



Piotr STRZAŁKOWSKI¹

Przykład określenia wartości wskaźników deformacji oraz prędkości i przyśpieszeń drgań podłoża w miejscu posadowienia budynku

Streszczenie: Prowadzona od ponad 200 lat eksploatacja górnicza na Górnym Śląsku oddziałuje negatywnie na obiekty budowlane. Zjawisko to we wszystkich przypadkach związane jest z występowaniem deformacji ciągłych powierzchni, a w pewnych przypadkach również deformacji nieciągłych (najczęściej zapadlisk), zmian stosunków wodnych oraz wstrząsów górotworu. W niniejszej pracy przedstawiono ocenę wpływu dokonanej eksploatacji górnicznej na budynek zlokalizowany w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW). Na budynek oddziaływały deformacje ciągłe oraz wstrząsy górotworu. W pracy dokonano obliczeń wartości wskaźników deformacji za pomocą teorii Budryka-Knothe'go, które częściowo zweryfikowano w oparciu o wyniki pomiarów geodezyjnych. Dokonano również analizy wartości prędkości i przyśpieszeń drgań podłoża wywołanych wstrząsami pochodzenia górniczego. Stwierdzono bardzo dużą zgodność wyników uzyskanych na podstawie obliczeń z wartościami stwierdzonymi pomiarami maksymalnej amplitudy składowej poziomej przyśpieszenia drgań (PGA) i maksymalnej amplitudy składowej poziomej prędkości drgań (PGV). W przypadku wstrząsów o największych energiach w hipocentrum zaproponowano również wzór empiryczny pozwalający na obliczanie wartości PGA w danych warunkach geologiczno-górnicznych. Zakres stosowania zaprezentowanego wzoru jest oczywiście ograniczony jedynie do rozpatrywanych warunków. Przedstawione wnioski wskazują na to, że obecnie dysponujemy nie tylko metodami pozwalającymi na obliczanie z wystarczającą dla praktyki dokładnością wartości wskaźników deformacji, lecz również wartości PGV i PGA.

Słowa kluczowe: eksploatacja górnicza, deformacje ciągłe, wstrząsy górotworu

An example of determining the values of deformation rates, velocity and the acceleration of basement vibrations at a building's location

Abstract: Coal mining activities carried out for 200 years in Upper Silesia have had a negative effect on buildings. This impact is in all cases related with continuous deformations of the surface and in certain cases with discontinuous

¹ Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Gliwice; e-mail: Piotr.Strzalkowski@polsl.pl

deformations (mostly cave-ins), changes in water relations and mining tremors. The paper presents an evaluation of the impact of a mining activity on a building situated in the Upper Silesian Coal Basin. The building was affected by continuous deformations and mining tremors. Calculations were made of the values of deformation rates by means of Budryk–Knothe's theory, which were partly verified on the basis of the results from geodetic measurements. An analysis of the velocity and acceleration of basement vibrations caused by mining-induced tremors was also conducted. The conclusions included a high consistency between the results obtained on the basis of calculations and the values obtained by means of PGA and PGV measurements. In the case of tremors with the highest energy in the hipocentrum, there an empirical formula allowing for calculation of PGA value in given geological and mining conditions was also proposed. The application range of the formula mentioned above is obviously limited only to the conditions in consideration.

The presented conclusions indicate that at present, sufficiently precise methods, allowing for calculations for practical purposes, not only of deformation indices' values, but also of PGV and PGA values, presently exist.

Keywords: mining extraction, continuous deformations, mining tremors

Wprowadzenie

Oddziaływanie eksploatacji górniczej na obiekty budowlane obejmuje wiele czynników, wśród których najważniejszymi w warunkach GZW są: deformacje ciągłe i nieciągłe, wstrząsy górotworu i zmiany warunków hydrogeologicznych (Chudek 2010; Strzałkowski 2015). Deformacje ciągłe występują zawsze w zasięgu oddziaływania wybieranych pól, stąd są najbardziej rozpowszechnioną formą wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię. Deformacje nieciągłe dzieli się na typu powierzchniowego i liniowego. Przy czym deformacje powierzchniowe obserwowane są najczęściej w postaci zapadlisk. Związane są z utratą stateczności płytkich pustek i stref rozluźnień zlokalizowanych w górotworze (Strzałkowski 2015). Pustki te w postaci dawnych, niezlikwidowanych wyrobisk występują często w warunkach GZW. W ostatnich latach obserwuje się coraz więcej deformacji liniowych, których pochodzenie związane jest pokrywającymi się krawędziami eksploatacji w kilku pokładach, zwłaszcza w rejonach zaburzeń tektonicznych (Strzałkowski i Ścigała 2017). Wreszcie istotnym czynnikiem związanym z niekorzystnym wpływem robót górniczych na powierzchnię i jej zabudowę są wstrząsy górotworu. Korzystną tendencją jest spadek aktywności sejsmicznej GZW (Stec 2007) i związana z nią mniejsza liczba uszkodzeń budowli na terenach górniczych. Prowadzone w ostatnich latach badania pozwoliły na zdobycie dużej wiedzy na temat wpływu przyspieszeń i prędkości drgań na uszkodzenia obiektów. Stale doskonalone i modyfikowane Górnicze Skale Intensywności (GSI) pozwoliły na precyzyjniejsze dokonywanie ocen szkodliwości wstrząsów pochodzenia górniczego (Dubiński i Mutke 2007; Mutke red. 2018). Z drugiej strony, obliczając wartości przyspieszeń i prędkości drgań w rozpatrywanym punkcie, można otrzymać wyniki odbiegające od rzeczywistości z uwagi na oddziaływanie uskoków tektonicznych czy też pewną losowość zjawisk sejsmicznych (Pilecka i Szermer 2014; Pilecka i in 2017).

