



Analiza oddziaływania eksploatacji górnictwa na budynek. Studium przypadku

The analysis of the impact of mining extraction on the building. Case study

*Prof. dr hab. inż. Piotr Strzałkowski**

Treść: W ramach artykułu przedstawiono przykład analizy wpływu dokonanej i projektowanej eksploatacji górniczej na budynek. Analizowano oddziaływanie na obiekt deformacji ciągłych oraz wstrząsów górotworu. Wyniki obliczeń wykonanych przy zastosowaniu teorii W. Budryka – S. Knothe zostały częściowo zweryfikowane w oparciu o rezultaty pomiarów niwelacyjnych. Analiza wpływu wstrząsów na obiekt została wykonana przy zastosowaniu skali GSI-GZW-2012 w oparciu o stosowne wyniki pomiarów prędkości i przyspieszeń drgań. Istotnym wnioskiem z przeprowadzonych rozważań jest zwrócenie uwagi na konieczność prowadzenia wszechstronnego monitoringu oddziaływania eksploatacji górniczej na powierzchnię.

Abstract: This paper presents an example of the analysis of the influence of the provided and designed mining extraction on the building. The impact of continuous deformations and mining tremors on the object has been analysed. The results of calculations made with the use of Budryk-Knothe theory have been verified on the basis of the results of geodetic measurements. The analysis of influences of mining tremors on the building has been performed by use of the GSI-GZW-2012 scale on the basis of the results of measurements of speed and acceleration of vibration. The most important conclusion of the analysis is that it is necessary to provide comprehensive monitoring of the impact of mining operations on the surface.

Słowa kluczowe:

deformacje terenu górniczego, wstrząsy górotworu

Keywords:

deformations of mining areas, mining tremors

1. Wprowadzenie

Działalność górnicza postrzegana jest niestety często przez pryzmat ujemnych skutków eksploatacji złóż. Istotnie, oddziaływanie górnictwa na środowisko obejmuje pewne ujemne skutki (Chudek 2010, Strzałkowski 2010, Kwiatek 1997, Piwowarskii in. 1995), które bywają jednak wyolbrzymiane. Najbardziej uciążliwe dla mieszkańców Górnego Śląska są niewątpliwie szkody górnicze, choć koszty ich usuwania stanowią jedynie do ok. 3 % kosztów wydobycia (Kaszowska 2005). Obowiązujące w Polsce Prawo Geologiczne i Górnicze nakazuje bezwzględnie usuwać powstałe szkody przez przywrócenie nieruchomości do stanu poprzedniego (występującego przed powstaniem szkód), bądź gdy jest to ekonomicznie nieuzasadnione, przez wypłatę jednorazowego odszkodowania. Dużego znaczenia nabiera w tej sytuacji rzetelne określenie wpływu wszelkich form oddziaływań górniczych, szczególnie na obiekty budowlane. W pracy przedstawiono przykładową analizę oddziaływania eksploatacji górniczej na budynek. Jest to dom piętrowy, zbudowany w tradycyjnej technologii z cegły. Wymiary rzutu poziomego wynoszą ok. 36 m na 14 m. Uszkodzenia obiektu ujawniały się od końca 2012 r. Wśród tych uszkodzeń dominowały spękania ścian, spękania i deformacje posadzek oraz płytek ceramicznych, tynków i innych elementów wykończenia. Spękaniem uległy również elementy wykończeniowe elewacji. Należy również zwrócić uwagę na potwierdzone pomiarem wychylenie budynku z pionu (29,4 mm/m).

2. Analiza warunków geologiczno-górnictwa

2.1. Litologia i stratygrafia

W rozpatrywanym rejonie górotwór zbudowany został z warstw nadkładu i karbonu produktywnego. Na podstawie profilu litologicznego szybu P. można stwierdzić, że nadkład wykształcony jest w postaci naprzemianległych warstw brązowych glin morenowych i żółtego piasku kwarcowego zanieczyszczonego materiałem węglanowym i gliniastym. Są to utwory czwartorzędowe o miąższości 24 m. Poniżej zalegają utwory triasowe wykształcone w postaci naprzemianległych warstw dolomitów i wapieni. Ich miąższość wynosi 184 m. Pod utworami triasu zalega karbon produktywny zbudowany z warstw rudzkich dolnych i siódłowych tworzących wspólnie górnosląską serię piaskowcową (GSP). Warstwy rudzkie wykształcone zostały w środowisku fluwialnym i zbudowane są z naprzemianległych mułowców oraz piaskowców lokalnie z wkładkami iłowców. Wśród tej serii osadów występują pokłady węgla kamiennego o numerach od 406/1 do 419. Miąższość warstw rudzkich wynosi 430,5 m. Poniżej zalegają warstwy siódłowe, wykształcone w facji korytowo-deltowej. Warstwy te zbudowane są z naprzemianległych piaskowców gruboziarnistych z wkładkami zwirowców i zlepieńców, mułowców, rzadziej iłowców pylastych oraz pokładów węgla o numerach od 501 do 510.

