

Ocena oddziaływania sejsmiczności indukowanej działalnością górniczą na obiekty budowlane na podstawie wybranych skal

Assessment of impact of seismicity induced by mining activities on buildings on the basis of selected scales



Dr inż. Adam Mirek^{*)}



Mgr inż. Krzysztof Oset^{*)}

Treść: W referacie przedstawiono ocenę oddziaływania wstrząsów górniczych na nieruchomość zlokalizowaną poza wyznaczonym terenem górniczym kopalń prowadzących eksploatację węgla kamiennego. Wskazano na niektóre, pojawiające się przy takiej ocenie problemy, związane głównie z ograniczeniami w określaniu parametrów determinujących dokładność ich wyznaczenia i decydujących o wynikach obliczeń maksymalnych wartości przyspieszenia drgań, a także z rozbieżnościami opisów możliwych uszkodzeń, zawartych w poszczególnych przedziałach skal służących do oceny takiego oddziaływania. Na podstawie wymienionych spostrzeżeń sformułowano wnioski.

Abstract: This paper presents an assessment of the impact of mining tremors on the property located outside the designated mining area of active coal mines. During the assessment, some issues concerning the limitations in defining the parameters' accuracy and their priorities for determining the results of the calculations of vibration acceleration, as well as the discrepancies in descriptions of the possible damages contained in the individual range of scales used in the assessment of such impacts, emerged. On the basis of the above analysis, conclusions were formulated.

Słowa kluczowe:

górnictwo, geomechanika, sejsmologia górnicza, skale oceny oddziaływania wstrząsów

Key words:

mining industry, geomechanics, mining seismology, scales assessing the impact of tremors

1. Wprowadzenie

Eksploatacja złóż kopalni prowadzona w określonych uwarunkowaniach geomechanicznych, oprócz skutków bezpośrednich na powierzchni terenu w postaci różnego rodzaju deformacji terenu uszkadzających obiekty budowlane, indukuje w górotworze zjawiska sejsmiczne, które w górnictwie podziemnym [3] powodują także związane z nimi zjawiska tąpnięć będących skutkiem zaistniałych wstrząsów (czyli mniej lub bardziej rozległych zniszczeń wyrobisk podziemnych oraz - często - wypadków). Sejsmiczność ta, jako główny, dynamiczny objaw procesów geomechanicznych zachodzących podczas prowadzonych robót górniczych, generowana jest, np. [1], [3], [7], [10], przy sprzyjających jej powstawaniu

właściwościach skał tworzących złoże oraz jego strop i spąg, w górotworze o określonych parametrach geomechanicznych, głębokości zalegania, występowaniu w nim ciągłych i/lub nieciągłych zaburzeń tektonicznych, geometrii dotychczasowych dokonanych eksploatacyjnych itp. Zmiany w czasie parametrów geomechanicznych skał [3] podczas prowadzenia robót górniczych, w tym również zmiany, szeroko rozumianej, aktywności sejsmicznej są - od wielu już lat - przedmiotem badań prowadzonych w celu oceny stanu górotworu [3], [4], [5], [7], [9], w kontekście rozpoznania jego gotowości do wygenerowania wysokoenergetycznych (w Polsce za wielkość kryterialną przyjęto energię $E \geq 1 \cdot 10^5 \text{J}$) wstrząsów sejsmicznych, których liczba (w całym górnictwie w ostatnich kilkunastu latach) dochodzi do około 2-3 tys. rocznie. Zaistniałe wstrząsy wysokoenergetyczne zagrażają bezpieczeństwu użytkownika wyrobisk, a często także powodują negatywne

^{*)} Instytut Technik Innowacyjnych EMAG w Katowicach

skutki w obiektach znajdujących się na powierzchni terenu [4], [5], poczynając na drobnych uszkodzeniach obiektów budowlanych (np. spękania farb i tynku na ścianach, wylewek betonowych, odpajanie elementów ceramiki budowlanej, itp.) po uszkodzenia (znacznie rzadziej) większych fragmentów konstrukcji budowlanych (np. zniszczenia ścian szczytowych budynków, kominów, spadanie dachówek, gzymsów itp.).