Należy również podkreślić, że często mamy do czynienia z jednoczesnym oddziaływaniem na obiekty kilku czynników. Ocena ich łącznego wpływu na uszkodzenia obiektów jest trudnym zadaniem stawianym przed specjalistami z zakresu budownictwa na terenach górniczych. Artykuł przedstawia studium przypadku jednoczesnego oddziaływania deformacji ciągłych i wstrząsów górotworu na budynek. Budynek ten został wzniesiony w technologii



Rys. 1. Widok ogólny budynku (fot. P. Strzałkowski)

Fig. 1. A general view of the building (P. Strzałkowski's photo)

wielkiej płyty w 1988 r. jako mieszkalny blok czteropiętrowy (rys. 1). Składa się on z dwóch segmentów oddzielonych od siebie szczeliną dylatacyjną. Obiekt posiada 3 kategorię odporności na wpływy górnicze w postaci deformacji ciągłych.

1. Analiza warunków geologiczno-górnich

1.1. Litologia i stratygrafia

W rejonie badań górotwór został zbudowany z warstw nadkładu (czwartorzęd i neogen) oraz karbonu produktywnego. Nadkład tworzą warstwy czwartorzędu wykształcone w postaci glin, ilów i piasków. Miąższość tych utworów wynosi około 10–20 m. Poniżej zalega neogen wykształcony w postaci wapieni oraz pstrych piaskowców. Karbon wykształcony został w postaci warstw rudzkich, siodłowych i porębskich. Warstwy rudzkie do pokładu 406 tworzą głównie: ilowce, mułowce i piaskowce, przy czym wyraźna jest przewaga ilowców i mułowców nad piaskowcami. Poniżej pokładu 406 występuje natomiast przewaga piaskowców nad mułowcami i ilowcami. Występują tu grube ławice piaskowca o miąższości do 12 m. Warstwy siodłowe charakteryzują się dużą zasobnością w węgiel. Skalami towarzyszącymi pokładom węgla są głównie piaskowce i zlepieńce. Warstwy porębskie zbudowane są z piaskowców, ilowców i mułowców.

TABELA 1. Podstawowe dane o dokonanej eksploatacji górniczej w rejonie budynku
 TABLE 1. The basic data of mining exploitation performed in the area of the building

Pokład	Ściana	Początek eksploatacji	Koniec eksploatacji	Grubość pokładu [m]	Kąt upadu [deg]	Głębokość [m]	Odległość [km]	Kierunek	Kąt odległościowy [deg]	a	System
501	101	01.10.1997	30.04.1999	2,2	4	715	0,41	NW	60	0,85	z
503	35	15.06.1995	30.06.1996	2,7	4	690	0,07	E	84	0,85	z
503	351	01.12.1988	31.03.1989	3,3	5	740	0,52	NW	55	0,85	z
503	355	01.04.1994	30.09.1994	3,0	5	735	0,41	NW	61	0,85	z
504	45	01.10.1993	15.01.1995	2,7	6	730	0,10	E	82	0,85	z
506	62	01.08.1990	30.09.1991	1,6	4	780	0,33	E	67	0,85	z
506	63	01.01.1993	30.03.1994	1,7	4	765	0,20	NE	75	0,85	z
5091	36	01.04.1988	31.12.1988	3,5	5	875	0,48	NW	61	0,85	z
5091	99	15.10.1997	31.12.1998	2,2	4	810	0,51	N	58	0,85	z
5092	99a	01.03.2008	31.12.2008	2,2	5	810	0,54	N	56	0,75	zd
510	20	01.01.1996	31.12.1996	2,0	5	830	0,59	NE	55	0,85	z
510	21	01.01.1995	01.03.1995	4,0	5	835	0,47	N	61	0,85	z

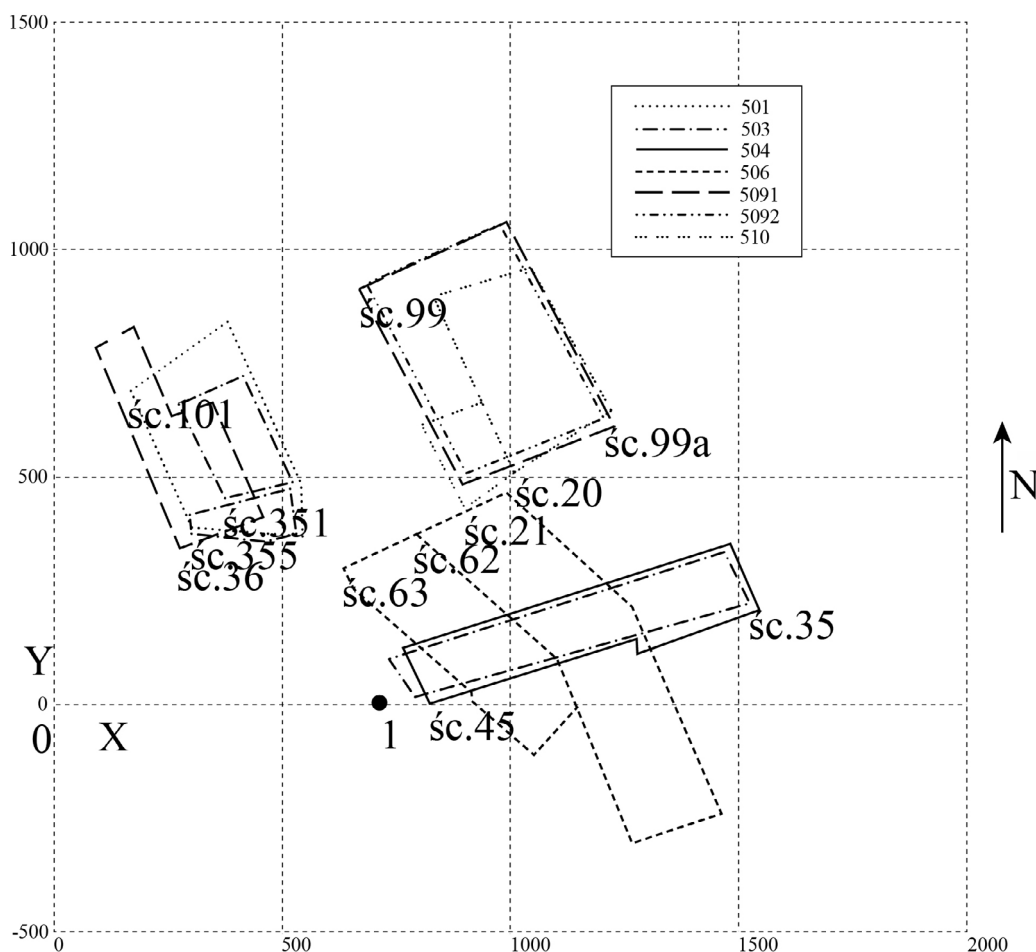
Objaśnienia: z – eksploatacja z zawalem stropu; zd – eksploatacja z zawalem doszczelnianym.