2.2. Tektonika

Na zachód od obiektu przebiega uskok o kierunku NW-SE o rzucie około 30 m na SW. Warstwy zapadają w kierunku SE pod kątem od 5° do 11°.

* Politechnika Śląska, WGIG, Gliwice

3. Dokonana eksploatacja górnicza

W przeszłości w rejonie obiektu prowadzono eksploatację górniczną w kilku pokładach. Biorąc jednak pod uwagę czas wystąpienia uszkodzeń (koniec 2012 r.) i 10-letni okres dochodzenia roszczeń, oraz czas ujawniania się wpływów eksploatacji górnicznej, w dalszych analizach rozpatrywano eksploatację górniczną prowadzoną od 01.01.2000 r. Czas trwania końcowej fazy ruchów górotworu obliczyć można korzystając ze wzoru (Strzałkowski, Ścigała 2011):

$$T_k = 0,028 \frac{H}{\sqrt{tg\beta}} \quad (1)$$

gdzie:

- T_k – czas trwania końcowej fazy procesu deformacji, od jej zakończenia do ustania obniżeń, miesiące
- H – głębokość eksploatacji, m
- β – kąt zasięgu wpływów głównych.

Dla eksploatacji prowadzonej na głębokości 800 m czas ten wynosi ok. 16 miesięcy. Zatem rozpatrywany zakres eksploatacji odpowiada z pewnym zapasem (ok. 0,5 roku) czasowi obejmującemu okres 10 lat od zgłoszenia szkody.

Podstawowe dane o prowadzonej eksploatacji od 01.01.2000 r. i eksploatacji projektowanej przedstawiono w tabeli 1.

Schematycznie rozmieszczenie ścian we wszystkich pokładach względem obiektu przedstawiono na rys. 1. Położenie budynku oznaczono jako punkt z numerem 17.

4. Wpływ dokonanej eksploatacji górnicznej na obiekt

4.1. Wpływ dokonanej eksploatacji na obiekt w świetle wyników pomiarów

W rejonie budynku zastabilizowano punkty pomiarowe, których rozmieszczenie pokazano na rys. 2. Przebieg obniżeń reperów w czasie pokazano na rys. 3. Na podstawie rys. 3

można stwierdzić, że od maja 2016 r. teren w rejonie obiektu nie był poddany obniżeniom. Przyrosty obniżeń pomiędzy kolejnymi pomiarami nie przekraczały wartości 10 mm. Obniżenie w okresie lat 2010 – 2017 wyniosło ok. 200 mm.

4.2. Wpływ eksploatacji dokonanej i projektowanej na budynek w świetle wyników obliczeń

Obliczenia wykonano za pomocą programu DEFK-Win (Ścigała 2008), bazującego na wzorach teorii S. Knothe (Knothe 1984). Do obliczeń przyjęto zgodnie z doświadczeniami Kopalni następujące wartości parametrów:

- współczynnik kierowania stropem dla eksploatacji z zawalem stropu $a = 0,8$, (w przypadku eksploatacji projektowanej $a = 0,85$), dla eksploatacji z zawalem doszczelnianym $a = 0,7$,
- tangens kąta zasięgu wpływów głównych $tg\beta = 2,0$,
- współczynnik proporcjonalności przesunięć poziomych do nachyleń $B = 0,32 r$ (r – promień zasięgu wpływów głównych),
- obrzeże eksploatacyjne $d = 0$,
- poprawka na upad (nachylenie) pokładu – d_u określona została ze wzoru: $d_u = (H - h) tg(k \alpha)$, gdzie: H – głębokość zalegania pokładu, h – miąższość nadkładu, α – kąt upadu, k – współczynnik dewiacji wpływów z przedziału $<0,2; 0,7>$.

Dokonano obliczeń wartości następujących wskaźników deformacji :

- w – obniżenia, mm
- T_{max} – nachylenia maksymalne, mm/m
- E_{max} – nachylenia maksymalne, mm/m
- K_{max} – krzywizna maksymalna, 1/km.

