). Stąd powszechnie stosowane (dla górnictwa węgla kamiennego) w pracach mierniczych na powierzchni boki pomiarowe o długości 24 m.

Od lat 60. XX wieku przedstawiono wiele metod wyznaczenia optymalnej długości boków. Większość z nich warunkuje długość bazy od głębokości eksploatacji. Poniżej przedstawiono wybrane polskie i zagraniczne metody określenia optymalnej długości odcinków pomiarowych.

Na początku lat 60. ubiegłego stulecia Główny Instytut Górnictwa opublikował wytyczne (GIG 1960) nt. monitorowania powierzchni terenu i zagrożenia budynków na terenach górniczych. Wytyczne dotyczą aktualnych wówczas głębokości eksploatacji (tabela 1). Podobne rozwiązanie w latach 80. zaprezentowali Peng & Geng (1982) dla warunków USA (tabela 1). Oba opracowania zalecają stosowanie takich samych długości boków dla odpowiadających sobie głębokości eksploatacji  $H$ .

W Rosji zaleca się stabilizowanie boków o długości  $15 \div 20$  m (Zemicew 1998) lub  $20 \div 30$  m (Akimow i in. 1970). W krajach stosujących angielską metodę graficzną (NCB 1975) optymalna długość odcinków pomiarowych wynosi od  $0.2H$ . Natomiast w Australii (IESC 2015) odległość między punktami wynosi od  $0.05H$  do  $0.10H$ . Dla warunków niemieckiego Zagłębia Ruhry (Sroka 1990) określa optymalną długość bazy jako funkcję promienia rozproszenia wpływów  $r$  (1).

$$l = 0.1r \tag{1}$$

Podobne rozwiązanie przedstawił pod koniec lat 60. Trojanowski (1969). Wzór (2) jest poprawny dla przeciętnego górotworu na Górnym Śląsku –  $\gamma\beta = 2.0$ .

$$l = \frac{r}{5} \tag{2}$$

W tym samym czasie pojawiły się również propozycje, które oprócz głębokości eksploatacji uwzględniają dodatkowo (3) współczynnik eksploatacji  $a$  oraz grubość eksploatawanego pokładu  $g$  (Siembab 1969) lub (4) grubość nadkładu luźnego  $h$  (Szpetkowski 1969).

$$l = 5 + \frac{0.066}{\sqrt{a \cdot g}} H \tag{3}$$

$$l = \frac{\sqrt{H}}{1 + 0.45 \frac{h}{H}} \tag{4}$$

W późniejszych latach Szpetkowski (Szpetkowski 1998) przedstawił kolejny sposób obliczenia optymalnej długości bazy pomiarowej. Długość bazy jest równa pierwiastkowi głębokości (5).

$$l = \sqrt{H} \tag{5}$$

Tabela 1. Długości boków linii obserwacyjnej wg GIG (GIG 1960) oraz Penga & Genga (1982)  
Table 1. Length of sides of survey lines according to CMI (GIG 1960) and Peng & Geng (1982)

H [m]	Długość l [m]		H [m]
< 50	5	5	< 61
50 ÷ 100	10	9	61 ÷ 107
100 ÷ 200	15	14 ÷ 18	107 ÷ 198
200 ÷ 300	20	21 ÷ 24	198 ÷ 290
300 ÷ 400	25	30	290 ÷ 366
> 400	30	33	> 366
wg GIG (GIG 1960)		wg Peng & Geng (Peng, Geng 1982)	



Zgodnie z poglądami nt. długości boku linii obserwacyjnej Pielok (1982) podaje najmniejszą (6) i największą (7) odległość między punktami dla zadanych warunków eksploatacji. Metoda wymaga posiadania materiału obserwacyjnego z wcześniejszych eksploatacji oraz znajomości współczynnika zmienności dla odkształceń poziomych  $M_{\varepsilon}$ . Wprowadza do równania (7)  $\Delta$ , jako różnicę ekstremalnych wartości odkształceń obserwowanych i prognozowanych dla zadanych warunków.

$$l_{min} = \frac{0.36r^2}{M_{\varepsilon}^2 \cdot a \cdot g} \quad (6)$$

$$l_{max} = 1.37r \cdot \sqrt{-\ln(1 - \Delta)} \quad (7)$$

Obecnie w Polsce zaleca się prowadzenie obserwacji geodezyjnych na bazach pomiarowych o długości 20 ÷ 30 (GIG 2000, Pielok 2005).

