

GŁÓWNY INSTYTUT GÓRNICZTWA



G I G

№
23

Seria: INSTRUKCJE

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

KATOWICE 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

Praca zbiorowa pod redakcją Grzegorza MUTKE

Zespół autorów:

Adam BARAŃSKI, Jacek CHODACKI, Józef DUBIŃSKI,
Tomasz KOWAL, Adam LURKA, Lucjan MUSZYŃSKI,
Grzegorz MUTKE, Krystyna STEC



G I G

GŁÓWNY INSTYTUT GÓRNICICTWA
Katowice 2018

Rada Programowa ds. Wydawnictw: prof. dr hab. inż. Antoni Tajduś (przewodniczący), prof. Roman Ditchkovsky, prof. Dou Lin Ming, prof. dr hab. inż. Józef Dubiński, prof. Juraj Durove, prof. dr hab. inż. Czesława Rosik-Dulewska, doc. ing. Richard Snuparek, prof. Tomasz S. Wiltowski, prof. dr hab. inż. Teodor Winkler, prof. Valery N. Zakharov

Komitet Kwalifikacyjno-Opiniodawczy: prof. dr hab. Adam Smoliński (przewodniczący), dr hab. inż. Małgorzata Wysocka, prof. GIG (zastępca przewodniczącego), dr hab. inż. Stanisław Chałupnik, prof. GIG, dr hab. inż. Natalia Howaniec, dr hab. inż. Józef Kabiesz, prof. GIG, dr hab. inż. Grzegorz Mutke, prof. GIG, prof. dr hab. inż. Krzysztof Stańczyk, prof. dr hab. inż. Jan Wachowicz

Redakcja wydawnicza
Małgorzata Kuśmirek-Zegadło

Korekta
Barbara Dusik

Skład, łamanie
Krzysztof Gralikowski

ISSN 1426-7896

Wykorzystywanie przez osoby trzecie do celów szkoleniowych
i komercyjnych informacji i danych zawartych w niniejszym opracowaniu bez zgody
Głównego Instytutu Górnictwa jest niedozwolone

Adres Redakcji:
Zespół Wydawnictw i Usług Poligraficznych
Głównego Instytutu Górnictwa, 40-166 Katowice, Pl. Gwarków 1
<http://www.wydawnictwa.gig.eu>
tel. 32 259 24 04
fax 32 259 27 74
e-mail: mkusmirek@gig.eu

Spis treści

Wprowadzenie	7
1. Górnicza skala intensywności sejsmicznej GSIS-2017	8
1.1. Zakres stosowania	8
1.1.1. Założenia skali GSIS-2017	9
1.2. Symbole i definicje	10
1.3. Stopnie pomiarowej intensywności sejsmicznej w skali GSIS-2017	13
1.4. Działania i zalecenia wynikające ze stosowania skali GSIS-2017	25
2. Kryterium empiryczne odporności dynamicznej budynków według skali GSIS-2017	26
2.1. Definicje odporności dynamicznej obiektów budowlanych	26
2.2. Granice odporności dynamicznej na przykładzie budynków o konstrukcji tradycyjnej i tradycyjnej-ulepszonej, w dobrym stanie technicznym	27
2.2.1. Wpływ rodzaju zabudowy na jej odporność dynamiczną	27
2.2.2. Wpływ stanu technicznego obiektów na ich odporność dynamiczną	29
3. Aneks techniczny	30
3.1. Zasady prowadzenia powierzchniowych obserwacji sejsmometrycznych	30
3.1.1. System pomiarowy	30
3.1.2. Instalowanie odbiorników drgań	31
3.1.3. Archiwizacja wyników obserwacji sejsmometrycznych	32
3.2. Interpretacja zapisów drgań zarejestrowanych na powierzchni	33
3.2.1. Zasady określania podstawowych parametrów drgań powierzchni	33
3.3. Prognozowanie parametrów drgań sejsmicznych na powierzchni	34
3.3.1. Założenia prognozy sejsmicznej	34
3.3.2. Zasady prognozowania parametrów drgań powierzchni wywołanych wstrząsami górniczymi	35
3.3.3. Estymacja oddziaływań sejsmicznych na powierzchnię	39
3.4. Przedstawianie wyników prognozy oddziaływań sejsmicznych na powierzchnię	42
3.5. Sposób wykorzystywania wyników prognozy	43
4. Prowadzenie obserwacji skutków wstrząsów w obiektach budowlanych i ich dokumentowanie	44
4.1. Cele i ogólne zasady gromadzenia informacji o skutkach wstrząsów górniczych w budynkach	44
4.2. Sposób i zakres prowadzenia obserwacji budynków	45
4.3. Dokumentowanie obserwacji skutków wstrząsów w obiektach budowlanych wraz z parametrami drgań według skali GSIS-2017	47
4.4. Wybrane opisy i definicje budowlane stosowane w tabelach	57
4.4.1. Typy i rodzaje budynków w odniesieniu do konstrukcji nośnej	57
4.4.2. Elementy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne budynku	58
4.4.3. Uszkodzenia liniowe budynków	59