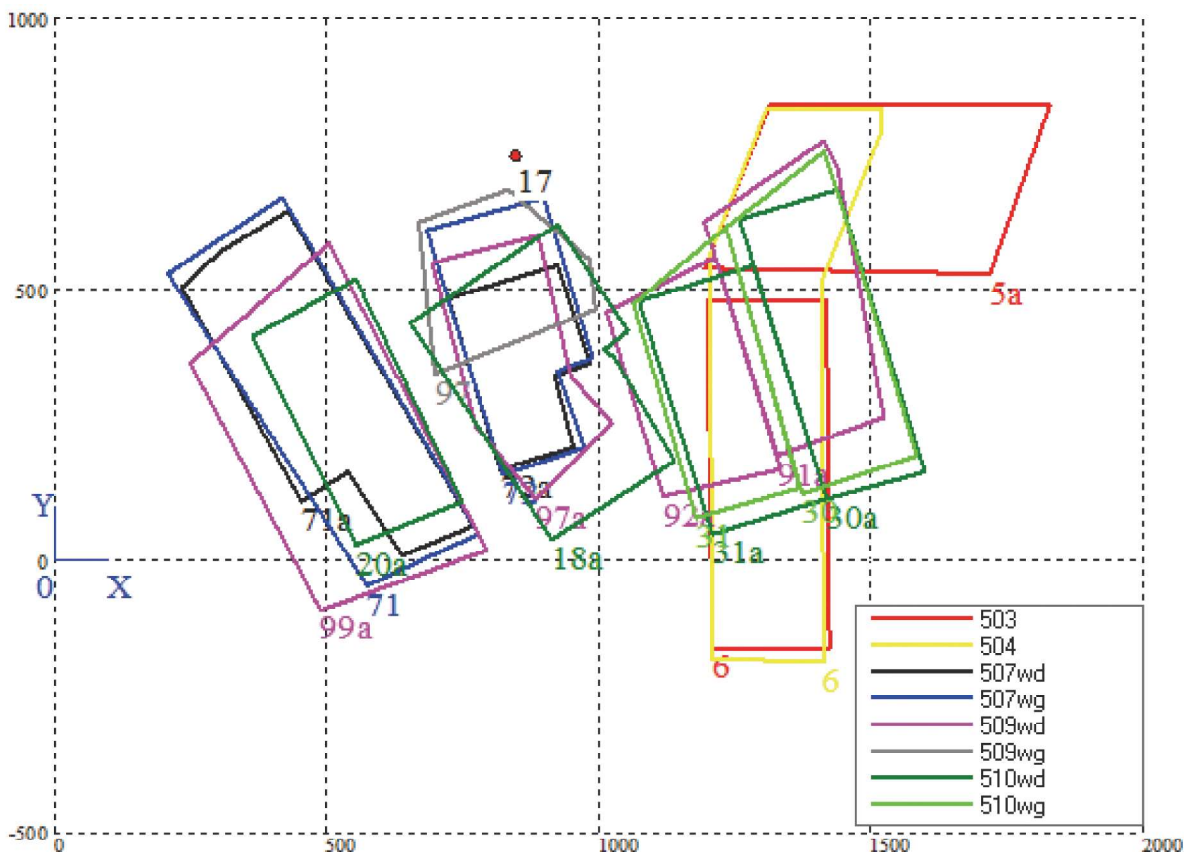
W pierwszej kolejności dokonano komputerowej symulacji biegu ścian począwszy od dnia 01.01.2000 do dnia 31.12.2017 r., przy założeniu natychmiastowego ujawniania się wpływów. Obliczenia wykonano drogą kolejnych prób dla kilku wartości współczynnika k , w celu zbadania zgodności z wynikami pomiarów geode-

Tabela 1. Podstawowe dane o eksploatacji górnicznej w rejonie budynku

Table 1. Essential information on the mining extraction in area of the building

Pokład	Ściana	Rozpoczęcie eksploatacji	Zakończenie eksploatacji	Grubość pokładu, m	Kąt upadu, stopnie	Głębokość, m
503*	5a	01-01-2022	30-06-2022	2,4	11	640
503	6	15-09-2017	01-12-2017	2,3	5	695
504*	6	01-01-2026	31-12-2026	2,7	8	680
507 w. dolna	71a	01-01-2005	30-10-2005	2,0	7	765
507 w. dolna	72a	15-12-2008	31-12-2009	2,0	7	745
507 w. górna	71	01-04-2001	15-10-2002	2,0	6	765
507 w. górna	72	01-10-2006	01-08-2007	2,0	6	740
509 w. dolna	91a	01-01-2002	31-01-2003	2,5	6	785
509 w. dolna	92a	01-01-2002	30-09-2002	2,4	5	790
509 w. dolna	97a	01-07-2010	01-04-2011	2,0	6	760
509 w. dolna	99a	01-03-2008	01-08-2009	2,0	6	800
509 w. górna	97	01-01-2000	30-08-2000	2,0	8	755
510 w. dolna	18a	15-10-2011	01-11-2012	2,0	6	790
510 w. dolna	20a	01-02-2010	01-08-2010	2,0	6	805
510 w. dolna	30a	01-08-2013	01-04-2014	2,4	8	810
510 w. dolna	31a	15-06-2013	01-03-2014	2,4	8	810
510 w. górna	30	01-07-2004	15-06-2005	2,4	6	810
510 w. górna	31	01-07-2004	15-04-2005	2,4	6	810

