

Monitoring sejsmiczny Urzędu Miasta Katowice – 20 lat obserwacji

Seismic monitoring of the City of Katowice – 20 years of observation



*Dr inż. Joanna Kurzeja**



*Mgr inż. Sabina Denysenko***

Treść: W artykule podzielono się doświadczeniami z dwudziestoletniego okresu prowadzenia ciągłych obserwacji drgań gruntu od wstrząsów górniczych w obszarze miasta Katowice. Monitoring sejsmiczny prowadzono kolejno w trzech różnych dzielnicach Katowic, takich jak Ligota, Panewniki oraz Ochojec. Rejestrowano drgania generowane nie tylko eksploatacją górniczą prowadzoną przez katowickie kopalnie, takie jak Murcki – Staszic czy też Wujek Ruch Śląsk, ale również kopalnie odległe, których wstrząsy charakteryzowały się dużymi wartościami magnitudy lokalnej. Do rejestracji drgań zastosowano system AMAX-99 wraz z zintegrowanym oprogramowaniem do ich interpretacji według rozwijanych skal intensywności, takich jak początkowo MSK-64, następnie GSI-GZW, GSI-GZW-2012 oraz najnowsza GSIS-2017. Utworzona z zarejestrowanych akcelerogramów i sejsmogramów baza dostarczyła również cennego materiału do prowadzonych prac naukowo-badawczych udokumentowanych wieloma publikacjami, o których jest mowa w artykule.

Abstract: The article presents experiences from quite a long period of twenty years of continuous observation of ground vibrations from mining tremors in the area of Katowice. Seismic monitoring was carried out successively in three different districts of Katowice such as Ligota, Panewniki and Ochojec. Vibrations were recorded not only in mining operations conducted by Katowice mines such as Murcki - Staszic or Śląsk, but also in distant mines, whose tremors were characterized by high magnitude values. The AMAX-99 system was used to record vibrations and integrated software to interpret them according to developed intensity scales such as initially MSK-64, then GSI-GZW, GSI-GZW-2012 and currently recommended GSIS-2017. The database created from registered accelerograms and seismograms has also provided valuable material for the conducted research work documented by many publications referred to in the article.

Słowa kluczowe:

wstrząsy górnicze, drgania gruntu, monitoring sejsmiczny

Keywords:

mining tremors, ground vibrations, seismometric monitoring

1. Wprowadzenie

Ogniska wstrząsów sejsmicznych indukowanych działalnością górniczą lokalizowane są bezpośrednio w rejonach eksploatacji lub w strefach dyslokacji tektonicznych (uskoków), przebiegających w pobliżu rejonu eksploatacji. Prawdopodobieństwo wystąpienia wstrząsu górniczego oraz jego siła zależą od wielu czynników geologiczno-górniczych. Rejony występowania wstrząsów oraz poziom aktywności sejsmicznej zmieniają się w czasie, tzn. aktywność sejsmiczna maleje na terenach pogórnich, a rośnie tam, gdzie rozpoczyna się kolejna faza eksploatacji. Pod koniec lat 90. XX wieku mieszkańcy Katowic, szczególnie dzielnic Ligota

i Panewniki, zgłaszali do Urzędu Miasta Katowice liczne skargi na działania kopalń powodujących szkody górnicze, a także z obawy o bezpieczeństwo własne i obiektów budowlanych poddanych drganiom wywołanych wstrząsami górotworu pochodzenia górniczego.

W odpowiedzi na zgłaszane problemy, realizując zadania dotyczące zapewnienia bezpieczeństwa obywateli oraz ładu przestrzennego i ochrony środowiska, wynikające z ustawy o samorządzie gminnym (Ustawa ... 1990), Urząd Miasta Katowice w 1999 roku zakupił system do pomiaru drgań powierzchni wywołanych wstrząsami górotworu AMAX-99. System składa się z jednego, przenośnego, trójskładowego stanowiska pomiarowego, którego lokalizacja dostosowywana jest do aktualnych potrzeb oraz z oprogramowania zainstalowanego na dwóch stanowiskach komputerowych. Funkcjonuje on do chwili obecnej jako „System kontrolno-pomiarowy dla

*) Główny Instytut Górnictwa

**) Urząd Miasta Katowice



Rys. 1. Fragment mapy Katowic z zaznaczonymi obszarami górniczymi oraz stanowiskami Amax-99 (st. Panewniki, st. CSK, st. SP56)

Fig. 1. Location of measurement stations of the Amax-99 system (st. Panewniki, st. CSK, st. SP56) and mining areas at the Katowice

oceny oddziaływania wstrząsów górniczych na powierzchnię” zwany w dalszej części artykułu „systemem”.

Od samego początku, najpierw nieformalnie, a od 2008 roku na podstawie corocznie odnawianej umowy, nadzór merytoryczny i techniczny nad systemem sprawuje Główny Instytut Górnictwa. Początkowo system został zainstalowany w Centralnym Szpitalu Klinicznym (CSK) w Katowicach-Ligocie. Po roku monitorowania wstrząsów aparatura została przeniesiona na teren Oczyszczalni w Katowicach-Panewnikach, a od lutego 2019 r. rejestruje drgania gruntu indukowane wstrząsami górotworu w Szkole Podstawowej nr 56 w Katowicach-Ochojcu. Fragment mapy terenu miasta Katowice wraz zaznaczonymi kolejnymi miejscami instalacji stanowiska AMAX-99 przedstawiono na rys. 1.

W publikacji przedstawiono doświadczenia z dwudziestoletniego okresu monitoringu drgań w Katowicach, wywołanych wstrząsami górniczymi w aspekcie rozpoznania intensywności oddziaływania wstrząsów górniczych na powierzchnię. Ponadto rozdział końcowy poświęcono materiałom publikacyjnym, które powstały w wyniku różnokierunkowych badań prowadzonych na bazie zarejestrowanych wstrząsów.

2. System kontrolno-pomiarowy AMAX-99

Prawidłowe decyzje inżynierskie związane z budownictwem na obszarach zagrożonych wstrząsami górniczymi wymagają ilościowego opisu charakterystyk wymuszenia kinematycznego podłoża na obiekt, w formie odpowiedniej do zastosowania właściwych skal oceny skutków drgań na powierzchnię. Wyróżnia się pośrednie metody opisu drgań wymuszających (metody przybliżone) oraz bezpośredni pomiar drgań w terenie (metoda dokładna).

Do bezpośredniego pomiaru drgań w terenie oraz do analizy zarejestrowanych sygnałów sejsmicznych i oceny potencjalnych skutków drgań na powierzchnię przy wykorzystaniu skali empirycznej służy aparatura sejsmometryczna AMAX-99 (Lurka 1999).

System rejestracji przyspieszeń drgań oparty jest na czujniku trójskładowym wykonanym z akcelerometrów piezoelektrycznych, zintegrowanych z przedwzmacniaczem we wspólnej obudowie. W przedwzmacniaczu sygnał jest elektronicznie całkowany na zapis prędkościowy. Na wyjściu przedwzmacniacza uzyskuje się oprócz sygnału przyspieszenia (do 3 m/s^2), również sygnał prędkości drgań dla maksymalnych amplitud w zakresie do 0.2 m/s . System zapewnia rejestrację sygnałów z dynamiką około $70\text{--}80 \text{ dB}$. Pasma rejestrowanych częstotliwości wynosi $1\text{--}100 \text{ Hz}$ (dla -3 dB).