Porównanie opisanych metod prezentuje tabela 2. Długości boków obliczono dla średnich głębokości eksploatacji węgla kamiennego w Polsce w poszczególnych latach. Przyjęto następujące wartości zmiennych:  $tg\beta = 2.0$ ,  $a = 0.7$ ,  $g = 2.0$  m,  $h = 50$  m,  $M_{\varepsilon} = 20\%$ ,  $\Delta = 0.05$ .

Odległości punktów pomiarowych linii obserwacyjnej powinno się ustalać indywidualnie dla warunków górniczo-geologicznych ze szczególnym uwzględnieniem głębokości. Przedstawione metody mogą być nieaktualne w warunkach polskich (Akimow i in. 1970, NCB 1975, Peng, Geng 1982, Sroka 1990, Zemicew 1998, IESC 2015) lub dotyczyć nieadekwatnych dziś warunków eksploatacji (GIG 1960, Szpetkowski 1969, Trojanowski 1969, Siembab 1969, Pielok 1982). Pozostałe metody (Szpetkowski 1998, GIG 2000, Pielok 2005) wskazują na poprawność stosowanych obecnie długości baz pomiarowych.

## 5. Współczynnik zmienności i rozproszenie losowe

Batkiewicz (1971) zdefiniował współczynnik zmienności  $M_{\varepsilon}$  jako stosunek odchylenia standardowego do bezwzględnej, ekstremalnej wartości odkształcenia poziomego wyznaczonego z przeciętnego przebiegu tego wskaźnika (8). Standaryzacja

odchylenia standardowego umożliwi porównanie  $\sigma_{\varepsilon}$  dla różnych warunków górniczo-geologicznych.

$$M_{\varepsilon} = \frac{\sigma_{\varepsilon}}{|D_{przec}|} \quad (8)$$

Dalsze badania zależności warunków górniczo-geologicznych na rozproszenie losowe odkształceń poziomych prowadził Popiołek. Wartość współczynnika zmienności  $M_{\varepsilon}$  można wyznaczyć z równania regresji (9) (Popiołek 1976). Wydłużenie przeciętnej długości  $l_0$  bazy pomiarowej zmniejsza wartość  $M_{\varepsilon}$ .

$$M_{\varepsilon} = \frac{5}{\sqrt{l_0}} (0.1358 + 0.00058 \cdot H + 0.00076 \cdot h - 0.0633 \cdot w_{max}) \quad (9)$$

Batkiewicz (1971), Klein (1981) oraz Ostrowski (2006) zalecają, aby wyniki prognozy podawać wraz z ich odchyleniem standardowym. Dodatkowo postulują podawać przeciętne długości baz pomiarowych, w oparciu o które wyznaczono wskaźniki deformacji. Wydana przez GIG Instrukcja nr 12 – *Zasady oceny możliwości prowadzenia (...)* (GIG 2000) wymaga, aby przy sporządzaniu oceny zagrożenia obiektów należy uwzględnić rozproszenie losowe wskaźników deformacji.

## 6. Podsumowanie

Długość boku pomiarowego linii obserwacyjnej ma istotne znaczenie dla wyznaczania odkształceń poziomych i oceny zagrożenia budynków i obiektów budowlanych. Bezwzględne wartości odkształceń poziomych wyznaczane na dłuższych bazach są z reguły mniejsze, niż odkształcenia wyznaczane na krótszych bokach. Stosowanie zbyt długich boków nie pozwala na prawidłową interpretację wyników ze względu na zbyt duży proces uśredniania. Natomiast na krótkich bazach błędy pomiarowe mogą przewyższać wyznaczane przyrosty odkształceń poziomych. Rozwiązaniem może być stosowanie dwóch długości boków. Stałej, dla danego rejonu górniczego np. 24-metrowych, która umożliwi wzajemne porównanie wskaźników deformacji. Zmiennej, w zależności od spodziewanych deformacji oraz lokalnych

**Tabela 2. Optymalna długość boku wg różnych opracowań dla warunków polskich**  
**Table 2. Optimal side length according to different variants for conditions in Poland**