* kolorem opisano eksploatację projektowaną



Rys. 1. Rozmieszczenie ścian wybieranych od 01.01.2000 r. względem obiektu (lokalny układ współrzędnych)
 Fig. 1. Scheme of location of mining walls extracted since 1 January 2000 in relation to the object (local coordinate system)



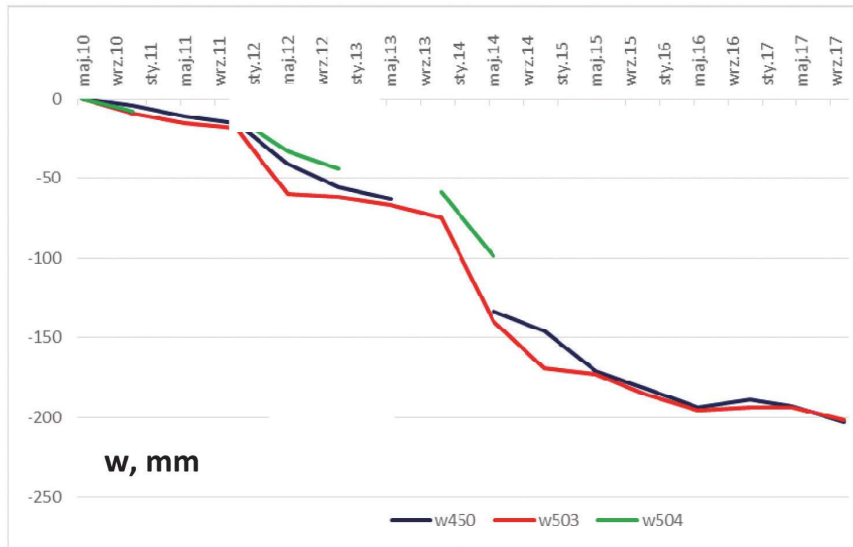
Rys. 2. Lokalizacja punktów pomiarowych w rejonie obiektu (oznaczony kolorem czerwonym)
 Fig. 2. Location of observing points in the areas of the object (marked with red colour)

zyjnych. Poniżej przedstawiono tylko wyniki obliczeń dla wartości $k = 0,2$. Wyniki symulacji pokazano na rysunkach: 4–6. Jak widać z rys. 4, eksploatacja prowadzona w 2010 r. wywołała obniżenia zmieniające się w niewielkim zakresie (od 444 mm do 458 mm). Obniżenie końcowe wyniosło 658 mm. Zatem można przyjąć, że eksploatacja prowadzona od 2010 r. do 10.2016 r. (okres objęty pomiarami) wywołała obniżenia wynoszące ok. 200 mm, co znakomicie koresponduje z wynikami pomiarów. Pozwala to uznać, że najbardziej prawdopodobna wartość poprawki na upad wynosiła $k = 0,2$.

Wyniki obliczeń przy przyjęciu wartości współczynnika $k = 0,2$ są następujące: obniżenia wyniosły 0,66 m, nachylenia maksymalne 6,53 mm/m (III kategoria), a odkształcenia poziome maksymalne 5,30 mm/m (III kategoria). Wyniki obliczeń wartości nachyleń maksymalnych nie korespondują z wartością zmierzonego wychylenia budynku z pionu. Spowodowane jest to uwzględnieniem w obliczeniach jedynie ograniczonego czasowo zakresu eksploatacji górniczej. Wychylenie zmierzone odzwierciedla natomiast wpływ na obiekt eksploatacji prowadzonej w dłuższym przedziale czasu - od wzniesienia obiektu.