5. Przykłady klasyfikacji uszkodzeń budynków według skali GSIS-2017	59
6. Przykłady typów obiektów budowlanych uwzględnionych w skali GSIS-2017	68
7. Weryfikacja stopni intensywności skali GSIS-2017 na podstawie danych empiryczno-pomiarowych.....	80
7.1. Wprowadzenie.....	80
7.2. Dane sejsmiczne wykorzystywane do weryfikacji skali GSIS-2017	80
7.3. Wnioski	83
Normy i instrukcje	85
Literatura.....	85
Ekspertyzy	88
Wytyczne, zasady i rozporządzenia.....	89

Komisja ds. Ochrony Powierzchni przy Wyższym Urzędzie Górniczym w Katowicach na posiedzeniu w dniu 19 stycznia 2018 roku podjęła Uchwałę nr 1/2018, w której pozytywnie zaopiniowała *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* i zaleciła ich stosowanie w kopalniach węgla kamiennego.

WPROWADZENIE

Górnicza Skala Intensywności Sejsmicznej GSIS-2017 wraz z zasadami jej stosowania została opracowana w latach 2016–2017 w ramach działalności statutowej GIG pn. *Górnicza Skala Intensywności Sejsmicznej GSIS-2017 dla oceny skutków drgań wywołanych w środowisku powierzchniowym zjawiskami sejsmicznymi indukowanymi eksploatacją węgla kamiennego* (Mutke i in., 2017a). GSIS-2017 jest skalą empiryczno-pomiarową służącą do monitorowania i oceny oddziaływania wstrząsów górniczych indukowanych eksploatacją węgla kamiennego na zabudowę powierzchni oraz odczuwalności drgań przez ludzi. Jest to kolejna wersja skali, oparta na wcześniej opracowanych wersjach GSI_{GZWKW} i $GSI_{GZWKW}-2012$ dla kopalń ówczesnej Kompanii Węglowej SA (Dubieński i in., 2009; Barański i in., 2014a, 2014b) oraz skali MSIS-15 (Mutke i in., 2015) opracowanej w ramach projektu europejskiego finansowanego przez Fundusz Badawczy Węgla i Stali (RFCS) o akronimie COMEX, w której wykorzystano dane nie tylko z polskich kopalń, ale również z niemieckich i czeskich (Sroka, 2006; Pohl, Sroka, 2006; Holecko, Mutke, 2012; Alber, Fritschen, 2011). W prezentowanej wersji skali uwzględniono dodatkowo wyniki rejestracji sejsmometrycznych i obserwacji skutków w zabudowie dla kilku najsilniejszych wstrząsów zaistniałych w GZW w latach 2014–2016 o energii sejsmicznej przekraczającej 10^8 J i o amplitudzie prędkości drgań $PGV > 0,05$ m/s oraz przyspieszeniu $PGA > 1,0$ m/s². W nowej skali skutki wstrząsu rozróżnia się, biorąc pod uwagę typ budynku i jego stan techniczny. W zależności od skutków wstrząsu przypisanych poszczególnym stopniom intensywności drgań w skali GSIS-2017, wyróżniono poziomy odporności dynamicznej budynków. Takie kryterium empiryczne określania poziomów odporności dynamicznej budynków wprowadzono do skali w związku z wymogiem dokonywania oceny odporności zabudowy zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 8 grudnia 2017 r. w sprawie planów ruchu zakładów górniczych* (Rozporządzenie, 2017).