Podkreślić należy, że nie jest celem niniejszego referatu dokonywanie oceny metod, czy skal stosowanych przez różne ośrodki naukowe dla określania wpływu wstrząsów na obiekty powierzchniowe, a jedynie sprowokowanie dyskusji na temat niektórych występujących przy takich analizach problemów, a tym samym uzasadnienie konieczności szerokiej współpracy wszystkich zainteresowanych środowisk, w celu określenia, stosowanych w różnego rodzaju skalach, możliwie najbardziej obiektywnych i precyzyjnych wielkości kryterialnych parametrów drgań, determinujących uznanie, czy i w jakim zakresie, zaistniały wstrząs górotworu wpłynął negatywnie na dany obiekt budowlany oraz jakie mógł w nim spowodować uszkodzenia. Tak określone parametry powinny, być może, zostać włączone w obowiązujący system prawny, co pozwoliłoby na znaczące zmniejszenie skali konfliktów, a co najmniej na uproszczenie coraz liczniej prowadzonych sporów sądowych.

2. Ocena skutków eksploatacji w świetle obowiązujących uwarunkowań prawnych

Według obowiązującego w Polsce porządku prawnego, obowiązek naprawienia szkód powstałych wskutek ruchu zakładu górniczego - w tym szkód związanych z destrukcyjnym oddziaływaniem sejsmiczności indukowanej tym ruchem (m.in. art. 146 ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. - Prawo geologiczne i górnicze [11]) ciąży na przedsiębiorcy, który ten ruch prowadzi.

Górnictwo podziemne (w szczególności górnictwo węglowe i górnictwo rud miedzi) negatywnie oddziałuje na ogromną liczbę różnorodnych obiektów budowlanych, zarówno infrastruktury przemysłowej, jak też budynków mieszkalnych, czy zabudowań gospodarczych będących własnością osób fizycznych. Zdecydowana większość (nawet do około 99%) spraw związanych z koniecznością usuwania skutków prowadzonej eksploatacji odbywa się na zasadach ugody pomiędzy poszkodowanymi a przedsiębiorcami górniczymi, a jedynie około 1% spraw rozpatrywana jest przez sądy powszechne zgodnie z przepisami kodeksu cywilnego. Ponieważ jednak eksploatacja węgla - odbywająca się np. w całym Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, czy rud miedzi w LGOM - swoimi skutkami dotyka co najmniej kilkuset tysięcy rzeszę właścicieli nieruchomości na terenach górniczych, to faktyczna liczba spraw rozstrzyganych przez sądy osiąga nawet do ponad tysiąca w skali roku. Zwykle są to sprawy, gdzie ustalenie związku przyczynowo-skutkowego pomiędzy eksploatacją a stwierdzanymi w obiektach uszkodzeniami jest skomplikowane, przy czym najbardziej skomplikowane to takie, w których poszkodowani podnoszą negatywne oddziaływanie wstrząsów górniczych na obiekty usytuowane poza terenem górniczym (czyli przestrzenią objętą przewidywanymi szkodliwymi wpływami robót górniczych zakładu górniczego [11]) wyznaczonym dla danego zakładu górniczego. Sytuacja taka wymagała opracowania, możliwych do stosowania w warunkach górniczo-prawnych, występujących w ww. zagłębiach górniczych, sposobów określania parametrów sejsmicznych determinujących uznanie wpływu danego zjawiska za szkodliwe (lub też nieszkodliwe) dla konkretnych obiektów budowlanych. Jednym z ważniejszych

proponowanych w ostatnich latach rozwiązań w tym zakresie jest m.in. opracowana przez Główny Instytut Górnictwa we współpracy z Politechniką Krakowską i Kompanią Węglową S.A., Górnicza Skala Intensywności GSI-GZWKW-2012 [5]. Jedną z ważniejszych zalet tej skali jest - np. w odmianie „przyspieszeniowej” - umożliwienie także oceny oddziaływania wstrząsów na obiekty w sytuacjach, gdy dostępne są jedynie dane archiwalne o zarejestrowanych zjawiskach sejsmicznych, a nie są dostępne, lub nie były prowadzone pomiary *in situ*.