1.2. Tektonika

W rejonie na wschód od obiektu budowlanego przebiega w przybliżeniu południkowo-wschodnia uskoku G na stopnie karbonu. Uskok zrzuca warstwy w kierunku zachodnim na wysokość od 1 do 55 m.

1.3. Dokonana eksploatacja górnicza

Podstawowe dane o dokonanej od 1988 r. eksploatacji górniczej zestawiono w tabeli 1, natomiast lokalizacja obiektu względem dokonanej eksploatacji pokazana została na rysunku 2. Na rysunku tym obiekt oznaczono jako nr 1.



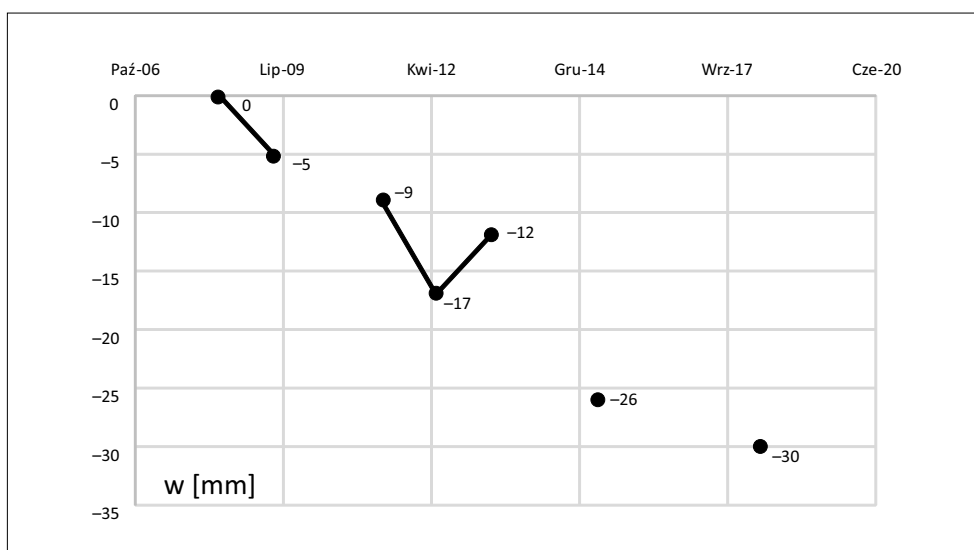
Rys. 2. Schemat lokalizacji obiektu względem wybranych ścian. Siatka zwymiarowana w m

Fig. 2. The scheme of the building's location in relation to the extracted longwalls.
Dimension of the grid in meters

2. Wpływ deformacji ciągłego terenu górniczego na obiekt budowlany

2.1. Wpływ eksploatacji na obiekt w świetle wyników pomiarów

Na budynku zastabilizowano reper pomiarowy. Wyniki pomiarów geodezyjnych prowadzonych na tym reperze począwszy od 2008 r. pokazano w formie graficznej na rysunku 3. Pomiary te prowadzone były w odstępach rocznych. Jak widać z rysunku, przyrosty obniżenia repera w kolejnych pomiarach oscylowały wokół wartości około 10 mm. Największy przyrost obniżenia wystąpił pomiędzy majem 2013 r. i majem 2015 r. i wyniósł 14 mm, co odpowiada przyrostowi 7 mm/rok. Pozwala to uznać, że teren w miejscu obiektu budowlanego nie podlegał obniżeniom po 2008 r.



Rys. 3. Obniżenia w czasie repera zastabilizowanego na budynku – w

Fig. 3. Mining subsidence over the time – w of the benchmark (observing point) anchored to the building

2.2. Wpływ eksploatacji na obiekt w świetle wyników obliczeń

Obliczenia wartości wskaźników deformacji w miejscu posadowienia obiektu wykonano za pomocą teorii Budryka-Knothe (Knothe 1984), przy wykorzystaniu programu DEFK-Win (Ścigała 2008). Obliczenia wykonano dwukrotnie: z uwzględnieniem nachylenia pokładów i bez jego uwzględniania. W obu przypadkach przyjęto następujące wartości parametrów teorii na podstawie doświadczeń Kopalni:

- współczynnik kierowania stropem: $a = 0,85$ dla eksploatacji z zawalem stropu i $a = 0,75$ dla eksploatacji z doszczelnianym zawalem stropu;
- tangens kąta zasięgu wpływów głównych $\operatorname{tg}\beta = 2$;
- współczynnik proporcjonalności występujący w związku Awierszyna (Knothe 1984) $B = 0,32 r$;
- obrzeże eksploatacyjne $d = 0$.

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabelach 2 i 3. W tabeli 2 podano obliczone wartości wskaźników deformacji z uwzględnieniem nachylenia pokładów, a w tabeli 3 bez jego uwzględniania. W obu tabelach podano wartości następujących wskaźników deformacji:

- W – obniżenia,
- T_{\max} – nachylenia maksymalne,
- E_{\max} – odkształcenia poziome maksymalne,
- K_{\max} – krzywizny pionowe maksymalne.