Układ wyzwalania zapisów oraz odpowiednia rejestracja drgań dokonuje się poprzez oprogramowanie komputerowe SEJSGRAM współpracujące z kartą przetwornika A/C. Umożliwia ono przeprowadzanie wszelkich analiz sygnałów sejsmicznych niezbędnych do monitoringu, analizy i oceny zagrożenia sejsmicznego na powierzchni. System może być w łatwy sposób przeinstalowywany w różne miejsca, zgodnie z potrzebami i rozwojem sejsmiczności lokalnej w mieście. Aparatura uwzględnia dodatkową opcję, tzn. przesyłanie zarejestrowanych danych w terenie do komputera bazowego w oparciu o telefonię komórkową (system modemu). Wykonywane przynajmniej co dwa lata pomiary kalibracyjne systemu kontrolno-pomiarowego AMAX-99 obejmują pomiar charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych wszystkich kanałów rejestrujących.

- Analiza zarejestrowanych zapisów obejmuje wyznaczenie:
- maksymalnej prędkości drgań poziomych – $PGV_{H_{\max}}$ oraz przyspieszenia drgań poziomych w paśmie częstotliwości do 10 Hz – $PGA_{H_{10}}$,
 - czasu trwania składowych poziomych prędkości drgań gruntu na sejsmogramie, t_{Hv} oraz na akcelerogramie, t_{Ha} ,
 - stopnia pomiarowej intensywności sejsmicznej drgań w aktualnej skali w wersji prędkościowej i przyspieszeniowej.

3. Metody interpretacji drgań – skale intensywności

Jeszcze na początku XXI wieku, w celu oceny szkodliwości drgań przekazywanych z podłoża na obiekty budowlane w polskim górnictwie stosowano skale, powstałe w wyniku

klasyfikacji trzęsień ziemi. Pomimo swej niedoskonałości skale były użyteczne, a w przypadku braku odpowiednich danych, niezbędne do określenia efektów trzęsienia ziemi na powierzchni (Kwiatkiewicz 2002). Na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w problemach oddziaływania wstrząsów górniczych stosowano dwie skale: MSK-64 oraz lokalną skalę do oceny wpływu wstrząsów górotworu na budynki mieszkalne i użyteczności publicznej, nazwaną Klasyfikacją Dynamicznej Odporności Budynków (zwana też skalą KDOB).

Istotą skali MSK-64 jest werbalny opis oddziaływań na człowieka i jego otoczenie, obiekty budowlane i przyrodę, który stanowi zasadniczą i rozstrzygającą część skali. Dla ścisłej charakterystyki drgań na obiekty budowlane dokonano w skali MSK-64 jakościowego i ilościowego podziału obiektów na słabej, średniej i wysokiej trwałości. Interpretacja w oparciu o siedmiostopniową skalę MSK-64 opiera się o parametr przyspieszenia drgań podłoża w paśmie częstotliwości do 10 Hz.

Klasyfikacja Dynamicznej Odporności Budynków została opracowana i doświadczalnie zweryfikowana w Głównym Instytucie Górnictwa w latach 1984-1990. Szczegółowa charakterystyka tej skali przedstawiona została w publikacji (Muszyński 1993). Pięciostopniowa skala uwzględnia rodzaje i stan techniczny budynku. Podobnie jak w skali MSK-64, wykorzystuje parametr przyspieszenia drgań, ale w paśmie częstotliwości do 20 Hz.

Niedoskonałość stosowania tych dwu wymienionych skal objawiała się tym, że w wielu przypadkach wartości pomiarowe parametrów nie pokrywały się z faktycznymi obserwacjami oddziaływania drgań gruntu na obiekty powierzchniowe. Najczęściej dochodziło do zawyżania skutków oceny drgań, kiedy to możliwość wystąpienia szkód przyporządkowana do określonego stopnia intensywności nie znajdowała odzwierciedlenia w faktycznym oddziaływaniu drgań na obiekty powierzchniowe.

W 2008 roku wprowadzono nowe kryteria oceny wstrząsów z obszaru kopalń Kompanii Węglowej S.A. na powierzchnię, opracowane przez GIG w Katowicach jako „Zasady stosowania górniczej skali intensywności drgań GSI – GZW_{KW} do oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją złóż węgla kamiennego w zakładach górniczych Kompanii Węglowej S.A. na obiekty budowlane i na ludzi”. Zawarte w wymienionych „Zasadach...” skale opracowane zostały na podstawie licznego zbioru danych pomiarowych z rejonu kopalń KW S.A. W odniesieniu do budynków Górnicza Skala Intensywności GSI-GZW (Dubiński i in. 2008) pozwala na przybliżoną ocenę wpływu działania wstrząsów górniczych w zakresie od drgań nieszkodliwych, przez drgania powodujące uszkodzenia elementów wykończeniowych, aż do granicy, powyżej której możliwe jest wystąpienie uszkodzeń o charakterze konstrukcyjnym. Wyróżnia się dwie skale:

- GSI-GZW-V – wykorzystującą wartość maksymalnej, poziomej prędkości drgań gruntu (PGV_{Hmax}) i czas ich trwania (t_{HV}) – jest stosowana do przybliżonej oceny skutków wstrząsów zaistniałych oraz prognozowanych.
- GSI-GZW-A – pomocniczą, wykorzystującą wartość maksymalnego poziomego przyspieszenia drgań gruntu (PGA_{H10}) w paśmie częstotliwości do 10Hz i czasu ich trwania (t_{Ha}) – jest stosowana do przybliżonej oceny skutków drgań i w przypadku informacji archiwalnych.

Skala wyróżnia 4 stopnie, dla których opisano wpływ oddziaływania wstrząsów górniczych w budynkach i liniowych obiektach infrastruktury podziemnej oraz intensywność odczuwania drgań przez ludzi i uciążliwość użytkowania obiektów budowlanych, w korelacji z parametrami drgań.

W 2012 roku skala GSI-GZW została zweryfikowana (Barański i in. 2014a, 2014b) na podstawie zjawisk sejsmicz-

nych występujących w obszarze działania podziemnych zakładów górniczych wydobywających węgiel kamienny w Kompanii Węglowej S.A. W trakcie opracowywania, jak i weryfikacji skali, obserwacjami objęta była różnorodna zabudowa, charakterystyczna dla terenów GZW, w tym również obiekty o najsłabszych konstrukcjach i w złym stanie technicznym. W związku z powyższym wyznaczone granice stopni intensywności skali GSI-GZW z 2012r. (GSI-GZW-2012) uwzględniają również szkodliwość oddziaływania wstrząsów górniczych na typowe obiekty budowlane o najsłabszych konstrukcjach i znajdujące się w złym stanie technicznym. Przekroczenie granicy stopnia szkodliwości oznacza, że opisane skutki mogą, ale nie muszą wystąpić. Zweryfikowana skala wyróżnia 5 stopni, dla których opisano wpływ oddziaływania wstrząsów górniczych w budynkach i liniowych obiektach infrastruktury podziemnej, a także intensywność odczuwania drgań przez ludzi i uciążliwość użytkowania obiektów budowlanych, w korelacji z parametrami drgań.