3. Warunki geologiczno-górnice oraz dokonania eksploatacyjne w rejonie analizowanej posesji w aspekcie możliwości ich negatywnego oddziaływania na obiekty budowlane

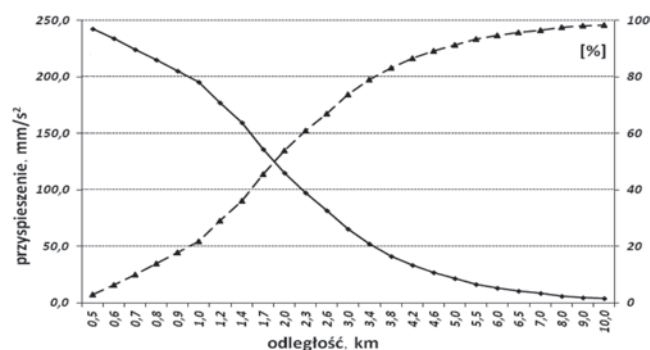
Wyniki szczegółowej analizy warunków (ogólnie) górniczo-geologicznych i sejsmicznych występujących w rejonie analizowanej nieruchomości wskazywały jednoznacznie, że uszkodzenia w zlokalizowanych na niej budynkach nie mogły zostać spowodowane zarówno deformacjami ciągłymi (osiadaniami), jak również nieciągłymi (zapadliska, zręby itp.) powierzchni terenu wskutek eksploatacji dokonanej przez kopalnię, ponieważ są one usytuowane daleko poza granicą możliwych wpływów statycznych tej eksploatacji w rejonie, gdzie występujące strefy uskokowe nigdy nie zostały naruszone jakkolwiek eksploatacją. Należy podkreślić, że warunki geologiczno-górnice prowadzonej eksploatacji sprzyjały jednak generowaniu wstrząsów sejsmicznych w trakcie jej prowadzenia. Uznano zatem, iż poza sporem był fakt, że wpływy statyczne eksploatacji kopalni (w tym zmiany warunków hydrogeologicznych oraz wielkość deformacji ciągłych terenu), nie mogły być powodem uszkodzeń w obiektach na ww. nieruchomości. Sprawdzenia wymagał, w związku z tym, wpływ jedynego czynnika mogącego (ewentualnie) być przyczyną występujących w budynkach uszkodzeń, tzn. wpływ oddziaływania na te obiekty sejsmiczności indukowanej eksploatacją prowadzoną przez przedsiębiorcę.

4. Porównanie wyników oceny wpływu sejsmiczności generowanej eksploatacją

Określanie parametrów intensywności drgań skorelowanych z poziomem maksymalnych wartości przyspieszeń lub prędkości drgań na powierzchni terenu, od wielu już lat jest przedmiotem badań prowadzonych przez różne instytucje naukowe. Poziom drgań gruntu określany jest bądź to pomiarami *in situ* bądź też jest wyznaczany w sposób analityczny. Z powodu braku danych z pomiarów bezpośrednio przy analizowanej nieruchomości (nie były tam prowadzone z uwagi na usytuowanie nieruchomości poza granicami wyznaczonego terenu górniczego), do oceny intensywności oddziaływania na tę nieruchomość drgań gruntu wygenerowanych przez zaistniałe wstrząsy zastosowany został sposób analityczny, opracowany przez GIG ([2], [7], [9], [10]), określający (dla wstrząsów o energiach sejsmicznych $E \geq 1 \cdot 10^5 \text{ J}$ i dla odległości hipocentralnych od 0,5 do 10 km oraz dla częstotliwości drgań do 10 Hz, czyli częstotliwości drgań istotnych z punktu widzenia oddziaływań na budynki) wartości przyspieszeń przy uwzględnieniu uwarunkowań geologiczno-górnicznych i geomechanicznych występujących w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Wartość drgań rejestrowanych na powierzchni gruntu zależna jest od energii sejsmicznej zaistniałego wstrząsu, odległości jego ogniska od danego budynku (obiektu) oraz od budowy geologicznej górotworu w analizowanym rejonie.