Wartości obliczonych wskaźników deformacji podano oddzielnie dla wszystkich opisanych parcel eksploatacyjnych oraz sumarycznie dla całości rozpatrywanej eksploatacji górniczej.

Jak widać, sumaryczne wpływy dokonanej eksploatacji scharakteryzować można następująco. Obniżenia wyniosły około 0,43 m i 0,63 m, nachylenia maksymalne 4,47 i 5,58 mm/m (II i III kategoria), odkształcenia poziome 3,56 i 3,28 mm/m (III kategoria).

TABELA 2. Wartości wskaźników deformacji obliczone z uwzględnieniem nachylenia pokładów

TABLE 2. The values of deformation rates calculated with taking the inclination of coal seams into account

Pokład	Parcela	W [mm]	T_{\max} [mm/m]	E_{\max} [mm/m]	K_{\max} [1/km]
501	śc. 101	-0,8	0,02	0,05	0
503	śc. 35	-146,1	1,42	0,86	-0,008
503	śc. 351	0	0	0	0
503	śc. 355	-0,6	0,01	0,04	0
504	śc. 45	-133,6	1,4	1,11	-0,01
506	śc. 62	-11,9	0,20	0,38	-0,003
506	śc. 63	-136,3	1,45	1,23	-0,01
5091	śc. 36	-1,8	0,03	0,08	-0,001
5091	śc. 99	-0,2	0	0,01	0
5092	śc. 99a	-0,1	0	0	0
510	śc. 20	0	0	0	0
510	śc. 21	-0,7	0,01	0,04	0
Całość	Suma	-432,1	4,47	3,56	-0,03

TABELA 3. Wartości wskaźników deformacji obliczone bez uwzględniania nachylenia pokładów

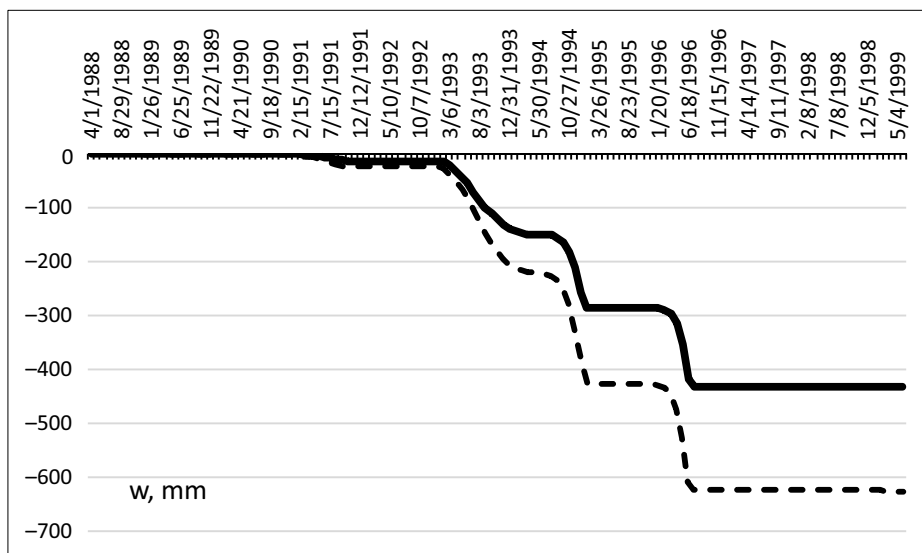
TABLE 3. The values of deformation rates calculated without taking the inclination of coal seams into account

Pokład	Parcela	W [mm]	T _{max} [mm/m]	E _{max} [mm/m]	K _{max} [1/km]
501	śc. 101	-0,9	0,02	0,05	0
503	śc. 35	-197	1,66	-1,09	0,01
503	śc. 351	0	0	0	0
503	śc. 355	-1,4	0,03	0,07	-0,001
504	śc. 45	-204	1,79	-1,04	0,009
506	śc. 62	-21,6	0,34	0,55	-0,004
506	śc. 63	-196,1	1,80	1,09	-0,009
5091	śc. 36	-2,4	0,04	0,10	-0,001
5091	śc. 99	-0,3	0,01	0,02	0
5092	śc. 99a	-0,1	0	0,01	0
510	śc. 20	-0,1	0	0	0
510	śc. 21	-1,3	0,03	0,06	0
Całość	Suma	-625,2	5,58	3,28	-0,028

Ostatnio prowadzona w 2008 r. w rejonie obiektu eksploatacja ściany 99a w pokładzie 509/2 wg obu wariantów obliczeń wywołała obniżenia wynoszące 0,1 mm. Zatem obiekt znajdował się poza wpływem tej eksploatacji, co potwierdzają również wyniki pomiarów geodezyjnych.

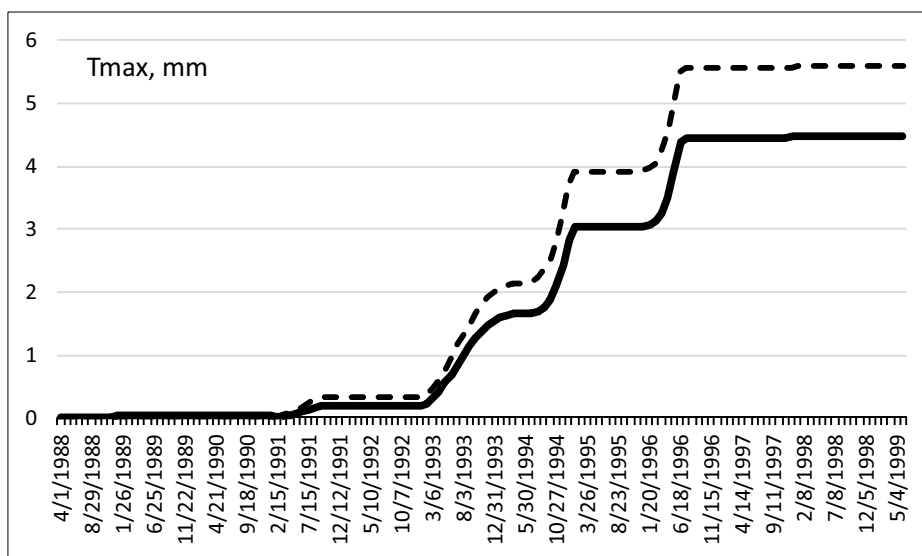
Na rysunkach 4–6 przedstawiono przebiegi: obniżeń, nachyleń maksymalnych i odkształceń poziomych maksymalnych w czasie przy założeniu natychmiastowego ujawniania się wpływów eksploatacji z uwzględnieniem i bez uwzględniania nachylenia pokładów. Przebieg wskaźników deformacji obejmował okres do kwietnia 1999 r. z uwagi na to, że eksploatacja prowadzona po tym czasie nie oddziaływała na obiekt. Z rysunków widoczne jest zresztą, że eksploatacja prowadzona po 1996 r. już praktycznie nie oddziaływała na budynek.