Autor, rok	Rok				
	1960	1980	1990	2000	2015
	długość boku l [m]				
GIG 1960	30	30	30	30	30
Szpetkowski 1969	–	22	23	25	26
Trojanowski 1969	–	51	56	66	73
Siembab 1969	–	33	36	42	46
Akimow i in. 1970	–	20 ÷ 30			
NCB 1975	–	< 102	< 112	< 132	< 146
Pielok 1982	–	–	50 ÷ 87	70 ÷ 102	86 ÷ 113
Peng Geng 1982	–	33	33	33	33
Sroka 1990	–	–	28	33	37
Zemicew 1998	–	–	–	15 ÷ 20	
Szpetkowski 1998	–	–	–	26	27
GIG 2000	–	–	–	20 ÷ 30	
Pielok 2005	–	–	–	–	20 ÷ 25
IESC 2015	–	–	–	–	36 ÷ 73
	400	510	560	660	730
	H [m] przeciętna głębokość eksploatacji w Polsce w roku				

uwarunkowań. Szczególnym nadzorem powinny zostać objęte strefy wzmoczonego ściskania lub rozciągania w sąsiedztwie ważnych obiektów budowlanych. Główny Instytut Górnictwa zaleca monitorowanie powierzchni terenu w oparciu o bazy 20 ÷ 30-metrowe. Natomiast w literaturze często spotyka się metody wyznaczenia długości baz pomiarowych wyrażonych jako funkcje głębokości lub promienia rozproszenia wpływów. Jednak wiele z nich jest już nieadekwatna do współczesnych warunków wydobywania. Pomimo stosowania dalmierzy elektromagnetycznych i lepszego poznania zjawiska najczęściej stosowane są boki o długości 24 m.