Rodzaj i budowa warstw skalnych czwartorzędu, czyli bezpośredniego podłoża obiektu, w różny sposób wpływają na intensywność drgań gruntu w danym rejonie, natomiast wielkość tego wpływu określa współczynnik amplifikacji drgań W_f , zależny także od odległości hipocentralnej, a w miejscu usytuowania analizowanego obiektu - od charakterystyki częstotliwościowej zaistniałego wstrząsu oraz od budowy geologicznej warstw nadkładu (podłoża bezpośredniego). Wartości współczynnika amplifikacji rosną w warstwach mało spójnych, luźnych, gdzie prędkość związanej z nimi fali sejsmicznej jest niewielka. W warstwach takich (dla ich określonych, niewielkich miąższościach) wartość rejestrowanych drgań może wzrosnąć do znacznych nawet wartości. Z kolei do wytlumienia drgań dochodzi zwykle w warstwach o dużych (wobec niewielkich długości fali) miąższościach, w tzw. strefie małych prędkości.

Wartości maksymalnych przyspieszeń drgań gruntu w danym rejonie zależą od energii zaistniałych zjawisk sejsmicznych oraz od odległości hipocentralnej. Wartości te szybko maleją ze wzrostem odległości hipocentralnej. Przykładowo, dla założonych, niezmiennych warunków górniczo-geologicznych (stały współczynnik amplifikacji drgań $W_f = 2,0$), wzrost o około 3 km odległości hipocentralnej - tzn. z około 0,5 km do około 3,5 km - powoduje dla wstrząsu o energii $E = 5 \cdot 10^6$ J około 80-procentowy spadek wartości maksymalnej amplitudy przyspieszenia drgań. Dalej spadek amplitudy następuje wolniej (rys. 1.).



Rys. 1. Spadek wartości przyspieszenia drgań gruntu w funkcji odległości hipocentralnej

Fig. 1. Decrease in ground acceleration in relation to distance

Z rysunku 1 wynika, że najwyższe wartości przyspieszeń powodują wstrząsy, których ogniska zlokalizowane są blisko miejsca pomiaru drgań. Jest też oczywiste, że maksymalna wartość przyspieszenia zależy także od energii zaistniałego wstrząsu. Przy ocenie wpływu drgań na obiekty powierzchniowe należy zawsze brać pod uwagę wartość drgań najsilniejszych zarejestrowanych w analizowanym miejscu i czasie, kiedy te drgania występowały.

Do oceny wpływu drgań gruntu na nieruchomość wykorzystano kryteria zawarte w Klasyfikacji Dynamicznej Odporności Budynków (KDOB) skorelowanej ze skalą MSK-64, wykorzystującej do takiej oceny Polską Normę PN-85/B-02170 - Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki [8], której stosowanie w całości do takiej oceny zaleca z kolei (jednakże nieobligatoryjnie - co wynika z innych aktów prawnych) rozporządzenie Ministra Infrastruktury z roku 2004 [12]. Wykorzystane zostały jednocześnie kryteria zawarte w opracowanej przez GIG skali GSI-GZWKW-2012.

Analiza oddziaływania na budynki drgań gruntu wywołanych wstrząsami wykorzystywała parametry sejsmologiczne, wyselekcjonowanych [6] uprzednio (energii $E \geq 1 \cdot 10^5$ J), a wygenerowanych w ciągu dwóch dni wskutek eksploatacji dwóch kopalń przedsiębiorcy, 6 wstrząsów, mogących być ewentualną przyczyną uszkodzeń stwierdzanych w tej nieruchomości.