Zatem kategoria terenu górniczego (III) odpowiada kategorii odporności obiektu (3), co wskazuje na to, że w budynku nie mogły wystąpić uszkodzenia konstrukcyjne.



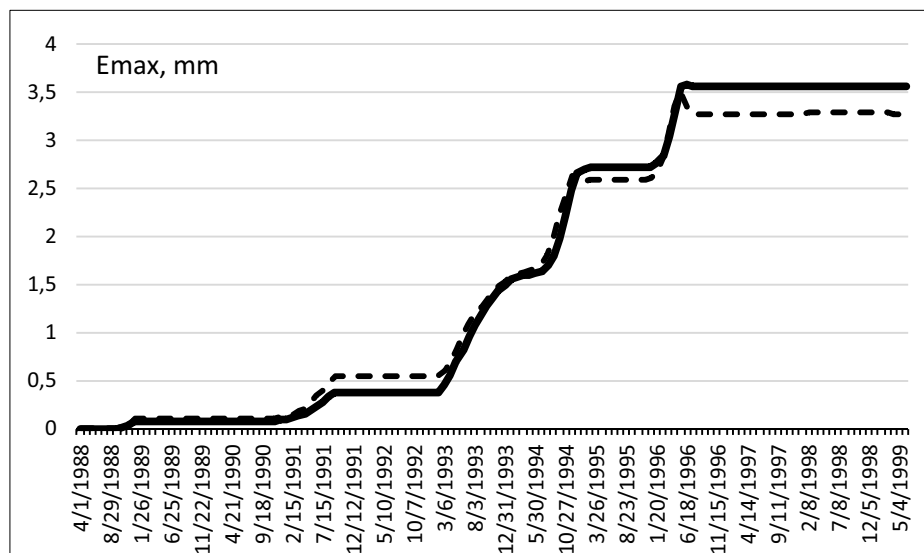
Rys. 4. Przebieg obniżen w czasie; linia ciągła – z uwzględnieniem nachylenia pokładów, linia przerywana – bez uwzględnienia nachylenia pokładów

Fig. 4. The course of mining subsidence over time; solid line – calculated with taking the inclination of coal seams into account, the dotted line – without taking the inclination of coal seams into account



Rys. 5. Przebieg nachyleń maksymalnych w czasie; linia ciągła – z uwzględnieniem nachylenia pokładów, linia przerywana – bez uwzględnienia nachylenia pokładów

Fig. 5. The course of maximum inclinations over time; solid line – calculated with taking the inclination of coal seams into account, the dotted line – without taking the inclination of coal seams into account



Rys. 6. Przebieg odkształceń poziomych maksymalnych w czasie
linia ciągła – z uwzględnieniem nachylenia pokładów,
linia przerywana – bez uwzględnienia nachylenia pokładów

Fig. 6. The course of maximum horizontal deformations over time
solid line – calculated with taking the inclination of coal seams into account,
the dotted line – without taking the inclination of coal seams into account

3. Wpływ wstrząsów górotworu na obiekt

Ocena wpływu wstrząsów górotworu na obiekty wymaga określenia wartości składowych poziomych przyspieszeń i prędkości drgań.

Wartości maksymalne składowej poziomej przyspieszeń drgań PGA można wyliczyć korzystając ze wzoru (Mutke 1991):

$$PGA = [1,33 \cdot 10^{-3} \cdot (\log E)^{2,66} - 0,089] \cdot [1,53 \cdot R^{0,155} \cdot \exp(-0,65 \cdot R) + 0,014] \quad (1)$$

Wzór (1) słuszny jest dla energii do 10^9 J.

gdzie:

PGA – maksymalna amplituda składowej poziomej przyspieszenia drgań, PGA [m/s^2],

$R = \sqrt{D^2 + 0,5^2}$,

D – odległość epicentralna [km],

E – energia sejsmiczna wstrząsu [J].

Maksymalną amplitudę składowej poziomej prędkości drgań PGV obliczyć można ze wzoru (Mutke 1991):

$$PGV = [1,48 \cdot 10^{-3} \cdot (\log E)^{1,23} - 0,011] \cdot [1,55 \cdot R^{0,135} \cdot \exp(-0,77 \cdot R) + 0,004] \quad (2)$$