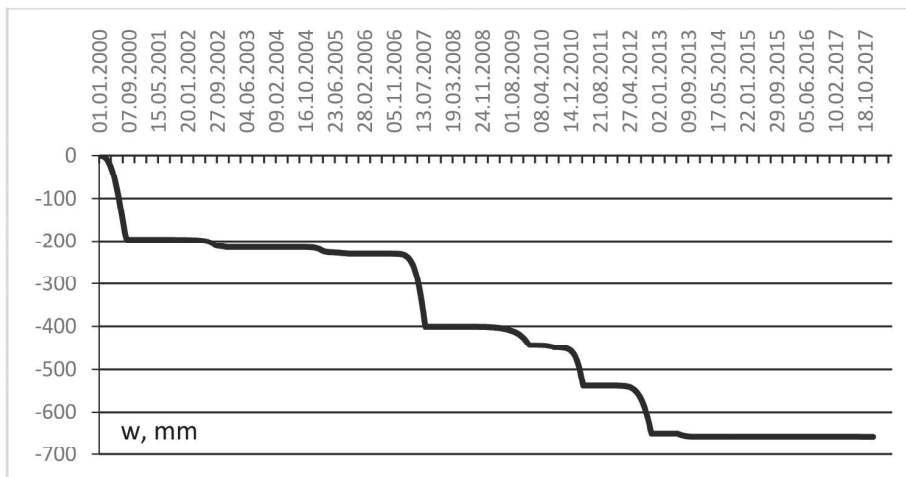
Przyjęcie w obliczeniach wartości współczynnika $k = 0,7$ pozwoliło natomiast otrzymać następujące wartości wskaźników deformacji: obniżenia wyniosły 0,43 m, nachylenia maksymalne 4,82 mm/m (II kategoria), a odkształcenia poziome maksymalne 4,89 mm/m (III kategoria). Jak zatem jest to widoczne, zgodność z wynikami pomiarów byłaby w tym przypadku gorsza.

Przyjęcie wartości współczynnika $k = 0,2$ (najbardziej prawdopodobnej w świetle przedstawionych wyżej analiz),



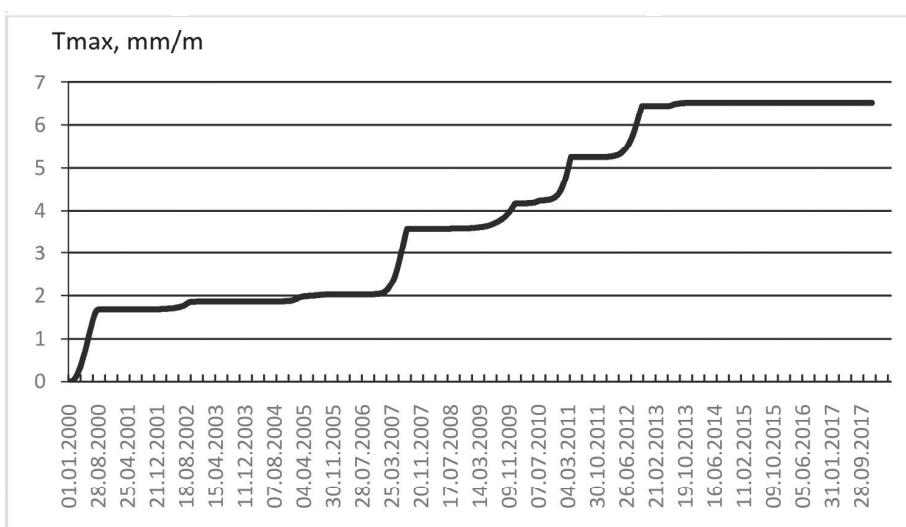
Rys. 3. Przebieg obniżen wybranych reperów w czasie

Fig. 3. Mining subsidence of selected observing points over time



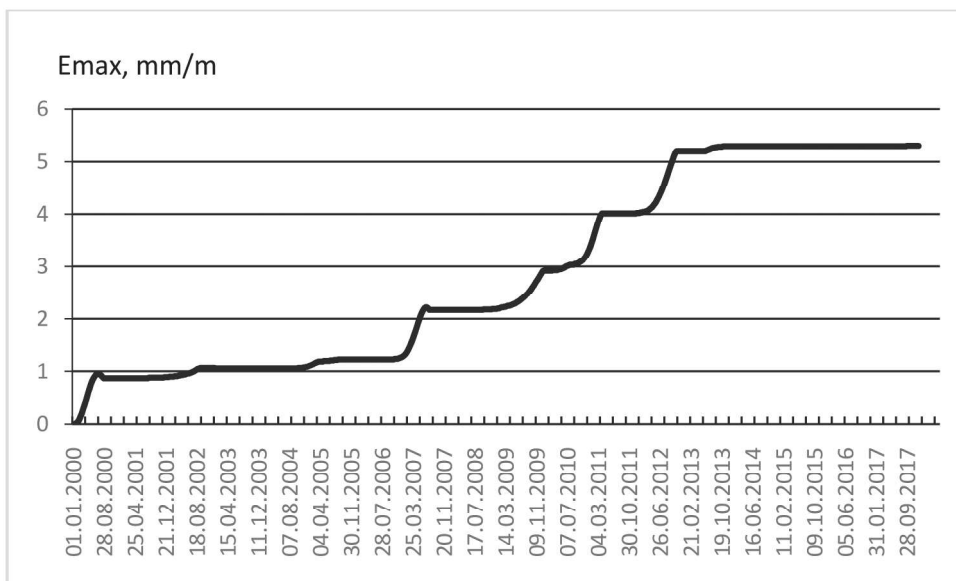
Rys. 4. Przebieg obniżen punktu odpowiadającego obiektowi w czasie przy założeniu natychmiastowego ujawniania się wpływów