Aktualnie stosowana Górnicza Skala Intensywności Sejsmicznej GSIS-2017 została opracowana w latach 2016-2017 w Głównym Instytucie Górnictwa i jest skalą empiryczno-pomiarową, która opisuje potencjalne skutki drgań, jakie mogą wystąpić w budynkach w wyniku wstrząsów pochodzenia górniczego w korelacji z pomierzonymi, względnie obliczonymi parametrami drgań na powierzchni. Jest ona kolejną wersją wykorzystującą doświadczenia wcześniej opracowanych propozycji skali GSI-GZW i GSI-GZW-2012 wykonanych dla kopalń ówczesnej Kompanii Węglowej S.A. oraz skali MSIS-15, w której wykorzystano dane nie tylko z kopalń polskich, ale również z kopalń niemieckich i czeskich (Mutke 2019).

W 2018 r. wprowadzono nowe kryteria oceny wpływu wstrząsów z obszaru kopalń węgla kamiennego na powierzchnię, opracowane przez GIG w Katowicach jako „Zasady stosowania górniczej skali intensywności sejsmicznej GSIS-2017 do prognozy i oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją na obiekty budowlane oraz klasyfikacji ich odporności dynamicznej” (Mutke i in. 2018). 19 stycznia 2018r. Uchwałą nr 1/2018 Komisji do spraw Ochrony Powierzchni przy Wyższym Urzędzie Górniczym, wymienione zasady (Mutke i in. 2018) zalecone zostały do stosowania w kopalniach węgla kamiennego.

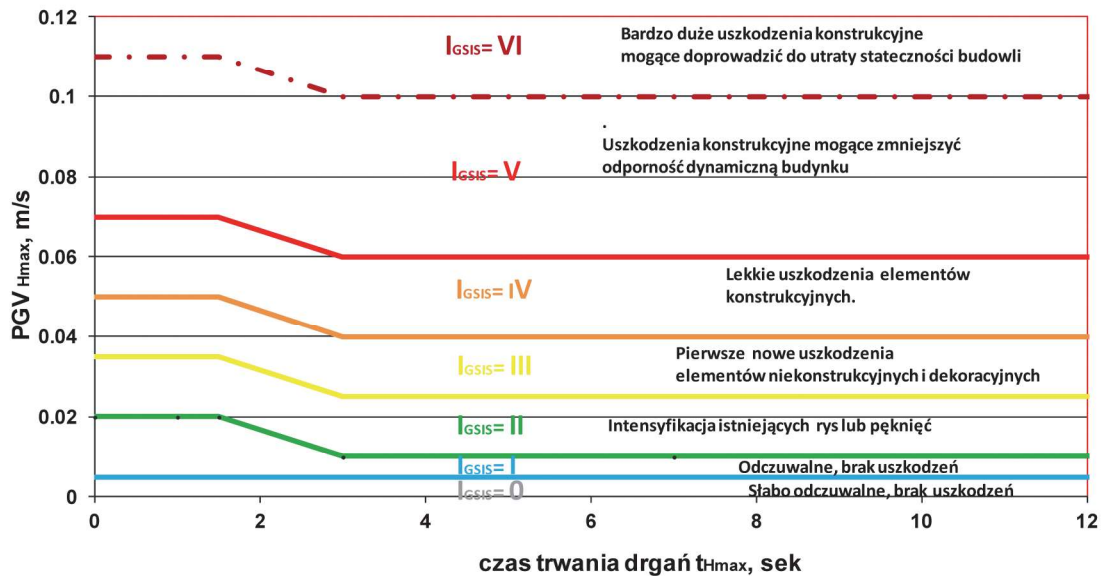
Według „Zasad...” oddziaływanie wstrząsu wyraża się przez pomiarową intensywność sejsmiczną w skali 7-stopniowej (rys. 2). Zaliczenia do odpowiedniego stopnia dokonuje się na podstawie parametrów drgań pochodzących z bezpośrednich rejestracji sejsmologicznych lub wartości prognozowanych na podstawie równań empirycznych, tj. amplitudy prędkości drgań poziomych PGV_{Hmax} i czasu ich trwania t_{HV} . Ważnym efektem zastosowania skali GSIS-2017 jest standaryzacja oceny oddziaływania wstrząsów górniczych na środowisko powierzchniowe w całym zagłębiu GZW i LZW oraz możliwość rozstrzygnięcia z jej wykorzystaniem spornych kwestii związanych z oceną skutków oddziaływania wstrząsów górniczych między przedsiębiorcą górniczym a społecznością lokalną, urzędami gmin i miast oraz sądami.

Skala GSIS-2017 uwzględnia następujące typy budynków:

- budynki o konstrukcji tradycyjnej i tradycyjnej - ulepszonej, czyli ogólnie budynki murowane z cegły lub innych elementów drobnowymiarowych, posiadające ścianowe układy nośne,
- budynki ścianowe o konstrukcji betonowej i/lub żelbetonowej,
- budynki szkieletowe o konstrukcji żelbetonowej lub stalowej, z uwzględnieniem:

- skutków oddziaływania drgań na budynki w złym stanie technicznym,

Górnicza Skala Intensywności Sejsmicznej (GSIS-2017)



Rys. 2. Syntetyczny opis potencjalnych skutków drgań dla poszczególnych stopni intensywności sejsmicznej w skali GSIS-2017 dla budynków w zabudowie tradycyjnej i tradycyjnej – ulepszonej w dobrym stanie technicznym przedstawiony na podkładzie graficznym (Mutke i in. 2018)

Fig. 2. Synthetic description of potential effects of vibrations for particular degrees of seismic intensity in the GSIS-2017 scale for buildings in traditional and traditional buildings - improved in good technical condition presented on a graphical basis (Mutke i in. 2018)

- skutków oddziaływania drgań na wrażliwe sejsmicznie budowle zabytkowe.

Drgania przypisane do określonego stopnia intensywności mogą, ale nie muszą wywołać skutki przypisane danemu stopniowi skali.

4. Monitoring sejsmiczny prowadzony przez Urząd Miasta Katowice

System pomiarowy do rejestracji drgań gruntu Urzędu Miasta Katowice w okresie 20 lat obserwacji był trzykrotnie przebudowywany. Rozmieszczenie stanowisk z aparaturą AMAX-99 wynikało ze zmieniających się w kolejnych latach rejonów eksploatacji górniczej kopalń oraz związanej z tym aktywności sejsmicznej przejawiającej się oddziaływaniem wstrząsów na powierzchnię. Rozpoznanie intensywności tego oddziaływania i ocena zagrożenia z tym związanego zawsze podyktowane było zapewnieniem bezpieczeństwa mieszkańców zgodnie z Ustawą z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym.

4.1. Centralny Szpital Kliniczny w Katowicach Ligocie

A. Opis stanowiska

W grudniu 1999 roku, aparatura AMAX-99 została zainstalowana w Centralnym Szpitalu Klinicznym w Katowicach-Ligocie. Wybór miejsca związany był ze zgłaszanymi przez dyrekcję szpitala skargami na często odczuwalne wstrząsy. Obawiano się wystąpienia szkód górniczych w budynkach i jego infrastrukturze. Akcelerometry zostały sztywno przymocowane do ściany nośnej budynku tuż nad fundamentem.

W budowie geologicznej w rejonie szpitala CSK występują utwory czwartorzędu, neogenu i karbonu. Osady czwartorzędu są reprezentowane przez wodnolodowcowe piaski różno-

ziarniste, pyły i żwiry zlodowacenia środkowo-polskiego i tworzą w tym rejonie terasę plejstoceńską o miąższości ok. 40 m. Pod utworami czwartorzędownymi występują osady neogenu wykształcone w postaci mioceńskich ilów, mułków i piasków o miąższości ok. 40 m. Poniżej zalegają osady karbońskie wykształcone w postaci piaskowców, łupków ilastych, mułowców i węgli. Rejon szpitala znajduje się w zasięgu Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 331 Dolina Kopalna rzeki Górna Kłodnica, w obszarze płytkiego zalegania wód podziemnych. Około 1,5 km na północ od terenu szpitala przebiega strefa uskoku Kłodnickiego.