Z uwagi na fakt, że nieruchomość znajduje się poza wyznaczonym terenem górniczym kopalń prowadzących eksploatację najbliższej nieruchomości przyjęto, że współczynnik amplifikacji drgań osiągnął wartość $W_f = 3,0$, tzn. największą z wartości określonych dla obszarów górniczych obu tych kopalń. W tabeli 1 przedstawione zostały wyniki obliczeń maksymalnych wartości przyspieszeń drgań gruntu w rejonie analizowanej nieruchomości, przy uwzględnieniu tak określonego współczynnika amplifikacji.

Wyniki analizy: aktywności sejsmicznej wygenerowanej eksploatacją prowadzoną przez przedsiębiorcę w podanym okresie, największych przyspieszeń drgań gruntu nią wywołanych i ocena możliwego wpływu tych drgań na budynki wykazały, że:

- W przedmiotowym rejonie, w podanym okresie czasu zarejestrowano łącznie 6 wstrząsów mogących być ewentualną przyczyną uszkodzeń stwierdzanych w analizowanych budynkach. Wśród tych wstrząsów 5 posiadało energie rzędu 105J, a jeden - energię rzędu 109J. Najmniejsza odległość hipocentralna wynosiła około 2,8 km, a największa około 5,7 km.
- Dwa spośród wstrząsów wygenerowanych eksploatacją kopalń wywołały drgania, których maksymalne przyspieszenie przekroczyło wartość 50 mm/s².
- Najsilniejszy wstrząs górotworu zaistniał w odległości hipocentralnej około 4,6 km od nieruchomości i spowodował drgania o maksymalnym przyspieszeniu $a_{MAX} = 144,4$ mm/s². Do oceny wpływu drgań na przedmiotowe obiekty przyjęto zatem wykazaną, maksymalną wartość przyspieszenia.
- W skali KDOB wartości przyspieszenia drgań gruntu $a_{MAX} = 144,4$ mm/s², dla budynków w opisanych warunkach, oznaczają stopień 1 oddziaływania, tzn., że wstrząsy są odczuwalne przez budynek, występują uszkodzenia elementów wykończeniowych (tynków, wypraw, gzymsów itp.), elementów wypełniających (ścian

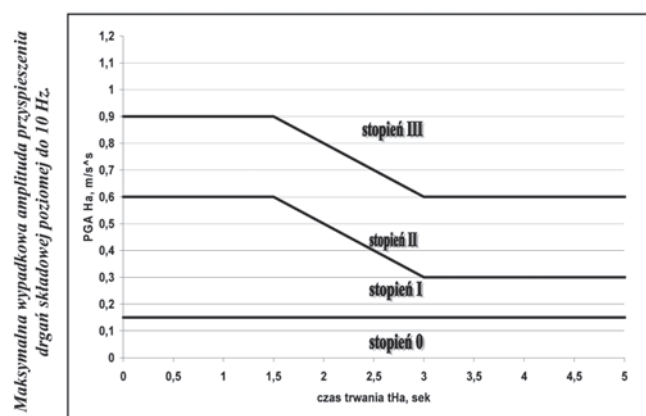
Tabela 1. Wartości przyspieszenia drgań gruntu w rejonie analizowanej nieruchomości
Table 1. Values of ground acceleration by the analyzed real estate

Dzień	Godz.	Energia, J	Odległość hipocentralna, km	Przyspieszenie, mm/s ²	Stopień szkodliwości KDOB / GSI
pierwszy	111	2,0E+05	5,72	4,4	0 / 0
pierwszy	112	8,0E+05	5,30	14,1	0 / 0
pierwszy	206	8,0E+05	2,85	53,9	0 / 0
pierwszy	735	3,0E+09	4,63	144,4	1 / 0
drugi	415	5,0E+05	2,83	42,5	0 / 0
drugi	445	8,0E+05	5,22	14,6	0 / 0

niekonstrukcyjnych, działowych itp.) oraz elementów wyposażenia budynków (pokryć dachowych, kominów budynków itp.), nie występują uszkodzenia elementów nośnych obiektów za wyjątkiem rys dopuszczalnych z punktu widzenia odpowiednich norm budowlanych.