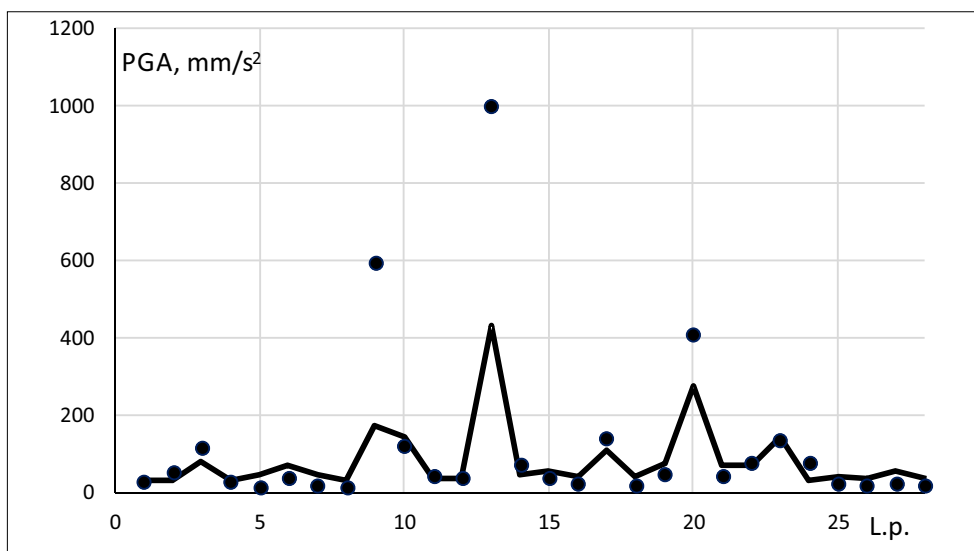
Wzór (2) słuszny jest dla energii od $2 \cdot 10^5$ J do 10^9 J.

gdzie:

PGV – maksymalną amplitudę składowej poziomej prędkości drgań [m/s].

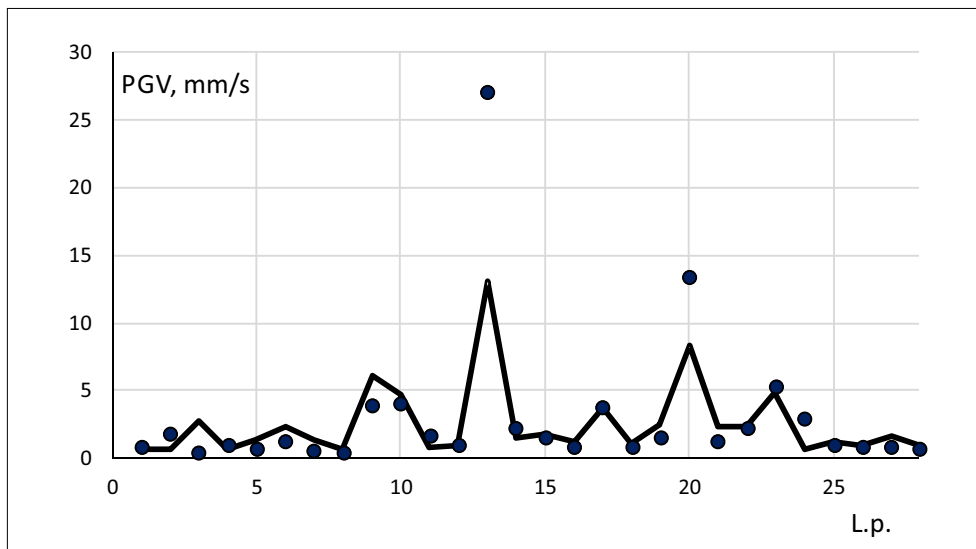
Wartości obliczone wzorami (1) i (2) w warunkach GZW odpowiadają skałom karbońskim. Aby otrzymać wartość odpowiadającą powierzchni, wyniki otrzymane ze wzorów (1) i (2) należy pomnożyć przez wartość tzw. współczynnika amplifikacji, którą można przyjąć dla obszaru badań $k = 1,6$ w oparciu o doświadczenia Kopalni.

Stacje pomiarowe zarejestrowały w czasie od 2016 r. ogółem 29 wstrząsów, których energia była większa lub równa $2 \cdot 10^5$ J. Zmierzone wartości PGA i PGV oraz czasy trwania intensywnej fazy drgań, które były w przybliżeniu równe dla prędkości i przyspieszeń drgań. W pierwszej kolejności obliczono wartości PGA i PGV korzystając ze wzorów (1) i (2). Wyniki obliczeń zilustrowano na rysunkach 7 i 8. Jak widać z rysunków, zgodność wyników obliczeń z wynikami pomiarów była bardzo duża. W przypadku PGA słabsza zgodność wystąpiła w przypadku wstrząsów o numerach: 9 i 13. Przy tym wstrząs nr 13 charakteryzował się energią $3 \cdot 10^8$ J. Dla wstrząsów o takich energiach zaleca się przeprowadzenie oddzielnych analiz (Kwiatek 1998). W przypadku PGV słabsza zgodność wystąpiła jedynie w przypadku wstrząsu o numerze 13. Na pewne różnice pomiędzy wynikami obliczeń



Rys. 7. Wartości PGA stwierdzone pomiarami (znacznik) i obliczone (linia)

Fig. 7. The values of PGA obtained from measurements (marker) and calculated (line)



Rys. 8. Wartości PGV stwierdzone pomiarami (znacznik) i obliczone (linia)

Fig. 8. The values of PGV obtained from measurements (marker) and calculated (line)