B. Opis rejestracji

Rejestracje w CSK prowadzone były od 15.12.1999 r. do 28.11.2000 r. W trakcie rocznych pomiarów powstała baza, składająca się z 94 zarejestrowanych zjawisk. Po dokonaniu korelacji zdarzeń zarejestrowanych na stanowisku w CSK z danymi o wstrząsach z bazy Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej GIG, uzyskano informacje o 64 wstrząsach górniczych zarejestrowanych przez stanowisko powierzchniowe w budynku CSK. Zestawienie informacji o zarejestrowanych wstrząsach i parametrach drgań przedstawiono w tabeli 1.

Najwyższa wartość zarejestrowanego wypadkowego przyspieszenia drgań fundamentu budynku CSK w zakresie częstotliwości do 10 Hz wyniosła 20,7 mm/s². W całym okresie rejestracji tylko w 9 przypadkach przyspieszenia przekroczyły 10 mm/s². W większości były to zapisy wstrząsów o energii rzędu 10⁶ J, których ogniska były zlokalizowane ok. 3,0 km od stanowiska pomiarowego, głównie na ówczesnym obszarze górniczym KWK Śląsk.

Roczna obserwacja i analiza drgań zarejestrowanych w budynku Centralnego Szpitala Klinicznego w Katowicach-Ligocie pozwoliła na ustalenie, że wstrząsy górnicze nie stanowią zagrożenia dla obiektów CSK (Mutke, Denysenko 2001). Pod

Tabela 1. Zestawienie informacji o zarejestrowanych parametrach drgań oraz wstrząsach górniczych na stanowisku w CSK w Katowicach-Ligocie od 15.12.1999 r. do 28.11.2000 r.

Table 1. Summary of information on recorded parameters of mining vibrations and shocks at the measuring station at CSK in Katowice-Ligota from 15. 12. 1999 to 28. 11. 2000

Liczba zarejestrowanych zdarzeń	Liczba zarejestrowanych wstrząsów	Zakres energii zarejestrowanych wstrząsów [J]	Zakres odległości epicentralnych [m]	Maksymalna zarejestrowana wartość aMSK [mm/s ²]
94	64	9·10 ⁴ ÷ 8·10 ⁷	1908 ÷ 7642	20,7

a_{MSK} – maksymalne przyspieszenie wypadkowe w zakresie częstotliwości do 10 Hz

koniec 2000 r., w związku z tym, że w ciągu roku istnienia stanowiska pomiarowego nie zarejestrowano w CSK przyspieszeń o wartości powyżej 50 mm/s² oraz w związku z licznie zgłaszanymi do urzędu skargami na uciążliwość wstrząsów górniczych w Katowicach-Panewnikach, przeniesiono aparaturę w ten rejon.

4.2. Oczyszczalnia Ścieków w Katowicach-Panewnikach

A. Opis stanowiska

W grudniu 2000 roku trójskładowe stanowisko pomiarowe zainstalowano na terenie Oczyszczalni Ścieków „Panewniki” w Katowicach przy ul. Panewnickiej 330, bezpośrednio w rejonie strefy uskoku Kłodnickiego. Czujniki zamontowano w gruncie. Po kilku latach, KWK Wujek zainstalowała obok w budynku własne stanowisko, z czujnikiem zamontowanym na ścianie.

W budowie geologicznej rejonu Oczyszczalni Ścieków „Panewniki” biorą udział utwory czwartorzędu, neogenu, triasu i karbonu. Utwory czwartorzędu są reprezentowane przez osady terasy holocenijskiej wykształcone w postaci pyłów, piasków drobno- i średnioziarnistych oraz żwirów rzecznych, podścielone osadami plejstocenijskimi wykształconymi w postaci piasków różnoziarnistych, mułów, ilów oraz glin pochodzenia wodnolodowcowego i osiagają na tym terenie miąższość ok. 70 m. Pod utworami czwartorzędownymi występują osady neogenu o miąższości ok. 40 m, wykształcone w postaci mioceńskich ilów marglistych, zawierających wkładki margli, żwirów i słabozwięzłych piaskowców. Trias w tym rejonie osiąga miąższość ok. 40 m i jest reprezentowany przez utwory facji wapienia muszlowego wykształcone w postaci wapieni falistych i wapieni krystalicznych oraz przez utwory facji pstrego piaskowca wykształcone w postaci wapieni, dolomitów, ilów, piasków i piaskowców. Poniżej zalegają utwory karbonu produktywnego reprezentowane przez warstwy orzeskie, rudzkie i siodłowe wykształcone w postaci piaskowców, łupków ilastych, mułowców i węgla. Rejon Oczyszczalni Ścieków „Panewniki” znajduje się w zasięgu Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 331 Dolina Kopalna rzeki Górna Kłodnica, w obszarze płytkiego zalegania wód podziemnych.

Wydaje się, że wysoka aktywność sejsmiczna obserwowana w rejonie Katowice-Panewniki mogła mieć związek z budową tektoniczną tego terenu. Dominującą strukturą tektoniczną na tym obszarze jest strefa uskoku Kłodnickiego, która charakteryzuje się równoleżnikowym przebiegiem, zmienną amplitudą zrzutów oraz zmiennym kątem nachylenia płaszczyzny uskoku. Generalnie uskok Kłodnicki zrzuca warstwy na południe. W omawianym rejonie wielkość zrzutu wynosi ok. 100 m. Uskokowi Kłodnickiemu towarzyszy szereg mniejszych uskoku o zrzutach od kilku do kilkunastu metrów, układających się schodkowo lub wachlarzowato oraz uskoki o kierunku NE-SW, o zrzutach od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Powoduje to, że górotwór pocięty jest na

szereg bloków tektonicznych różnej wielkości, przesuniętych względem siebie w pionie i w poziomie. Taka budowa tektoniczna wiąże się z dużą podatnością na wszelkie, wynikające z eksploatacji górniczej, deformacje górotworu, które mogą być źródłem wysokoenergetycznych wstrząsów górniczych.

Stanowisko pomiarowe zainstalowane na terenie Oczyszczalni Ścieków „Panewniki” znajdowało się ok. 700 m na S od uskoku Kłodnickiego w jego skrzydle zrzuconym (zrzut ok. 50 m) i ok. 100 m na NW od uskoku VIa o kierunku przebiegu NNE-SSW, w jego skrzydle wiszącym.

B. Opis rejestracji

Rejestrację wstrząsów w Oczyszczalni Ścieków „Panewniki” uruchomiono 7 grudnia 2000 r. Do 29.01.2019 r., na stanowisku pomiarowym w oczyszczalni, zarejestrowano ogółem 7854 akcelerogramy, głównie wstrząsów z takich kopalń jak: Wujek Ruch Śląsk, Halemba, Bielszowice, Murcki – Staszic, Budryk z odległości epicentralnych od kilkuset metrów do kilkunastu kilometrów.

Zestawienie informacji o zarejestrowanych wstrząsach i parametrach drgań przedstawiono w tabeli 2.