- W skali GSI-GZWKW-2012A wartością kryterialną I stopnia oddziaływania wstrząsów górniczych na obiekty powierzchniowe, przy czasie ich trwania dłuższym niż 3 s, jest maksymalna wypadkowa wartość przyspieszenia drgań poziomych w paśmie do 10 Hz o wartości 150 mm/s². Taka wartość przyspieszenia nie została przekroczona przez żaden z zarejestrowanych w omawianym okresie czasu wstrząsów górotworu.

Na rysunku 2 przedstawiono wyciąg [2] z kryteriów skali GSI-GZWKW-2012A - pomocniczej - wykorzystującej parametry: wartości przyspieszenia drgań poziomych gruntu w paśmie częstotliwości do 10 Hz oraz czasu ich trwania, stosowanej do przybliżonej oceny intensywności drgań w przypadku informacji archiwalnych, dla których dysponuje się tylko wartością maksymalnego przyspieszenia drgań w paśmie niskoczęstotliwościowym - do 10 Hz. Dla dokonania porównania wskazań obu metod oceny wstrząsów przytoczono opisy jedynie tych poziomów kryterialnych, do których zaliczały się drgania wygenerowane przez wstrząsy.



Rys. 2. Opis stopni intensywności oddziaływania wstrząsów według skali GSI-GZWKW-2012A

Fig. 2. Description of degrees of intensity of mining tremors impact according to the GSI-GZWKW-2012A scale

Stopień 0 (słabo zauważalne)

Oddziaływanie drgań na budynki

Budynki zarówno w dobrym, jak też złym stanie technicznym, jak również o dużym naturalnym zużyciu - drgania całkowicie nieszkodliwe dla wszystkich elementów konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych budynków, niepowodujące powiększania się uszkodzeń istniejących w budynkach.

Oddziaływanie drgań na liniowe obiekty infrastruktury podziemnej

Drgania nieszkodliwe dla liniowych obiektów podziemnej infrastruktury technicznej.

Odczuwalność drgań przez ludzi: znikoma/słaba

Wstrząsy lokalizujące się w dolnej części stopnia 0 są praktycznie nieodczuwalne przez ludzi. Wstrząsy lokalizujące się w górnej strefie stopnia 0 są słabo odczuwalne przez ludzi znajdujących się w budynkach. Parametry drgań od wstrząsów w budynkach są porównywalne z poziomem lokalnych drgań wywołanych przez codzienną aktywność życiową (poruszanie się po mieszkaniu, zamykanie drzwi, wiercenie w ścianach itp.), a parametry drgań gruntu są porównywalne

z poziomem drgań wywołanych ruchem pojazdów. Dla silnych wstrząsów z dużej odległości epicentralnej, odczucia przypominają lekkie kołysanie w kierunku poziomym.

Uciążliwość: nieodczuwalna

Biorąc zatem pod uwagę kryteria przyjęte w skali GSI-GZWKW-2012A, wyznaczone parametry analizowanych wstrząsów wskazują, że oddziaływanie tych wstrząsów na analizowane budynki mieści się w 0 stopniu intensywności. Oznacza to, zgodnie z opisem tego przedziału oddziaływania w skali GSI-GZWKW-2012A, że odnotowane wstrząsy powodują „drgania całkowicie nieszkodliwe dla wszystkich elementów konstrukcyjnych oraz niekonstrukcyjnych budynków”, a jednocześnie nie powodują „powiększania się uszkodzeń istniejących w budynkach”.