Fig. 4. Mining subsidence of the point connected with the building over time. It was assumed that the influence of mining extraction on the surface occurred immediately



Rys. 5. Przebieg maksymalnych nachyleń punktu odpowiadającego obiektowi w czasie przy założeniu natychmiastowego ujawniania się wpływów

Fig. 5. Maximal slopes of the point connected with the building over time. It was assumed that the influence of mining extraction on the surface occurred immediately



Rys. 6. Przebieg maksymalnych poziomych odkształceń punktu odpowiadającego obiektowi w czasie przy założeniu natychmiastowego ujawniania się wpływów

Fig. 6. Maximal horizontal deformation of the point connected with the building over time. It was assumed that the influence of mining extraction on the surface occurred immediately

w przypadku dokonywania obliczeń dla eksploatacji projektowanej pozwoliło na uzyskanie następujących wyników: obniżenia wyniosły 0,03 m, nachylenia maksymalne 0,08 mm/m (0 kategoria), a odkształcenia poziome maksymalne 0,19 mm/m (0 kategoria).

5. Wpływ wstrząsów górotworu na obiekt

Wartości przyspieszeń, jakich doznaje górotwór można wyliczyć korzystając ze wzoru (Mutke 1991):

$$a = [1.33 \cdot 10^{-3} \cdot (\log E)^{2.66} - 0.089] \cdot [1.53 \cdot R^{0.155} \cdot \exp(-0.065 \cdot R) + 0.014] \quad (2)$$

gdzie :

a – przyspieszenie drgań – dokładniej wypadkowa pozioma PGA, mm/s²

R = $\sqrt{D^2 + 0.5^2}$
D – odległość epicentralna, km
E – energia wstrząsu, J.

Obliczone tym sposobem wartości przyspieszeń dotyczą skał karbońskich. Skały nadkładu powodują zmiany wartości przyspieszeń, co uwzględnia się, mnożąc wartości otrzymane ze wzoru (1) przez tzw. współczynnik amplifikacji, którego wartość zależy od grubości i własności nadkładu. W rozpatrywanym przypadku w rejonie obiektu, wg informacji Kopalni wartość tego współczynnika wynosi 1,6. W pierwszej kolejności wykonano obliczenia wartości przyspieszeń dla miejsca

Tabela 2. Obliczone wartości PGA w miejscu posadowienia obiektu
Table 2. The calculated values of PGA in location of the building

Data	X [m]	Y [m]	E [J]	D [m]	a [mm/s ²]	PGA [mm/s ²]
2012-03-28	5520	2050	2.00E+06	545	82	130
2012-12-15	6160	770	5.00E+06	1452	74	119
2012-12-22	6110	690	3.00E+06	1471	63	100
2013-03-26	6350	590	6.00E+06	1714	68	109
2014-02-06	5670	1140	2.00E+06	841	73	117
2014-02-15	5620	1080	2.00E+06	852	73	116
2014-05-28	5880	1160	8.00E+06	989	106	170
2014-06-16	5880	1260	7.00E+06	935	105	168
2014-06-25	5870	1200	2.00E+06	958	69	111
2014-07-04	5890	1150	7.00E+06	1003	102	163
2014-07-31	5930	1170	8.00E+06	1025	104	167
2014-09-11	6030	1230	2.00E+07	1080	129	206
2014-09-24	6000	1220	2.00E+06	1059	66	106
2014-10-17	5990	1010	9.00E+06	1167	101	162
2014-11-05	6090	1220	8.00E+06	1138	99	159
2014-12-15	6090	1150	8.00E+06	1172	98	156
2015-01-05	6110	1150	5.00E+06	1189	85	135
2016-02-10	6480	1050	5.00E+06	1563	70	112
2016-06-03	6620	80	3.00E+08	2264	121	194

lokalizacji budynku. Analizowano przyspieszenia wywołane wystąpieniem 134 wstrząsów w okresie lat 2012 – 2017. Wyniki obliczeń dla wstrząsów, które wywołały przyspieszenia o wartościach powyżej 100 mm/s^2 zestawiono w tabeli 2. Jak widać maksymalne wartości przyspieszeń były niewielkie. Największa wartość przyspieszenia wyniosła 206 mm/s^2 .