Większość wstrząsów charakteryzowała się niewielkimi przyspieszeniami drgań gruntu (poniżej 30 mm/s²). Ponad 1470 wstrząsów spowodowało przyspieszenia, które były odczuwalne dla mieszkańców przede wszystkim dzielnicy Katowice-Panewniki, ale wystąpiło również kilka spektakularnych zjawisk. Były to wstrząsy generowane eksploatacją kopalni Wujek Ruch Śląsk. Wysoka energia sejsmiczna, liczne uszkodzenia budynków w strefie epicentralnej oraz znaczny zasięg odczuć na powierzchni (w ościennych miastach GZW), szczególnie w kierunku rozciągłości uskoku VIa oraz sąsiedniego uskoku Kłodnickiego, wskazywały na ich regionalny charakter. Przyczyną wystąpienia tego typu wstrząsów mogło być współdziałanie tektonicznych naprężeń rezydualnych istniejących w górotworze z naprężeniami wywołanymi pracami górniczymi. Najsilniej zarejestrowany na tym stanowisku wstrząs wystąpił 18 kwietnia 2015 r. o energii 4·10⁹ J z odległości epicentralnej około 910 m. Na rys. 3 przedstawiono jego akcelerogram oraz seismogram wraz z interpretacją według aktualnej wówczas skali GSI-GZW-2012.

Rejestracja na stanowisku w Oczyszczalni „Panewniki” prowadzona była przez ponad 18 lat, do stycznia 2019 roku. Zebrane w tym okresie obserwacje były opracowywane i analizowane w różnych aspektach, m. in. badano mechanizm i parametry źródła ognisk wstrząsów, rozkład radiacji sejsmicznej, zjawisko lokalnej amplifikacji drgań związanej z budową geologiczną podłoża oraz wpływ tych czynników na wielkość amplitud rejestrowanych przyspieszeń drgań gruntu.

Bezpośrednią przyczyną zakończenia rejestracji w tym rejonie była likwidacja Ruchu Śląsk KWK Wujek, zakończenie eksploatacji i związany z tym spadek liczby rejestrowanych wstrząsów o wysokich wartościach przyspieszeń.

Tabela 2. Zestawienie informacji o zarejestrowanych parametrach drgań oraz wstrząsach górniczych na stanowisku w Oczyszczalni Ścieków w Katowicach-Panewnikach od 7.12.2000 r. do 29.01.2019 r.

Table 2. Summary of information on recorded parameters of mining vibrations and shocks at the measuring station in Katowice-Panewniki from 17.12.2000 to 29.01.2019

Rok	Liczba zarejestrowanych zdarzeń	Liczba zarejestrowanych wstrząsów	Zakres energii zarejestrowanych wstrząsów [J]	Zakres odległości epicentralnych [m]	Maksymalna zarejestrowana wartość aMSK [mm/s ²]
XII 2000	nieznana	9	$1 \cdot 10^5 \div 3 \cdot 10^7$	1172 ÷ 5269	70,5
2001	146	141	$2 \cdot 10^4 \div 9 \cdot 10^7$	986 ÷ 5393	810,6
2002	98	80	$9 \cdot 10^4 \div 9 \cdot 10^7$	628 ÷ 3471	384,6
2003	284	141	$9 \cdot 10^4 \div 4 \cdot 10^8$	650 ÷ 6391	527,2
2004	330	82	$7 \cdot 10^4 \div 9 \cdot 10^7$	875 ÷ 8760	181,8
2005	365	69	$5 \cdot 10^4 \div 7 \cdot 10^7$	472 ÷ 8573	144,7
2006	701	347	$5 \cdot 10^4 \div 2 \cdot 10^8$	557 ÷ 7470	402,5
2007	308	51	$1 \cdot 10^5 \div 9 \cdot 10^6$	661 ÷ 4334	131,3
2008	242	61	$7 \cdot 10^4 \div 8 \cdot 10^7$	626 ÷ 4162	1314,5
2009	236	41	$1 \cdot 10^5 \div 8 \cdot 10^7$	675 ÷ 4164	949,4
2010	114	6	$1 \cdot 10^5 \div 6 \cdot 10^6$	1171 ÷ 7329	42,2
2011	420	91	$5 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^7$	637 ÷ 8723	265,4
2012	664	125	$5 \cdot 10^4 \div 2 \cdot 10^8$	643 ÷ 8601	333,4
2013	259	143	$2 \cdot 10^4 \div 1 \cdot 10^7$	229 ÷ 11805	466,3
2014	1023	359	$5 \cdot 10^4 \div 8 \cdot 10^8$	444 ÷ 14913	887,8
2015	945	351	$6 \cdot 10^2 \div 4 \cdot 10^9$	485 ÷ 7673	1719,1
2016	869	71	$2 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^7$	586 ÷ 10581	896,6
2017	678	70	$1 \cdot 10^5 \div 3 \cdot 10^8$	769 ÷ 11400	428,3
2018	132	27	$2 \cdot 10^5 \div 4 \cdot 10^8$	2880 ÷ 13206	90,9
I 2019	30	6	$3 \cdot 10^5 \div 2 \cdot 10^7$	3423 ÷ 7796	59,2

aMSK – maksymalne przyspieszenie wypadkowe w zakresie częstotliwości do 10 Hz

4.3. Szkoła Podstawowa nr 56 w Katowicach-Ochojcu

A. Opis stanowiska

W lutym 2019 r. stanowisko pomiarowe zostało przeniesione i zainstalowane w budynku Szkoły Podstawowej nr 56 przy ul. Spółdzielczości 21 w Katowicach-Ochojcu (obecnie Zespół Szkół Ogólnokształcących nr 2). Czujniki pomiarowe umieszczono na fundamencie budynku. Nową lokalizację stanowiska pomiarowego wybrano ze względu na obserwowaną w tym okresie (i prognozowaną na następne lata) zwiększoną aktywność sejsmiczną, związaną z eksploatacją górniczą KWK Murcki – Staszic pomiędzy dzielnicami: Murcki, Giszowiec i Ochojec.

Obszar Katowic, w którym zainstalowano stanowisko pomiarowe posiada złożoną budowę geologiczną, lokalnie dość słabo udokumentowaną głębokimi otworami.

Na podstawie dostępnych materiałów można stwierdzić, że głębsze podłoże tego terenu budują utwory karbonu wykształcone w postaci piaskowców, łupków ilastych, mułowców i węgla. Strop karbonu w rejonie Szkoły Podstawowej nr 56 zalega prawdopodobnie na głębokości ok. 35 m p.p.t. i zapada w kierunku zachodnim. Od powierzchni terenu do głębokości ok. 15,0 m występują utwory czwartorzędowe, stanowiące osady akumulacji rzecznej i rzeczno-zastoiskowej, wykształcone w postaci piasków różnoziarnistych, pyłów i glin, z przypowierzchniową warstwą namulów i torfów, przykryte współczesnymi nasypami. Poniżej prawdopodobnie zalegają plejstocenijskie osady wodnolodowcowe, podścielone utworami neogenu, który w tym rejonie może lokalnie występować w formie nieciągłych płatów. Rejon Szkoły Podstawowej nr 56 pozostaje poza zasięgiem Głównego Zbiornika Wód Podziemnych, znajduje się jednak w obszarze płytkiego zalegania wód podziemnych.