Porównując ww. wyniki z oceną oddziaływania tych samych wstrząsów dokonaną według kryteriów skali KDOB, według której wartości kryterialne zarejestrowanych wstrząsów zaliczyły je do 1 stopnia oddziaływania, tzn., wstrząsy są „odczuwalne przez budynek, występują uszkodzenia elementów wykończeniowych (tynków, wypraw, gzymsów itp.), elementów wypełniających (ścian niekonstrukcyjnych, działowych itp.) oraz elementów wyposażenia budynków (pokryć dachowych, kominów budynków itp.), nie występują uszkodzenia elementów nośnych obiektów za wyjątkiem rys dopuszczalnych z punktu widzenia odpowiednich norm budowlanych” można zauważyć wyraźną różnicę (praktyczny brak ich wpływu - według skali GSI-GZWKW-2012A oraz możliwość wystąpienia niewielkich uszkodzeń - według skali KDOB) w ocenie oddziaływania wstrząsów na tę nieruchomość.

Biorąc pod uwagę wszystkie przedstawione uwarunkowania i okoliczności, można wskazać na związek przyczynowy pomiędzy szkodami w budynkach a sejsmicznością generowaną przez eksploatację prowadzoną przez przedsiębiorcę górniczego.

Doświadczenia autorów zdobyte podczas prowadzonych oględzin znacznej liczby różnorodnych obiektów poddawanych wpływom sejsmiczności indukowanej w konfrontacji z wynikami analizy wykonanej w prezentowanej pracy mogą uzasadniać tezę, że skala KDOB bardziej precyzyjnie niż skala GSI-GZWKW-2012A opisuje, zwłaszcza drobne, uszkodzenia powstające w obiektach budowlanych, szczególnie przy dużych odległościach hipocentralnych. Wynika to, najprawdopodobniej, z faktu, że zarówno tynki, jak też pokrywające ściany farby lub ceramika, zbudowane są z materiałów kruchych, o znikomym małych parametrach wytrzymałościowych. Materiały te dość łatwo ulegają drobnym uszkodzeniom mechanicznym. Konstatacja tego faktu pozwala tym samym przyjąć, że konieczne jest dalsze doskonalenie (uszczegóławianie) wykazu uszkodzeń, jakie mogą powstawać w budynkach podczas dynamicznego oddziaływania na nie wstrząsów górniczych. Dotyczy to szczególnie przypadków, gdy na obiekty oddziałują wstrząsy o największych energiach i w dużych odległościach. Na zaniżenie dokładności oceny wpływu zjawisk sejsmicznych na obiekty budowlane wpływa także fakt, że badania w celu określenia współczynnika amplifikacji ograniczone są, z reguły, do obszaru górniczego poszczególnych kopalń, co najmocniej uwidocznione jest w kopalniach zlokalizowanych na obrzeżach działających przedsiębiorców górniczych, zwłaszcza w rejonach „pозakoncecyjnych”, gdzie nie jest już planowana żadna eksploatacja, a także, często, nieznana jest budowa geologiczna górotworu w tych rejonach (głównie, choć nie jedynie, brak jest wiedzy o występującej tam tektonice mogącej wpływać na kierunkowość rozchodzenia się fali sejsmicznej, a tym samym na zmienność współczynnika amplifikacji).