W tabeli 3 podano natomiast dane odnośnie do wstrząsów odnotowanych na stanowisku pomiarowym. Niestety pomiary objęły nie wszystkie wstrząsy umieszczone w wykazie. Wyniki pomiarów dotyczą 109 wstrząsów. Prawie wszystkie zostały zaliczone do stopnia 0 wg skal (Dubiński, Mutke 2007, Pilecka, Szermer-Zaucha 2016): GSI-GZW-2012-V oraz GSI-GZW-2012-A. Jedynie 7 wstrząsów można było zakwalifikować do stopnia 1. W tabeli poniżej podano informacje dotyczące wyłącznie tych wstrząsów. Wstrząsy zaliczone do stopnia 0 określa się jako słabo zauważalne, a do stopnia 1 jako odczuwalne, jednak niepowodujące uszkodzeń budynków. W tabeli podano daty wystąpienia wstrząsów, energie

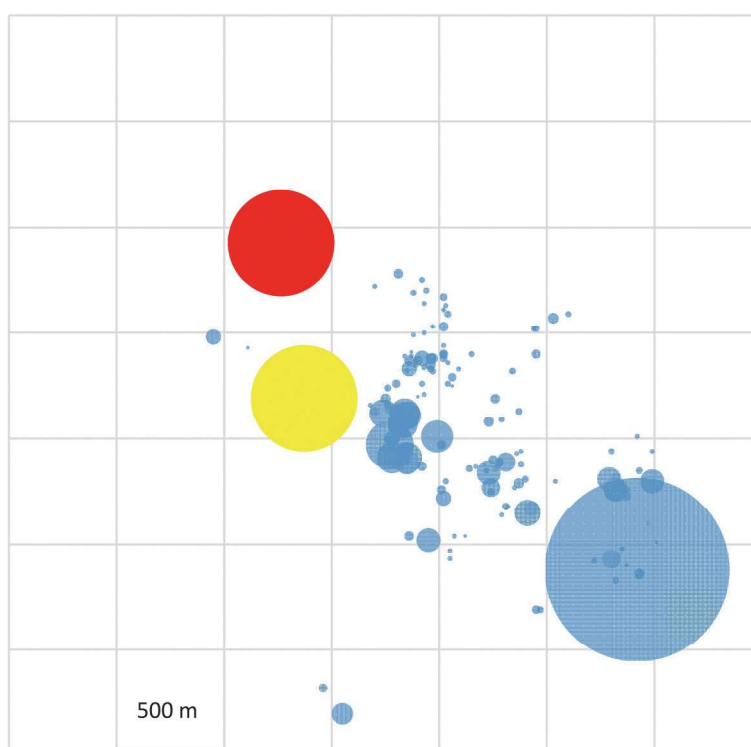
– E, wartości PGA – amplitudy wypadkowej poziomej przyspieszeń drgań uzyskane ze wzoru oraz z pomiaru, wartości PGV – amplitudy wypadkowej poziomej prędkości drgań, czas trwania intensywnej fazy drgań określony na podstawie PGA, stopnie intensywności drgań wg obu skal GSI oraz odległości epicentralne od stacji i od obiektu. Jak widać z tabeli, wyliczone wartości PGA w różnym stopniu korelowały z uzyskanymi z pomiarów (przyjęto maksymalną wartość współczynnika amplifikacji dla terenu Kopalni równą 2). Natomiast wszystkie wstrząsy wyszczególnione w tabeli posiadały epicentra w dalszej odległości od obiektu niż od stanowiska pomiarowego. Można zatem stwierdzić, że przyspieszenia i prędkości drgań były mniejsze w miejscu posadowienia obiektu niż w miejscu stacji pomiarowej, nawet przy niewielkich różnicach wartości współczynnika amplifikacji.

Lokalizację epicentrów, z oznaczeniem energii wstrząsów oraz stanowiska pomiarowego (kolor żółty) i obiektu (kolor czerwony) pokazano na rys. 7.

Tabela 3. Dane dotyczące wstrząsów zakwalifikowanych do 1 stopnia skal GSI-GZW

Table 3. Information on mining tremors classified as the 1-st extent of the GSI scale

Data	E [J]	PGA obl. [mm/s ²]	PGA pomiar [mm/s ²]	PGV [mm/s]	Czas [s]	Stopień skala GSI-GZW-V	Stopień skala GSI-GZW-A	Odległość od stacji [m]	Odległość od budynku [m]
01.04.2014	9.00E+05	115.0	177.2	5.4	2.35	1	1	609	902
08.04.2014	6.00E+05	99.1	212	6.3	0.74	1	1	434	853
28.05.2014	8.00E+06	258.3	196.8	5.6	0.87	1	1	473	989
31.07.2014	8.00E+06	258.3	168.5	6.6	0.88	1	1	473	1025
17.10.2014	9.00E+06	252.4	255.4	7.2	1.17	1	1	644	1167
25.11.2014	7.00E+05	99.4	185.2	4.5	0.73	0	1	675	1211
2016.06.03	3.00E+08	320.4	181	5.4	1.73	1	1	1747	2264