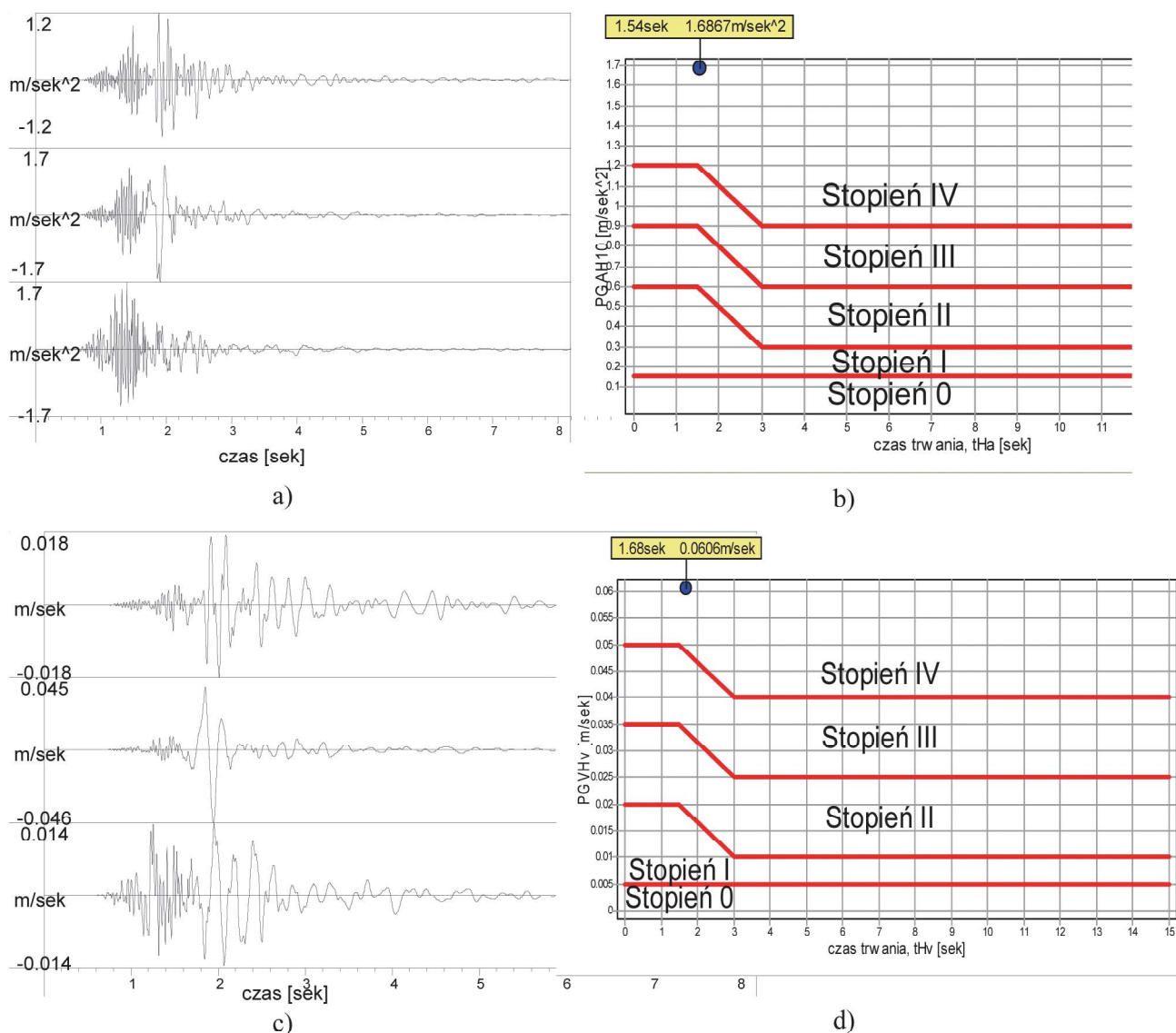
Pod względem tektonicznym teren szkoły znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie krzyżujących się dwóch struktur: ok. 80,0 m na południe od uskoku Famurowskiego, który w tym rejonie charakteryzuje się równoleżnikowym przebiegiem i zrzutem ok. 10 m, oraz ok. 100,0 m na wschód od uskoku Podleskiego o kierunku NE-SW i zrzucie ok. 30 m. W odległości ok. 1 km na wschód od stanowiska w SP 56 przebiegają uskoki: uskok Środkowy oraz uskok Jakub, o kierunku N-S i zrzucie ok. 50 m. Prawdopodobnie rozdzielają one górotwór pomiędzy prowadzoną eksploatacją KWK Murcki – Staszic, czyli strefą ognisk wstrząsów a rejestratorem.

B. Opis rejestracji

Rejestracja na stanowisku w budynku Szkoły Podstawowej nr 56 prowadzona jest od lutego 2019 roku. Po roku obserwacji, z wyłączeniem okresów doboru i testowania parametrów rejestracji, powstała baza akcelerogramów, składająca się z 70 zarejestrowanych zdarzeń. Po dokonaniu korelacji zapisów zarejestrowanych na stanowisku w SP 56 z danymi o wstrząsach z bazy GRSS GIG uzyskano informacje o 31 wstrząsach górniczych zarejestrowanych przez stanowisko powierzchniowe w budynku szkoły.

Zestawienie informacji o zarejestrowanych wstrząsach i parametrach drgań przedstawiono w tabeli 3.

Jeden rok prowadzonych na stanowisku rejestracji i niewielka ilość zgromadzonego materiału nie upoważnia do wyciągania daleko idących wniosków. Niewątpliwie odległości epicentralne wstrząsów (od ok. 2,5 km) do najbliższej eksploatacji KWK Murcki – Staszic oraz budowa geologiczna (uskoki) są prawdopodobnie przyczyną niższych wartości rejestrowanych parametrów drgań gruntu. Dotychczas drgania te mieściły się w 0 stopniu intensywności zgodnie ze skalą GSIS-2017. Można powiedzieć, że wyniki rejestracji są



Rys. 3. Wstrząs z dnia 18.04.2015 r. o energii 4E9 J (lokalna magnituda 4.1) zarejestrowany na stanowisku pomiarowym w Katowicach – Panewnikach: a) akcelerogram, b) wyniki analizy akcelerogramu wstrząsu wg skali GSI-GZW-2012-A, c) sejsmogram, d) wyniki analizy sejsmogramu wstrząsu wg skali GSI-GZW-2012-V

Fig. 3. The tremor dated April 18, 2015 with an energy of 4E9 J (local magnitude 4.1) recorded at the seismic station in Katowice – Panewniki: a) accelerogram, b) the result of accelerogram analysis according to GSI-GZW-2012-A scale, c) seismogram, d) the result of accelerogram analysis according to GSI-GZW-2012-V scale

Tabela 3. Zestawienie informacji o zarejestrowanych parametrach drgań oraz wstrząsach górniczych na stanowisku w SP 56 w Katowicach-Ochojcu od 1.02.2019 r. do 20.02.2020 r.

Table 3. Summary of information on recorded parameters of mining vibrations and shocks at the measuring station at SP 56 in Katowice-Ochojec from 1.02.2019 to 20.02.2020

Rok	Liczba zarejestrowanych zdarzeń	Liczba zarejestrowanych wstrząsów	Zakres energii zarejestrowanych wstrząsów [J]	Zakres odległości epicentralnych [m]	Maksymalna zarejestrowana wartość aMSK [mm/s ²]
2019	50	22	1·105 ÷ 6·107	2356 ÷ 7413	38,5
I-II 2020	20	9	1·105 ÷ 2·107 (2·109J KWK Budryk)	2012 ÷ 7029 (~24000)	72,3

a_{MSK} – maksymalne przyspieszenie wypadkowe w zakresie częstotliwości do 10 Hz

zgodne z obserwacją społeczną, gdyż generalnie mieszkańcy dzielnicy Ochojec nie skarżą się na uciążliwości związane z występowaniem wstrząsów wywołanych eksploatacją górniczą zlokalizowaną na wschód od tej dzielnicy.