1. GÓRNICZA SKALA INTENSYWNOŚCI SEJSMICZNEJ GSIS-2017

1.1. Zakres stosowania

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 są przeznaczone do stosowania w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny.

Oddziaływanie wstrząsu wyraża się przez pomiarową intensywność sejsmiczną (Wald i in., 1999; Mutke i in., 2015) w skali siedmiostopniowej. Zaliczenia do odpowiedniego stopnia dokonuje się na podstawie parametrów drgań pochodzących z bezpośrednich rejestracji seismologicznych lub wartości prognozowanych na podstawie równań empirycznych, tj. amplitudy prędkości drgań poziomych PGV_{Hmax} i czasu ich trwania t_{Hv} . W określonych warunkach (np. brak informacji o parametrze PGV_{Hmax}) można zamiennie stosować skalę przyspieszeniową, w której parametry drgań podłoża wyrażone są przez amplitudę przyspieszenia drgań poziomych PGA_{H10} w paśmie częstotliwości do 10 Hz i czas trwania drgań t_{Ha} .

Ważnym efektem zastosowania skali GSIS-2017 jest standaryzacja oceny oddziaływania wstrząsów górniczych na środowisko powierzchniowe w całym Górnśląskim Zagłębiu Węglowym (GZW) i Lubelskim Zagłębiu Węglowym (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.

Skalę GSIS-2017 stosuje się dla następujących typów 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 żelbetowej,
- budynki szkieletowe o konstrukcji żelbetowej lub stalowej,

z uwzględnieniem:

- skutków oddziaływania drgań na budynki w złym stanie technicznym,
- skutków oddziaływania drgań na wrażliwe sejsmicznie budowle zabytkowe.

Na podstawie skali GSIS-2017 opracowano również kryteria empirycznej oceny odporności dynamicznej budynków poddanych oddziaływaniom sejsmicznym pochodzenia górniczego.

Rejestracja wstrząsów górniczych na powierzchni i uzyskane parametry drgań mogą być także wykorzystywane do analiz pracy konstrukcji obiektów budowlanych.

Do oceny skutków oddziaływania prognozowanych drgań sejsmicznych na obiekty budowlane nieobjęte skalą GSIS-2017 należy stosować normy i indywidualne ekspertyzy obliczeniowe wykonane przez rzeczoznawców i specjalistów z zakresu budownictwa.

1.1.1. Założenia skali GSIS-2017

Górnicza Skala Intensywności Sejsmicznej GSIS-2017 jest skalą empiryczno-pomiarową i pozwala na przybliżoną ocenę wpływu oddziaływania wstrząsów górniczych na budynki, w zakresie od drgań nieszkodliwych, przez drgania powodujące uszkodzenie elementów wykończeniowych, aż do wystąpienia uszkodzeń konstrukcji budynku. Umożliwia również ocenę uciążliwości użytkowania obiektów budowlanych zlokalizowanych na terenie występowania wstrząsów górniczych i ocenę odczuwalności wstrząsów przez ludzi.