5. Wnioski

1. Prowadzone w sądach powszechnych, liczne (nawet do ponad tysiąca spraw rocznie) oraz skomplikowane uwarunkowania górniczo-prawne występujące np. w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym spowodowały potrzebę opracowania sposobów określania parametrów sejsmicznych determinujących uznanie wpływu danego zjawiska za szkodliwe (lub też nieszkodliwe) dla konkretnych obiektów budowlanych. Jedną z ważniejszych (w ostatnich latach) propozycji rozwiązań w tym zakresie jest m.in. skala GSI-GZWKW-2012, która - np. w odmianie „przyspieszeniowej” - pozwala także na ocenę poziomu oddziaływania wstrząsów na obiekty w sytuacjach, gdy dostępne są jedynie dane archiwalne o zarejestrowanych zjawiskach sejsmicznych, a są niedostępne, lub nie były prowadzone pomiary *in situ*.
2. Wyniki przeprowadzonej analizy warunków hydrogeologicznych, geologicznych i górniczych oraz ocena wpływu wstrząsów górniczych generowanych eksploatacją przedsiębiorcy na analizowaną w pracy nieruchomość wykazały związek przyczynowy jedynie pomiędzy uszkodzeniami budynków a sejsmicznością indukowaną ruchem zakładu górniczego.
3. Porównanie wyników oceny wpływu wstrząsów na obiekty budowlane wykonanej z pomocą skali KDOB oraz skali GSI-GZWKW-2012A wskazuje na możliwe niedoszacowanie wielkości uszkodzeń stwierdzanych w budynkach, szczególnie dla niższych klas tej drugiej skali i w przypadkach, gdy na obiekty oddziałują wstrząsy o największych energiach zlokalizowane w dużych odległościach. Wydaje się być zatem celowe prowadzenie dalszych prac zmierzających do doprecyzowania możliwych skutków opisanych w poszczególnych klasach oddziaływania.
4. Doświadczenia autorów zdobyte podczas prowadzonych oględzin znacznej liczby różnorodnych obiektów poddawanych wpływom sejsmiczności indukowanej oraz wyniki analizy oddziaływania wstrząsów na te obiekty mogą uzasadniać tezę, że skala KDOB bardziej precyzyjnie niż skala GSI-GZWKW-2012A opisuje - szczególnie drobne - uszkodzenia powstające w obiektach budowlanych, zwłaszcza wskutek oddziaływania najsilniejszych wstrząsów przy dużych odległościach hipocentralnych, co pozwala przyjąć, że konieczne jest dalsze doskonalenie (uszczegóławianie) wykazu uszkodzeń, jakie mogą powstawać w budynkach podczas dynamicznego oddziaływania na nie wstrząsów górniczych. Dotyczy to szczególnie przypadków, gdy na obiekty oddziałują wstrząsy o największych energiach i w dużych odległościach.

5. Zaniżenie dokładności oceny wpływu zjawisk sejsmicznych na obiekty budowlane wynika m.in. z faktu, że badania mające na celu określenie wartości współczynnika amplifikacji ograniczone są - z reguły - do obszaru górniczego poszczególnych kopalń. Jednocześnie, w rejonach spoza obszarów górniczych, nie dość dokładnie rozpoznana jest ich budowa geologiczna, w tym budowa tektoniczna górotworu, mogąca wpływać na kierunkowość rozchodzenia się fali sejsmicznej, a tym samym na zmienność współczynnika amplifikacji drgań. Wszystkie te uwarunkowania powinny skłonić przedsiębiorców i ośrodki naukowe do powiększenia zakresu prowadzonych badań również o rejonu usytuowane nawet relatywnie daleko poza obszarami górniczymi czynnych kopalń.

Literatura

1. *Borecki M.* (red.): Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi, cz I, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1980.
2. *Dubiński J.* i inni: Górnicza Skala Intensywności GSI-GZWKW-2012, GIG - KWK S.A., (praca niepublikowana), Katowice 2012.
3. *Knothe S.*: Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej, Wyd. „Śląsk”, Katowice 1984.
4. *Kwiatek J. i inni*: Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych, Wydawnictwa GIG, Katowice 1998.
5. *Kwiatek J. i inni.*: Zasady oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych, Wydawnictwa GIG, Katowice 2000.
6. *Mutke G., Stec K.* (red.): Biuletyn najsilniejszych wstrząsów górotworu w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (Raport roczny), Katowice, rok 2010.
7. *Mutke G.*: Metoda prognozowania parametrów drgań podłoża generowanych wstrząsami górniczymi w obszarze GZW. Praca doktorska. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 1991.
8. PN-85/B-02170 - Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
9. *Sałustowicz A.*: Mechanika górotworu, Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze, Katowice 1955.
10. *Stec K.* (red.): Geologiczne przyczyny wzmocnienia drgań w nadkładzie serii węglowej na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, Wydawnictwa GIG, Katowice 2001.
11. Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. - Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. z 2011 r. Nr 163 poz. 981).
12. Załącznik do rozporządzenia Ministra Infrastruktury z 7 kwietnia 2004 r. (Dz.U. z 2004 r. Nr 109 poz. 1156) zmieniającego rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r. Nr 75 poz. 690).