5. Udokumentowane wyniki badań naukowych wykorzystujących rejestracje na stanowiskach

Dwudziestoletni okres dokumentowania wyników obserwacji drgań gruntu od wstrząsów górniczych na kolejnych stanowiskach pomiarowych Urzędu Miasta Katowice dostarczył danych do utworzenia obszernej bazy. Powiększona sukcesywnie baza stanowiła przez lata materiał wykorzystywany w pracach badawczych, co skutkowało pojawieniem się różnorodnych publikacji. Pierwsza publikacja (Mutke, Denysenko 2001) dotyczyła interpretacji oceny stopnia zagrożenia zabudowy powierzchniowej zjawiskami dynamicznymi, takimi jak wstrząsy górnicze. Przeprowadzone analizy dla budynku Centralnego Szpitala Klinicznego w Katowicach-Ligocie oraz zabudowy rejonu Katowice-Panewniki wykazały, że wstrząsy górnicze w pierwszych dwóch latach obserwacji aparaturą AMAX-99 nie stanowiły zagrożenia dla obiektów budowlanych pomimo uciążliwości i dyskomfortu dla lokalnej społeczności (mieszkańców). W przypadku rejestracji z Panewniki w zapisach drgań od zaistniałych wstrząsów oprócz mody niskoczęstotliwościowej stwierdzono występowanie również mody drgań wysokoczęstotliwościowych. Drgania takie nie są groźne dla zabudowy, ale są szczególnie intensywnie odczuwane przez ludzi.

W związku z posadowieniem stanowiska na terenie Oczyszczalni Ścieków w Katowicach-Panewnikach, w strefie dużych dyslokacji tektonicznych (uskoków) oraz wysoką aktywnością sejsmiczną prowadzono również badania nad zależnością pomiędzy mechanizmem ognisk wybranych wstrząsów, a charakterem drgań na powierzchni. W publikacji (Stec, Denysenko 2003) przedstawiono wyniki analizy około dwustu akcelerogramów z trzech lat rejestracji pod kątem zarejestrowanych parametrów drgań, a dla wybranych wstrząsów przeprowadzono analizę mechanizmu ognisk i parametrów źródła. Wnioski wynikające z przeprowadzonych badań potwierdziły, że mechanizm wstrząsów górotworu odzwierciedla lokalne pole tektoniczne. Jedną z przyczyn zarejestrowanych stosunkowo wysokich wartości przyspieszeń drgań była kierunkowość radiacji sejsmicznej. Szczególnie predysponowane były dwa kierunki, jeden zbliżony do biegu uskoku Kłodnickiego, a drugi do biegu uskoku VIa.

Pomiary sejsmiczne wykonano techniką analizy fal powierzchniowych (MASW), pozwoliły na udokumentowanie przyczyny anomalnie silnych drgań występujących lokalnie przy ul. Panewnickiej. Przyczyną tych rozbieżności, jak się okazało, jest lokalna budowa podłoża bezpośrednio pod stanowiskiem pomiarowym. W rejonie oczyszczalni występuje podłoże o bardzo niskiej prędkości drgań fali poprzecznej do głębokości 18 metrów, z wkładką wyższych prędkości na głębokości 10 m (inwersja prędkości). Taki układ litologiczny powoduje znaczne wzmocnienie drgań dla pewnych grup wstrząsów, w stosunku do rejestracji w innych miejscach Panewniki (Lasek i in. 2004).

Występujące w trakcie eksploatacji KWK Śląsk silne wstrząsy górnicze o charakterze regionalnym, które powodowały stwierdzone uszkodzenia w infrastrukturze mieszkalnej, stały się podstawą do szeregu analiz. Rejestracje na stanowisku w Katowicach-Panewnikach wraz z rejestracjami tego samego wstrząsu na nieodległych stanowiskach KWK Wujek stały się przedmiotem wielowymiarowych analiz. Przykładem jest publikacja (Stec, Mutke 2016), w której przedstawiono

mechanizm ognisk dwóch wysokoenergetycznych wstrząsów oraz charakterystykę intensywności ich oddziaływania na środowisko powierzchniowe. Wstrząsy te wystąpiły w wyniku sumowania się naprężeń wywołanych podziemną eksploatacją prowadzoną w otoczeniu naturalnych uskoków, którym towarzyszą niezrelaksowane naprężenia tektoniczne.

Na podstawie sejsmogramów cyfrowych zarejestrowanych na powierzchni, w tym na stanowisku Urzędu Miasta, wykonana została interpretacja drgań w celu wyznaczenia stopnia intensywności według aktualnej w tym czasie Górniczej Skali Intensywności drgań, GSI-GZW-2012.

Analiza drgań w wyniku wstrząsu KWK Śląsk w 2015 roku wraz z ich korelacją ze stwierdzonymi uszkodzeniami w budynkach oraz odczuciami mieszkańców była również przedmiotem innej publikacji (Pilecka i in. 2017). Badano w niej wpływ strefy tektonicznej uskoku Kłodnickiego na wielkość uszkodzeń w budynkach w wyniku wstrząsu. Wykazano w niej zależność statystyczną pomiędzy odległością uszkodzonych budynków od strefy uskoku z wartością składowej poziomej prędkości drgań gruntu w miejscu posadowienia uszkodzonego budynku.

Usytuowanie dwóch stanowisk, w odległości zaledwie kilku metrów, na terenie Oczyszczalni Ścieków w Katowicach-Panewnikach, tzn. stanowiska z czujnikiem w gruncie, Urzędu Miasta oraz stanowiska kopalni Wujek z czujnikiem drgań posadowionym na ścianie nośnej nad fundamentem w budynku stało się przyczyną analiz skutkujących kilkoma publikacjami. Badano w nich wpływ parametrów wstrząsów na interakcję dynamiczną grunt – budynek w odniesieniu do prędkości i przyspieszenia drgań. We wnioskach przedstawiono, że klasyfikacja stopnia intensywności drgań od tego samego wstrząsu może się istotnie różnić w zależności od tego czy oceny dokonywano na podstawie drgań gruntu, czy na podstawie jednocześnie mierzonych drgań fundamentu budynku (Kuźniar i in. 2018). Zauważono również wyraźny wpływ najważniejszych parametrów wstrząsu górniczego (tj. odległości epicentralnej, energii wstrząsu górniczego, wartości szczytowej drgań) na stosunek widm odpowiedzi w kolejnych zakresach tych parametrów. Wniosek dotyczący silnej zależności charakteru transmisji widma odpowiedzi funkcji przejścia z gruntu na budynek jest szczególnie istotny dla praktyki (Kuźniar i in. 2019).

6. Podsumowanie

W ciągu dwudziestu lat prowadzenia przez Urząd Miasta w Katowicach monitoringu sejsmicznego systemem AMAX-99, na terenie miasta zarejestrowano wiele wstrząsów, które wzbudzały wśród mieszkańców niepokój, a w kilku przypadkach oddziaływania te w strefie epicentralnej okazały się nie bez znaczenia dla zabudowy. Zestawienie informacji o rejestrowanych wstrząsach w kolejnych latach przedstawiono w tabelach 1-3. Ocenę oddziaływania wstrząsów górniczych na powierzchnię prowadzono we współpracy z Głównym Instytutem Górnictwa w oparciu o metody wynikające z aktualnie weryfikowanych skal intensywności drgań.