Stopnie intensywności sejsmicznej skali GSIS-2017 przedstawione są na odpowiednich wykresach lub w tabelach, w funkcji parametrów drgań na powierzchni terenu PGV_{Hmax} i t_{Hv} (i/lub PGA_{H10} i t_{Ha}). W najwyższych stopniach intensywności dodatkowo wykorzystuje się częstotliwość głównej fazy drgań. Weryfikacji skali dokonano w oparciu o posiadaną bazę górniczych wstrząsów sejsmicznych, które wystąpiły w obszarze zagłębia górnośląskiego i lubelskiego oraz uzupełniająco bazę wstrząsów zaistniałych w niemieckich i czeskich zagłębiach górniczych.

W trakcie opracowywania i weryfikacji skali prowadzono obserwacje różnorodnej zabudowy, w tym obiektów o najslabszej konstrukcji i w złym stanie technicznym. W związku z tym w wyznaczonych granicach stopni intensywności skali GSIS-2017 uwzględniono również szkodliwość oddziaływania wstrząsów górniczych na typowe obiekty budowlane o najslabszej konstrukcji i w złym stanie technicznym.

Drgania przypisane do określonego stopnia intensywności mogą – lecz nie muszą – wywołać skutki przypisane danemu stopniowi skali.

1.2. Symbole i definicje

Tabela 1.1. Symbole i definicje występujące w tekście

F	funkcja przejścia drgań z podłoża gruntowego na fundament, wyrażona jako iloraz bezwzględnych spektrów odpowiedzi dla rejestracji w gruncie i na fundamencie w paśmie częstotliwości do 10 Hz
P	prognoza sejsmiczna – wartości prognozowanych amplitud drgań gruntu
A	amplituda drgań obliczona z zarejestrowanego przebiegu czasowego
A_{rz}	amplituda rzeczywistych drgań na wejściu kanału pomiarowego
f	częstotliwość drgań
f_o	pierwsza harmoniczna częstotliwość drgań własnych budynków
R_e	odległość epicentralna (odległość od epicentrum wstrząsu)
R_h	odległość hipocentralna (odległość od hipocentrum wstrząsu)
t_{Hv}	czas trwania składowych poziomych prędkości drgań gruntu na sejsmogramie, wyznaczony między tymi momentami czasowymi, kiedy intensywność określona za pomocą wzoru (3.2) osiąga 5% i 95% swojej maksymalnej wartości
t_{Ha}	czas trwania składowych poziomych przyspieszenia drgań gruntu na akcelerogramie, wyznaczony między tymi momentami czasowymi, kiedy intensywność określona za pomocą wzoru (3.3) osiąga 5% i 95% swojej maksymalnej wartości
$a_{x10}(t), a_{y10}(t)$	akcelerogram przyspieszenia drgań gruntu zarejestrowany na składowej poziomej x lub y , po filtracji w paśmie do 10 Hz
E_s	energia sejsmiczna wstrząsu
PGA	amplituda pikowego przyspieszenia drgań
PGA_{H10}	maksymalne przyspieszenie drgań poziomych w paśmie częstotliwości do 10 Hz, wyznaczone jako poziome maksimum długości wektora drgań gruntu
PGV	amplituda pikowej prędkości drgań
PGV_{Hmax}	maksymalna prędkość drgań poziomych, wyznaczona jako poziome maksimum długości wektora drgań gruntu, określona za pomocą wzoru (3.1)
PGV_z	amplituda pikowej prędkości drgań składowej pionowej
$v_x(t), v_y(t)$	sejsmogram prędkości drgań gruntu zarejestrowany na składowej poziomej x lub y
V_s	prędkość rozchodzenia się fali sejsmicznej poprzecznej
W_f	amplifikacja drgań (współczynnik określający wzmocnienie lub tłumienie drgań przez nadkład geologiczny)
x_o, y_o, z_o	współrzędne hipocentrum wstrząsu