Rys. 7. Lokalizacja epicentrów wstrząsów względem obiektu (koło koloru czerwonego) i stacji pomiarowej (koło koloru żółtego)

Fig. 7. Location of tremor's epicenters in relation to the object (red circle) and observing station (yellow circle)

Spośród wszystkich zarejestrowanych wstrząsów jedynie 4 wstrząsy posiadały epicentra w mniejszych odległościach od obiektu niż od stacji pomiarowej. Wywołały one PGA o wartościach do ok. 60 mm/s². Można uznać, że nie powodowały one ujemnego oddziaływania na obiekt.

6. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone w ramach pracy analizy pozwalają sformułować następujące wnioski i spostrzeżenia:

1. Budynek poddany był wpływowi wielokrotnej eksploatacji górniczej. Eksploatacja prowadzona od początku 2000 roku spowodowała w świetle wyników obliczeń obniżenia wynoszące ok. 0,66 m oraz nachylenia i odkształcenia poziome z przedziału III kategorii. Otrzymane wartości obniżzeń korespondują z wynikami pomiarów niwelacyjnych prowadzonych na reperach w sąsiedztwie budynku. Można zatem sądzić, że także wartości nachyleń i odkształceń poziomych odzwierciedlają faktyczny stan deformacji podłoża górniczego w rejonie obiektu (nie rozważając błędów zastosowanego modelu). Widocznym jest zatem jak ważne jest uzupełnianie wyników obliczeń rezultatami pomiarów geodezyjnych, nawet jeśli są one fragmentaryczne pod względem zakresu i czasu ich prowadzenia. Wpływy dokonanej eksploatacji ustały w maju 2016 r.
2. Wstrząsy górotworu w świetle wyników obliczeń popartych wynikami pomiarów nie wpływały ujemnie na obiekt. Również w przypadku analizy wpływu wstrząsów na obiekt istotną rolę odegrały wyniki pomiarów prowadzonych na stanowisku położonym w sąsiedztwie budynku. Bez dysponowania wynikami pomiarów nie byłoby możliwe w pełni wiarygodne wykorzystanie obowiązujących skal GSI do oceny szkodliwości wstrząsów dla konstrukcji budynku.
3. Biorąc pod uwagę powyższe spostrzeżenia, istotną konkluzją wynikającą z niniejszej pracy jest stwierdzenie, że zakłady górnicze powinny w możliwie jak najszerszym zakresie prowadzić pomiary geodezyjne i monitoring sejsmiczny na terenach górniczych, pomimo ograniczeń wynikających z powodów ekonomicznych.

Literatura

- CHUDEK M. 2010 - Mechanika górotworu z podstawami zarządzania ochroną środowiska w obszarach górniczych i pogórnicznych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- DUBIŃSKI J., 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, Katowice, s. 199–211.
- KASZOWSKA O. 2005 - Koszty usuwania szkód w budynkach na terenach górniczych. „Przeгляд Górniczy” nr 4, s. 32-38.
- KNOTHE S. 1984 - Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej. Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice.
- KWIATEK J. 1997- Obiekty budowlane na terenach górniczych. GIG. Katowice.
- MUTKE G. 1991 - Metoda prognozowania parametrów drgań podłoża generowanych wstrząsami górniczymi w warunkach GZW. Praca doktorska niepublikowana. GIG, Katowice.
- PILECKA E., SZERMER-ZAUCHAR. 2016 - Metody oceny oddziaływania wstrząsów pochodzenia górniczego na budynki. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, 94, s. 15-26.
- PIWOWARSKI W., DŻEGNIUK B., NIEDOJADŁO Z. 1995 - Współczesne teorie ruchów górotworu i ich zastosowania. Wyd. AGH. Kraków.
- STRZALKOWSKI P. 2010 - Zarys ochrony terenów górniczych. Wyd. Pol. Śl. Gliwice.
- STRZALKOWSKI P., ŚCIGAŁA R. 2011 - Forecasting of subsidence cease time taking into account construction planning in mining areas. 12 Geokinematischer Tag des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie, Freiberg, s. 252-257.
- ŚCIGAŁA R. 2008 - Komputerowe wspomaganie prognozowania deformacji górotworu i powierzchni wywołanych podziemną eksploatacją górnica. Wyd. Pol. Śl. Gliwice.

Artykuł wpłynął do redakcji – marzec 2018

Artykuł akceptowano do druku 11.04.2018