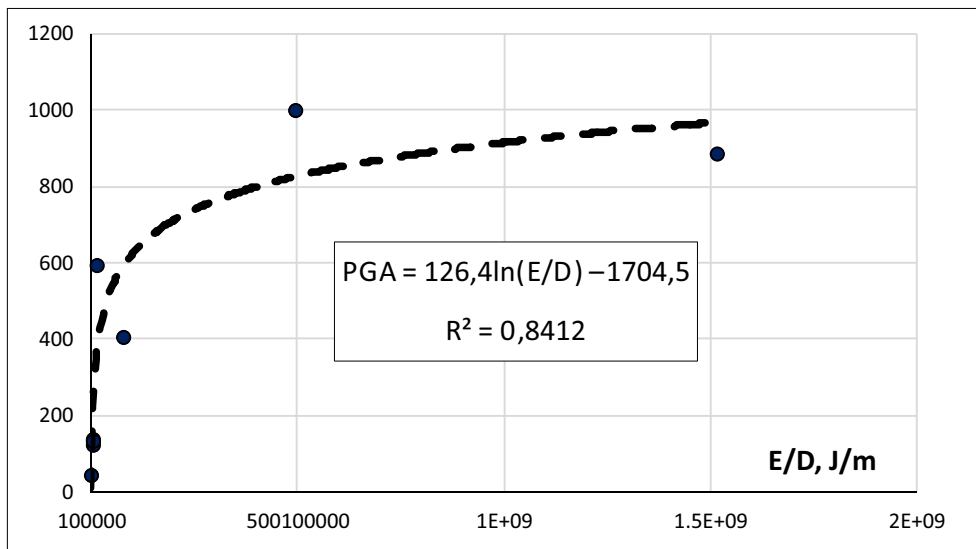
i pomiarów wpływ mogło mieć również zaburzenie tektoniczne – uskok G (Pilecka i Szermer-Zaucha 2014; Pilecka i in. 2017). Należy zatem podkreślić, że wzory (1) i (2) pozwoliły na uzyskanie zgodności z wynikami pomiarów w bardzo dużym stopniu. Wstrząs o energii $2 \cdot 10^9$ J (nr 29) nie może być analizowany przy wykorzystaniu wzorów (1) i (2) z uwagi na to, że wartość energii wykraczała poza zakres stosowania wzorów.

W tabeli 4 zestawiono wartości PGA i PGV uzyskane z pomiarów i obliczone wzorami (1) i (2) dla wstrząsów o największych energiach. Podjęto również próbę podania zależności empirycznej wiążącej wartości PGA ze stosunkiem energii wstrząsu – E [J] do odległości od stacji pomiarowej – D [km]. Wyniki obliczeń pokazano na rysunku 9, na którym przedstawiono dane otrzymane z pomiarów – znacznik i wykres funkcji aproksymującej wyniki pomiarów. Podano również równanie funkcji i wartość kwadratu współczynnika korelacji ($R^2 = 0,841$). Tym sposobem uzyskano zależność w postaci:

$$PGA = 126,4 \ln(E/D) - 1704,5 \text{ [mm/s}^2\text{]} \quad (3)$$

We wzorze (3) przyjęto oznaczenia jak we wzorze (1), zachowując te same jednostki fizyczne. Wzór jest słuszny dla przedziału energii od $1 \cdot 10^6$ J do $2 \cdot 10^9$ J i odległości D z przedziału od 0,37 do 1,32 km. W tabeli 4 podano również wartości PGA obliczone według wzoru (3).

W następnej kolejności dokonano obliczeń wartości PGA i PGV wywołanych wstrząsami o energii większej od 10^6 J w miejscu lokalizacji obiektu. Wyniki obliczeń podano w tabeli 5. W tabeli podano również czas trwania intensywnej fazy drgań – t , określony na



Rys. 9. Wyniki pomiarów PGA dla wstrząsów o największych wartościach energii i aproksymująca je funkcja

Fig. 9. The results of measurements of PGA for tremors with the highest energy values and the function approximating them

TABELA 4. Porównanie wartości PGA i PGV obliczonych z uzyskanymi z pomiarów

TABLE 4. Comparison of the calculated values of PGA and PGV with those obtained from measurements

Nr wstrząsu	E _s [J]	Wyniki pomiarów		Wyniki obliczeń wzorami (1) i (2)		Wyniki obliczeń wzorem (3)
		PGA, mm/s ²	PGV, mm/s	PGA, mm/s ²	PGV mm/s	PGA, mm/s ²
9	4 · 10 ⁶	594,0	3,9	173,4	6,2	344,4
10	5 · 10 ⁶	124,4	4,1	142,3	4,7	235,3
13	3 · 10 ⁸	1001,0	27,1	434,6	13,1	825,2
17	2 · 10 ⁶	140,0	3,8	111,9	3,8	136,8
20	9 · 10 ⁷	409,5	13,5	278,0	8,3	594,0
21	1 · 10 ⁶	44,8	1,3	72,3	2,3	10,8
23	3 · 10 ⁶	137,3	5,3	142,4	4,9	225,7
29	2 · 10 ⁹	889,0	32,3	–	–	967,6

TABELA 5. Wartości PGA i PGV obliczone w miejscu lokalizacji obiektu

TABLE 5. The values of PGA and PGV calculated in the area of the building's location

Nr wstrząsu	Wyniki według wzorów (1) i (2)		Wyniki według wzoru (3)	t [s]
	PGA [mm/s ²]	PGV [mm/s ²]	PGA [mm/s ²]	
9	161,6	5,6	280,1	1,69
13	199,0	5,2	662,2	1,02
20	272,9	8,1	589,8	1,26
29	–	–	981,0	1,30

stanowiskach pomiarowych. Czas ten jest wyznaczany z całki sumy kwadratów składowych poziomych prędkości drgań i amplitudy przyspieszeń drgań (do 10 Hz). Przedział czasu wyznaczają wartości 5 i 95% tej całki (Mutke 2018).

Jak widać, wartości obliczone według wzoru (3) pozwoliły na uzyskanie dużo większych wartości PGA niż według wzoru (1). Wstrząsy o numerach: 9, 13, 20, 29 można zakwalifikować według skali GSIS do następujących stopni:

- wstrząs nr 9 – wyniki: według wzoru (1) – stopień I, według wzoru (2) – stopień I, według wzoru (3) – stopień I;
- wstrząs nr 13 – wyniki: według wzoru (1) – stopień I, według wzoru (2) – stopień I, według wzoru (3) – stopień II;
- wstrząs nr 20 – wyniki: według wzoru (1) – stopień I, według wzoru (2) – stopień I, według wzoru (3) – stopień I;
- wstrząs nr 29 – wyniki według wzoru (3) stopień III.