Wstrząsy eksploatacyjne	zjawiska sejsmiczne indukowane wyłącznie prowadzoną eksploatacją węgla i spowodowanymi nią zmianami stanu naprężeniowo-deformacyjnego w otaczającym masywie skalnym
Wstrząsy regionalne (tektoniczne)	zjawiska sejsmiczne związane z relaksacją naturalnych naprężeń w strefach regionalnej tektoniki, dla których eksploatacja górnicza i związane z nią lokalne pole naprężeń jest jedynie elementem uruchamiającym lub przyspieszającym uruchomienie tego procesu
Pomiarowa intensywność sejsmiczna (I_{GSIS})	wielkość charakteryzowana przez parametry PGV_{Hmax} i t_{Hv} (tzw. skala prędkościowa) lub przez parametry PGA_{H10} i t_{Ha} (tzw. skala przyspieszeniowa); wyrażona w skali siedmiostopniowej (od stopnia 0 do stopnia VI)
Stopień szkodliwości drgań (S)	opis skutków drgań na podstawie obserwacji makrosejsmicznych w budynkach, w liniowych obiektach infrastruktury podziemnej i odczuwalności wstrząsów przez ludzi oraz oceny poziomu uciążliwości użytkowania obiektów budowlanych
Budynek	budynki o wysokości nieprzekraczającej dwunastu kondygnacji, w tym: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 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 żelbetowej ▪ budynki szkieletowe o konstrukcji żelbetowej lub stalowej
Budynek w złym stanie technicznym	budynek, w którym występuje przynajmniej jedna z poniższych cech: <ul style="list-style-type: none"> ▪ przekroczenie wytrzymałości pojedynczych elementów nośnych, co oznacza pojawienie się pęknięć ścian, nadproży i stropów oraz połączeń elementów nośnych ▪ pęknięcie ścian o rozwartości przekraczającej 5 mm i lokalne zniszczenia fragmentów murów i innych pojedynczych elementów budynku ▪ obłuzowanie belek stropowych ▪ duże deformacje bryły budynku ▪ duże naturalne zużycie materiałów konstrukcyjnych, przejawiające się rozległą i zaawansowaną erozją murów ścian konstrukcyjnych budynku oraz rozległą i zaawansowaną korozją zbrojenia i betonu w żelbetowych elementach konstrukcyjnych budynku
Elementy konstrukcyjne budynku	elementy ustroju nośnego budynku – elementy konstrukcji przenoszące główne obciążenia pionowe budynku elementy ustroju usztywniającego budynku – elementy konstrukcji przenoszące główne obciążenia poziome budynku część elementów ustroju nośnego budynku jest jednocześnie elementami ustroju usztywniającego budynku
Elementy niekonstrukcyjne budynku	elementy wypełniające budynek – elementy budowlane służące rozplanowaniu przestrzennemu budynku, czyli niekonstrukcyjne ściany zewnętrzne (ściany osłonowe) i niekonstrukcyjne ściany wewnętrzne (ściany działowe) budynku

	<p>elementy wykończeniowe budynku – elementy budowlane służące polepszeniu wyglądu i komfortu użytkowania budynku, takie jak: okładziny elewacyjne, tynki i gładzie ścienne oraz sufitowe, powłoki malarskie, wykładziny ścienne, sufitowe i podłogowe, wykonane z płytek ceramicznych, wykładzin i innych okładzin, sufity podwieszane, stolarka okienna i drzwiowa oraz pokrycie dachowe</p> <p>elementy wyposażeniowe budynku – czyli urządzenia i instalacje techniczne zainstalowane w budynku, w tym instalacje dźwigowe, instalacje poszczególnych mediów oraz elementy umożliwiające i wspomagające korzystanie z tych mediów</p>
Rysa, zarysowanie	uszkodzenie powierzchniowe o niewielkiej rozwarłości
Pęknięcie	uszkodzenie o niewielkiej rozwarłości na całą głębokość elementu (na wskroś – do 5 mm)
Szczelina	uszkodzenie o dużej rozwarłości na całą głębokość elementu (na wskroś – powyżej 5 mm)
Liniowe obiekty infrastruktury podziemnej	podziemne sieci wodociągowe, gazowe, kanalizacyjne lub inne (np. tunele)
Uciążliwość	uciążliwość użytkowania obiektów budowlanych na terenie występowania wstrząsów górniczych według tabeli 1.2