Pierwszy etap prowadzonej rejestracji w Centralnym Szpitalu Klinicznym w Katowicach-Ligocie pozwolił na ustalenie, że występujące wstrząsy górnicze w okresie listopad 1999 r. – listopad 2000 r. nie stanowiły zagrożenia dla budynku szpitala oraz jego infrastruktury.

Po przeniesieniu stanowiska na teren Oczyszczalni Ścieków w Katowicach-Panewnikach, ze względu na niepokojące informacje ze strony mieszkańców tej dzielnicy o odczuwanych wstrząsach, głównym celem monitoringu było określenie wielkości drgań wywołanych eksploatacją

kopalni Wujek Ruch Śląsk oraz ocenę ich szkodliwości na zabudowania. W latach grudzień 2000 r. – styczeń 2019 r., czyli aż do wygaszenia eksploatacji kopalni zarejestrowano również wstrząsy, których parametry drgań były przyczyną stwierdzonych szkód w obiektach powierzchniowych.

Stworzona w tym czasie baza akcelerogramów stała się źródłem analizy zjawisk w różnych aspektach, m.in. badano mechanizm i parametry źródła ognisk wstrząsów, rozkład radiacji sejsmicznej, zjawisko lokalnej amplifikacji drgań związanej z budową geologiczną podłoża oraz wpływ tych czynników na wielkość amplitud rejestrowanych parametrów drgań gruntu. Wyniki badań zostały udokumentowane wieloma publikacjami naukowymi przytoczonymi w rozdziale 5.

Najnowszą lokalizację stanowiska pomiarowego w Szkole Podstawowej nr 56 w Katowicach – Ochojcu wybrano ze względu na obserwowaną i prognozowaną w kolejnych latach zwiększoną aktywność sejsmiczną, związaną z eksploatacją górniczą KWK Murcki – Staszic.

Dotychczasowy, roczny monitoring sejsmiczny prowadzony w okresie luty 2019 r. – luty 2020 r. cechował się stosunkowo niską aktywnością sejsmiczną na stanowisku. Zarejestrowane parametry drgań oceniono w 0 stopniu intensywności według aktualnej skali GSIS-2017. Oznacza to, że drgania w miejscu rejestracji oraz w najbliższym otoczeniu były całkowicie nieszkodliwe dla wszystkich elementów budynków oraz cechowały się słabą odczuwalnością wśród mieszkańców.

Powodem prowadzenia monitoringu sejsmicznego w Katowicach zawsze była wzmożona aktywność sejsmiczna w jakimś rejonie miasta, indukowana intensywną eksploatacją górniczą. Ten związek przyczynowo-skutkowy pozostanie zachowany. Lokalizacja stanowiska obserwacyjnego będzie wybierana jak dotąd – na podstawie planów eksploatacyjnych i prognozowanej aktywności sejsmicznej lub na podstawie zgłaszanych przez mieszkańców uciążliwości.

Literatura

- BARAŃSKI A., KLOC L., KOWAL T., MUTKE G. 2014a - Górnicza Skala Intensywności Drgań GSI_{GZWKW} -2012 w odniesieniu do odporności dynamicznej budynków. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, nr 6, 3-10.
- BARAŃSKI A., KLOC L., KOWAL T., MUTKE G. 2014b - Górnicza Skala Intensywności Drgań GSI_{GZWKW} -2012 w odniesieniu do odporności dynamicznej budynków (Sprostowanie). „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, nr 11, 32-33.
- DUBIŃSKI J., MUTKE G., STEC K., LURKA A., BARAŃSKI A. 2009 - Górnicza Skala Intensywności GSI - GZW do oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją złóż węgla kamiennego w zakładach górniczych Kompanii Węglowej S.A. na obiekty budowlane i na ludzi. W: G. Mutke, T. Tatara (red.), Górnicze skale intensywności drgań GDI i doświadczenia z ich stosowania. Prace Naukowe GIG. „Górnictwo i Środowisko” nr 2/2, 73-90.
- KUŹNIAR K., STEC K., TATARA T. 2018 - Comparison of approximate assessments of the harmfulness of mining shocks using ground and building foundation vibrations. *Journal of Measurements in Engineering*, vol. 6, issue 4, 218-225.
- KUŹNIAR K., STEC K., TATARA T. 2019 - Impact of seismic-type shock parameters on the soil-structure interaction effect in the USC mining region. *Vibroengineering Procedia*. Vol. 24, 35-40.
- KWIATEK J. 2002 - Obiekty budowlane na terenach górniczych, Główny Instytut Górnictwa. Katowice.
- LASEK S., MUTKE G., MERMON A. 2004 - Wpływ anomalii geologicznych na kształtowanie się zagrożenia sejsmicznego w aspekcie jego wpływu na infrastrukturę powierzchni w rejonie Pola Panewnickiego kopalni „Śląsk” wraz z monitoringiem tych zjawisk. *Mat. XI Międzynarodowego Sympozjum GEOTECHNIKA-2004*, Politechnika Śląska.
- LURKA A. 1999 - System kontrolno pomiarowy dla oceny oddziaływania wstrząsów górniczych na powierzchnię. Dokumentacja GIG (niepublikowane).
- MUSZYŃSKI L. 1993 - Klasyfikacja dynamicznej odporności budynków. „Przeгляд Górnictwy”, nr 1, 11-13.
- MUTKE G., DENYSENKO S. 2001 - Charakterystyka drgań powierzchni od wstrząsów górniczych: rejon Katowice-Ligota i Katowice-Panewniki. *Mat. Symp. Warsztaty'2001, IGSMiE PAN*, 569-579.
- MUTKE G. (red.), BARAŃSKI A., CHODACKI J., DUBIŃSKI J., KOWAL T., LURKA A., MUSZYŃSKI L., STEC K. 2018 - Zasady stosowania górniczej skali intensywności sejsmicznej GSIS-2017 do prognozy i oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją na obiekty budowlane oraz klasyfikacji ich odporności dynamicznej. Instrukcja nr 23 Głównego Instytutu Górnictwa.
- MUTKE G. 2019 - Oddziaływanie górniczych wstrząsów sejsmicznych na powierzchnię. Główny Instytut Górnictwa. Katowice.
- PILECKA E., STEC K., SZERMER – ZAUCHA R. 2017 - Tectonic zone of kłodnicza fault influence on the size of damages in buildings caused by tremor of high energy. „Czasopismo Techniczne”. Vol. 7. 53-64.
- STEC K., DENYSENKO S. 2003 - Charakterystyka wstrząsów górotworu rejestrowanych w strefie uskoku kłodnickiego – Katowice Panewniki. WUG - „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”. nr 5(105)/2003, 25-27.
- STEC K., MUTKE G. 2016 - Mechanizm ognisk i intensywność oddziaływania na środowisko powierzchniowe wstrząsów regionalnych z obszaru Katowice-Panewniki, „Wiadomości Górnicze”. nr 1, 11-20.
- Ustawa z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym (Dz.U.2020.713.j.t.)

Artykuł wpłynął do redakcji – czerwiec 2020
Artykuł zaakceptowano do druku – 25.07.202