Przedstawione w tabeli 5 wyniki obliczeń warto jest porównać z wynikami pomiarów. Rozważmy przykładowo wyniki obliczeń dla wstrząsu o największej energii – 2 · 10⁹ J, o nr 29. Obiekt znajdował się w odległości 1186 m od epicentrum wstrząsu. Stacja pomiarowa odległa o 1318 m od epicentrum zarejestrowała PGA = 0,889 m/s² (II stopień) i PGV = 0,0323 m/s (II stopień). Czas trwania intensywnej fazy drgań wyniósł 1,3 s. Oczywistym jest, że jeśli obiekt znajduje się w porównywalnej odległości od ogniska wstrząsu, to wartości PGA i PGV były również porównywalne. Biorąc pod uwagę wyniki pomiarów należy się spodziewać, że wstrząs nr 29 w miejscu posadowienia obiektu wywołał PGV i PGA zaliczane do II stopnia. Wstrząsy zaliczane do II stopnia mogą powodować intensyfikację istniejących uszkodzeń.

Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono przykład analizy oddziaływania eksploatacji górniczej na wybrany obiekt budowlany. Można zatem uznać, że jest to swego rodzaju studium przypadku, pozwalające jednak na wyciągnięcie pewnych wniosków natury ogólnej. Przedmiotem

analiz był bowiem rozkład wartości PGA i PGV wstrząsów wysokoenergetycznych. Przeprowadzone analizy pozwalają na sformułowanie następujących stwierdzeń:

1. W warunkach GZW często na obiekty budowlane oddziałują łącznie deformacje ciągłe oraz wstrząsy górotworu. Ocena wpływu deformacji ciągłych na obiekty budowlane dokonywana jest w oparciu o wyniki obliczeń w wystarczającym stopniu przystające do rzeczywistości. Wynika to w dużej mierze z powtarzalności procesu deformacji. Wyniki obliczeń mogą być często weryfikowane na podstawie prowadzonych pomiarów geodezyjnych. Większą losowością charakteryzują się wartości przyspieszeń i prędkości drgań wywołane wstrząsami. Losowość ta związana jest z kierunkowością propagacji energii sejsmicznej, niejednorodnością ośrodka (górotworu) itp. Ponadto na ich wartości wpływ mają dodatkowe czynniki, np. w postaci zaburzeń tektonicznych. Wpływ ten może być większy niż ma to miejsce w przypadku deformacji ciągłych.
2. Powszechnie stosowane w praktyce wzory (1) i (2) w analizowanym przypadku pozwoliły na uzyskanie bardzo dużej zgodności z wynikami pomiarów. Nie mniej w przypadku występowania wstrząsów o energiach większych niż obejmujące zakres stosowania wzorów zachodzi konieczność wykorzystania dodatkowych danych pomiarowych. Wstrząsy o tak dużych energiach występują w GZW jednak dość rzadko.
3. Stale doskonalone skale GSI, weryfikowane w oparciu o doświadczenia praktyczne dają możliwość obiektywnej oceny wpływu wstrząsów na budowle. Pozwalają przy tym ustrzec się błędów popełnianych przy stosowaniu dawniej wykorzystywanych skal, które nie odnosiły się do wstrząsów pochodzenia górniczego.

Literatura

- Chudek, M. 2010. *Mechanika górotworu z podstawami zarządzania ochroną środowiska w obszarach górniczych i pogórnich*. Wyd. 1. Gliwice: Wyd. Politechniki Śląskiej.
- Dubiński, J. i Mutke, G. 2007. Górnicza Skala Intensywności GSI-GZW do oceny skutków oddziaływania wstrząsów górniczych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym na obiekty budowlane i na ludzi. *Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko*, Special Edition Kwartalnik GIG, s. 199–211.
- Knothe, S. 1984. *Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej*. Wyd. 1. Katowice: Wyd. „Śląsk”.
- Kwiatek, J. red. 1998. *Ochrona obiektów na terenach budowlanych*. Wyd. 1. Katowice: Wyd. GIG.
- Mutke, G. 1991. *Metoda prognozowania parametrów drgań podłoża generowanych wstrząsami górniczymi w obszarze GZW*, rozprawa doktorska niepublikowana. Katowice: GIG.
- Mutke, G. red. 2018. *Zasady stosowania górniczej skali intensywności sejsmicznej GSIS-2017 do prognozy i oceny oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją na obiekty budowlane oraz klasyfikacji ich odporności dynamicznej*. Katowice: GIG, seria: Instrukcje Nr 23.
- Pilecka, E. i Szermer-Zaucha, R. 2014. Analiza wpływu uskoku Rydułtowskiego na szkody górnicze spowodowane wstrząsami z dnia 21.04.2011 i 07.06.2013 lokalnej tektoniki w powiązaniu z uszkodzeniami budynków wynikającymi z wystąpienia wysokoenergetycznego wstrząsu w dniu 9 lutego 2010 roku w KWK „Piast”. *Przegląd Górniczy* nr 6, s. 60–66.
- Pilecka i in. 2017 – Pilecka, E., Stec, K. i Szermer-Zaucha, R. 2017. The influence of the Kłodnica fault tectonic zone on the degree of damage to buildings resulting from high magnitude tremors. *Technical Transactions. Czasopismo Techniczne* t. 7, s. 53–64.
- Stec, K. 2007. Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego – 30 lat ciągłej obserwacji przez Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną. *WARSZTATY 2007 z cyklu: Zagrożenia naturalne w górnictwie*, s. 395–410.

- Strzałkowski, P. 2015. *Zarys ochrony terenów górniczych*. Wyd. 2. Gliwice: Wyd. Politechniki Śląskiej.
- Strzałkowski, P. i Ścigała, R. 2017. The causes of mining induced ground steps occurrence – case study from Upper Silesia in Poland. *Acta Geodyn. Geomater.* 14, nr 3(187), s. 305–312. DOI: 10.13168/AGG.2017.0013.
- Ścigała, R. 2008. *Komputerowe wspomaganie prognozowania deformacji górotworu i powierzchni wywołanych podziemną eksploatacją górniczą*. Wyd. 1. Gliwice: Wyd. Politechniki Śląskiej.