Tabela 1.2. Poziomy uciążliwości użytkowania obiektów budowlanych (zmodyfikowana wersja z Instrukcji nr 12 Głównego Instytutu Górnictwa)

Uciążliwość	Zakłócenie normalnego użytkowania	Odczuwalność skutków eksploatacji przez ludzi	Naprawianie szkód
nieodczuwalna	praktycznie nie występuje	znikoma	nie występują skutki wymagające usuwania
mała	nieistotne	zauważalna	w ramach okresowych remontów
średnia	utrudniające użytkowanie	wzbudzająca niekorzystne reakcje (zaniepokojenie)	po zakończeniu eksploatacji górniczej lub w uzgodnieniu z użytkownikami
duża	mogą wystąpić przerwy w użytkowaniu	dokuczliwa	zachodzi potrzeba bieżących interwencji
nieakceptowalna	wyłączenie z użytkowania na dłuższy okres	zagrożająca zdrowiu	konieczność natychmiastowej interwencji

1.3. Stopnie pomiarowej intensywności sejsmicznej w skali GSIS-2017

Parametrami niezbędnymi do wyznaczania stopni pomiarowej intensywności sejsmicznej są maksymalna wartość wypadkowej amplitudy prędkości drgań poziomych PGV_{Hmax} i wartość czasu trwania składowej poziomej drgań t_{HV} oraz uzupełniająco częstotliwość głównej fazy drgań dla wyższych stopni intensywności. Parametry te można wyznaczyć z wykorzystaniem:

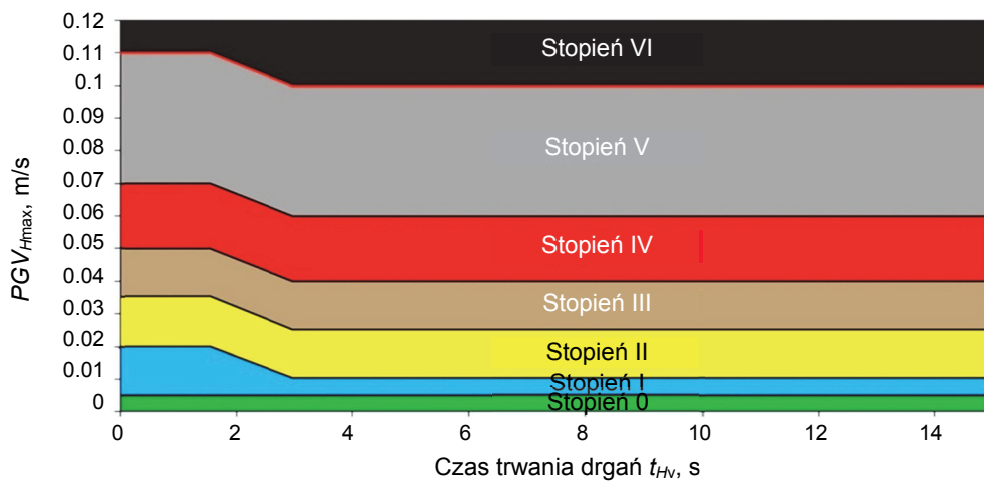
- rzeczywistych przebiegów drgań w miejscach rejestracji,
- estymowanych wartości parametrów drgań podłoża, obliczonych za pomocą empirycznego równania regresji (Joyner, Boore, 1981; Campbell, 1981; Mutke, 1991; Ambraseys i in., 2005; Olszewska, 2008; Lasocki, 2013; Chodacki, 2016; Mukte i in., 2017b).

Skala jest siedmiostopniowa – od stopnia 0 do stopnia VI pomiarowej intensywności sejsmicznej (rys. 1.1a, b), dla których opisano zaobserwowane skutki oddziaływania wstrząsów górniczych w budynkach i liniowych obiektach infrastruktury podziemnej oraz intensywność odczuwania drgań przez ludzi i uciążliwość użytkowania obiektów budowlanych. Należy zauważyć, że stopień V intensywności jest od góry ograniczony dotychczasowymi doświadczeniami pomiarowymi z zagłębi europejskich.