## Literatura

- AKIMOW A.G. i in. (АКИМОВ А.Г. и ин.) 1970 – Сдвигение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений. Издательство НЕДРА. Москва.
- BATKIEWICZ W. 1971 – Odchylenia standardowe poeksploatacyjnych deformacji górotworu. PWN – Oddział w Krakowie. Geodezja 10. Kraków.
- BUDRYK W., KNOTHE S. 1956 – Zasady klasyfikacji terenów górnośląskiego okręgu przemysłowego ze względu na możliwość ich zabudowy. Zabezpieczenie techniczne inwestycji budowlanych na terenach górniczych. Komitet dla Spraw Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Komisja Mechaniki Górotworu PAN. Biuletyn nr 4. Warszawa.
- GIG Główny Instytut Górnictwa 1960 – Wytoczne dla prowadzenia obserwacji ruchów terenu i odkształceń obiektów pod wpływem eksploatacji górniczej. Przepisy z zakresu miernictwa górniczego, t.3, Katowice.
- GIG Główny Instytut Górnictwa 2000 – Zasady oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych. Seria: Instrukcje nr 12. Katowice.
- HEJMANOWSKI R., KWINTA A. 2007 – Odkształcenia poziome a długość odcinka pomiarowego. „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej”. Seria: Górnictwo, z. 278 (1752), s. 131-140.
- IESC 2015 – Monitoring and management of subsidence induced by longwall coal mining activity. Australian Government Department of Environment and Energy. Canberra.
- KLEIN G. 1973 - Długość bazy pomiarowej a wielkość fluktuacji odkształceń w ośrodku syplikim, AGH, rozprawa doktorska (niepublikowana). Kraków.
- KLEIN G. 1975 – Długość bazy pomiarowej a wielkość fluktuacji odkształceń w ośrodku syplikim. Zeszyty Problemowe Górnictwa, z. 1, t. 13. Warszawa.
- KLEIN G. 1981 – Określenie deformacji w górotworze z uwzględnieniem ich charakteru losowego, „Archiwum Górnictwa”, z. 4, t. 26.
- KLEIN G. 1984 – Uwagi o wpływie długości bazy pomiarowej na estymatory wariancji fluktuacji odkształceń. „Archiwum Górnictwa” z. 1, t. 29, s. 57-64.
- KNOTHE S. 1984 – Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej. Wyd. Śląsk. Katowice.
- MILEWSKI M. 1969 – O interpretacji wyników badań prowadzonych metodami geodezyjnymi na terenach pozostających pod wpływem eksploatacji górniczej. Materiały I Krajowego Sympozjum na temat: Ochrona powierzchni przed uszkodzeniami górniczymi. Katowice.
- MILEWSKI M. 1975 – Pomiar deformacji w rejonach eksploatacji górniczej prowadzonych w filarach ochronnych. Materiały Konferencji Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa. Katowice.
- NCB National Coal Board 1975 – Subsidence Engineer's Handbook. Mining Department. London.
- OSTROWSKI J. 1982 – Pogórniczne przemieszczenia powierzchni terenu w świetle liniowych modeli deformacji górotworu. AGH, rozprawa doktorska (niepublikowana). Kraków.
- OSTROWSKI J. i in. 2001 – Ochrona środowiska na terenach górniczych. Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Kraków.
- OSTROWSKI J. 2006 – Deformacje powierzchni a zagrożenie uszkodzeniami budynków na terenach górniczych w ujęciu probabilistycznym. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH. Kraków.
- PENG S.S., GENG D.Y. 1982 – Methods of Predicting the Subsidence Factors, Angle of Draw and Angle of Critical Deformation. Proceedings State-of-the-Art of Ground Control in Longwall Mining and Mining Subsidence. SME-AIME. Littleton.
- PIELOK J. 1982 – Über die zeitliche Wiederholung von Deformationsmessungen im Bergsenkungsgebiet und die Auswahl der Basisgrößen. Das Markscheidewesen. Nr 3, t. 89, s. 105-107.
- PIELOK J. 2005 – Wyznaczanie powierzchniowego tensora odkształceń na terenach górniczych w oparciu o pomiary geodezyjne. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH. Kraków.
- POPIOLEK E. 1976 – Rozproszenie statystyczne odkształceń poziomych terenu w świetle geodezyjnych obserwacji skutków eksploatacji górniczej. „Zeszyty Naukowe AGH”. Seria: „Geodezja” z. 44.
- POPIOLEK E., OSTROWSKI J. 1981 – Próba ustalenia głównych przyczyn rozbieżności prognozowanych obserwacji poeksploatacyjnych wskaźników deformacji. „Ochrona Terenów Górniczych” z. 58.
- SIEMBAB J. 1969 – Niektóre problemy racjonalnego zakładania linii obserwacyjnych dla badania wpływu eksploatacji górniczej na powierzchnię. Materiały I Krajowego Sympozjum na temat: Ochrona powierzchni przed uszkodzeniami górniczymi. Katowice.
- SOPATA P., WÓJCIK A., MROCHEN D. 2016 – Zmiany długości w obrębie pojedynczego boku linii obserwacyjnej. Miernictwo Górnicze i Ochrona Terenów Górniczych w obecnych warunkach wydobywania złóż surowców mineralnych w Polsce. Wyd. AGH, s. 165-171.
- SROKAA. 1990 – Richtlinien für Anlage von Messlinien und zur Bestimmung des Zeitabstandes zwischen der Messepochen bei Senkungs und Längenmessungen im Ruhrrevier. Interne Ausarbeitung der Bergbau Niederhein AG. Duisburg.
- SZPETKOWSKI S. 1969 – Określenie długości boków linii obserwacyjnych dla badań deformacji powierzchni. „Ochrona Terenów Górniczych” nr 9.
- SZPETKOWSKI S. 1972 – Kształtowanie się wartości poziomych odkształceń właściwych na podstawie obserwacji z terenu kilku zagłębi górniczych. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej. Seria: „Górnictwo” nr 11.
- SZPETKOWSKI S. 1998 – Pomiar deformacji na terenach górniczych. Wyd. Śląsk. Katowice.
- SZYMOŃSKI J. 1982 – Instrumentoznawstwo geodezyjne. Część 1. Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych. Warszawa.
- TROJANOWSKI K. 1969 – Ruchy powierzchni terenów górniczych w świetle częstotliwości ich obserwacji. „Rudy i Metale Nieżelazne” nr 10.
- ZEMICEV V.N. i in. (ЗЕМИЦЕВ В.Н. и ин.) 1998 – Правила охраны сооружений и природных объектов. От вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. ВНИМИ. С.-Петербург.
- ZYCH J. 1991 – Wpływ odległości punktów obserwacyjnych na błąd aproksymacji pomierzonych wskaźników deformacji. Zeszyty Naukowe AGH. Seria: „Sozologia i Sozotechnika” z. 43.
- ZYCH J. 1993 – Wpływ odległości punktów w liniach obserwacyjnych na wielkość i rozkład mierzonych wskaźników deformacji. Materiały Konferencyjne: II Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, s. 177-186.
- ZYCH J. 1998 – Wpływ odległości punktów w liniach obserwacyjnych na wartość obliczanych z pomiarów odkształceń poziomych. „Archiwum Górnictwa”. z. 2, t. 43, s. 315-335.
- ZYCH J. 1999 – Poziome odkształcenia terenu, ich prognoza i pomiar. Prace Naukowe GIG. Seria: Konferencje. Nr 30. Katowice.
- ZYCH J. 2010 – Wpływ odległości punktów w liniach obserwacyjnych na wartość obliczanych z pomiarów odkształceń poziomych. „Górnictwo i Geologia” z. 2, t. 5, s. 221-232.

Artykuł wpłynął do redakcji – październik 2017  
Artykuł akceptowano do druku 10.11.2017