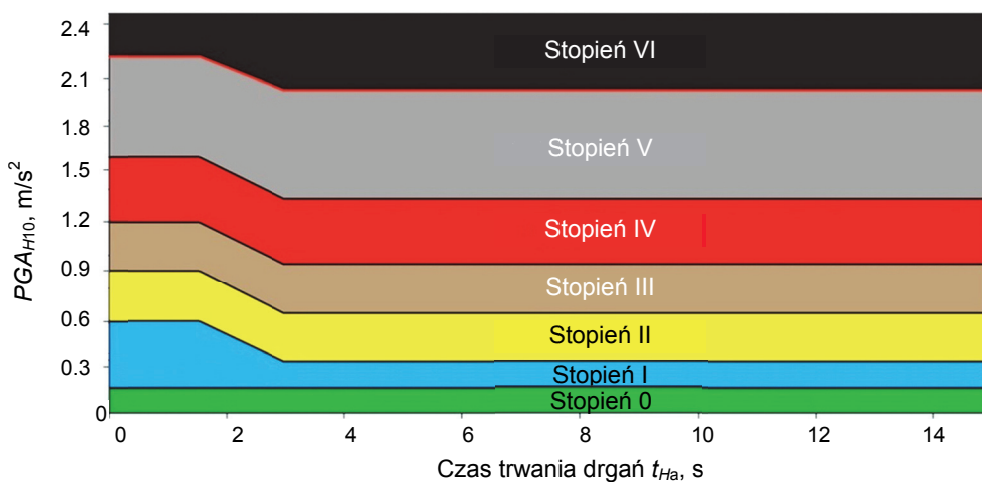
Wstrząsy charakteryzujące się drganiami krótkotrwałymi do 1,5 s wykazują wyższy stopień pomiarowej intensywności sejsmicznej I_{GSIS} niż wskazują obserwacje makrosejsmiczne ich skutków w budynkach.

Na rysunku 1.1a przedstawiono skalę GSIS-2017 w wersji prędkościowej – jest to podstawowa skala do stosowania.

Na rysunku 1.1b przedstawiono skalę GSIS-2017 w wersji przyspieszenia drgań na osi pionowej. Należy wziąć pod uwagę, że korelacja obserwowanych skutków drgań (stopni szkodliwości w poszczególnych stopniach intensywności sejsmicznej) jest lepsza dla prędkości drgań PGV_{Hmax} niż dla przyspieszenia drgań PGA_{H10} . Do wyznaczania stopni intensywności sejsmicznej zaleca się wykorzystywanie parametru PGV_{Hmax} jako parametru podstawowego i bardziej wiarygodnego, szczególnie do dokonywania oceny uszkodzenia elementów niekonstrukcyjnych.



Rys. 1.1a. Stopnie intensywności sejsmicznej dla wstrząsów górniczych według skali GSIS-2017 w wersji prędkości drgań powierzchni



Rys. 1.1b. Stopnie intensywności sejsmicznej dla wstrząsów górniczych według skali GSIS-2017 w wersji przyspieszenia drgań powierzchni

Oceny szkodliwości drgań należy dokonywać w zależności o typu konstrukcji budynku i jego stanu technicznego przedstawionych poniżej.

Budynki o konstrukcji tradycyjnej i tradycyjnej-ulepszonej, czyli ogólnie budynki murowane z cegły lub innych elementów drobnowymiarowych, posiadające ścienne układy nośne. Ta grupa budynków jest najlepiej zweryfikowana empirycznie. Syntetyczny opis skutków, wyrażony stopniami szkodliwości drgań dla poszczególnych stopni intensywności sejsmicznej i określonych parametrów drgań powierzchni, przedstawiono w tabeli 1.3.

Tabela 1.3. 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

Stopień pomiarowej intensywności sejsmicznej, I_{seis}	PGV _{max} , m/s			Opis skutków (stopni szkodliwych stopniach intensywności)	potencjalne uszkodzenia budynków i przypisane im stopnie szkodliwości drgań (S)
	czas $t \leq 1,5$ s	czas $1,5-3,0$ s	czas $t \geq 3,0$ s		
0 Słabo zauważalne	$\leq 0,005$	$\leq 0,005$	$\leq 0,005$	nieodczuwalne przez ludzi bądź słabo odczuwalne	S ₀ nie powodują żadnych szkód
I Odczuwalne	0,005-0,02 0,005-0,01	0,005-0,02 0,005-0,01	0,005-0,01	odczuwalne przez ludzi wewnątrz budynków, słabo przez ludzi na zewnątrz, kołysanie się wiszących przedmiotów	S _I nie powodują żadnych szkód
II Intensyfikacja uszkodzeń	0,02-0,035 0,01-0,025	0,02-0,035 0,01-0,025	0,01-0,025	wewnątrz budynków drgania są bardzo mocno odczuwalne, cały budynek lekko kołysze się	S _{II} intensyfikacja istniejących rys lub pęknięć
III Uszkodzenia niekonstrukcyjne	0,035-0,05 0,025-0,04	0,035-0,05 0,025-0,04	0,025-0,04	silnie odczuwalne przez większość ludzi na zewnątrz i wewnątrz budynków, meble mogą się przesuwać, cały budynek kołysze się	S _{III} pierwsze nowe uszkodzenia elementów niekonstrukcyjnych
IV Lekkie uszkodzenia konstrukcyjne	0,05-0,07 0,04-0,06	0,05-0,07 0,04-0,06	0,04-0,06	bardzo silnie odczuwalne przez wszystkich ludzi, ludzie są mocno wystraszeni, wielu wystraszonych wybiega na zewnątrz; niektórzy tracą równowagę, szczególnie na wyższych piętrach; drobne przedmioty spadają z półek	S _{IV} pierwsze uszkodzenia niektórych elementów ustroju konstrukcyjnego (nośnego lub usztywniającego) niezagrożające jednak stateczności budynku oraz niepowodujące obniżenia odporności dynamicznej budynku; liczne nowe uszkodzenia elementów niekonstrukcyjnych budynku
V Uszkodzenia konstrukcyjne	0,07-0,11 0,06-0,1	0,07-0,11 0,06-0,1	0,06-0,1	bardzo silne i dokuczliwe odczuwanie drgań; w górnej granicy intensywności drgań ludzie mają problem z utrzymaniem równowagi; duże przedmioty spadają z półek i stolików	S _V uszkodzenia elementów ustroju konstrukcyjnego (nośnego lub usztywniającego) zmniejszające znacząco odporność dynamiczną budynku, lecz niezagrażające jeszcze stateczności obiektu; silne uszkodzenia elementów niekonstrukcyjnych budynku, w tym spadanie dachówek oraz cegieł ze ściętych kominów zewnętrznych; drgania szczególnie groźne w zakresie górnych wartości stopnia V i niskiej częstotliwości głównej fazy drgań poziomych, $f < 5$ Hz
VI Pierwsze zniszczenia Stopień niezwerifikowany pomiarowo	$> 0,11$ $> 0,1$	$> 0,11$ $> 0,1$	$> 0,1$	ogólny strach i panika; przewracanie i przesuwanie się ciężkich przedmiotów, np. mebli, niezamocowanych telewizorów	S _{VI} silne uszkodzenia elementów ustroju konstrukcyjnego budynku (nośnego lub usztywniającego) mogące powodować utratę stateczności obiektu; Zaden z dotychczas zaskimających wstrząsów górnicych na obszarze GZW nie spowodował takich następstw, jakkolwiek nie można ich całkowicie wykluczyć, w przypadku dalszego wzrostu intensywności drgań powierzchni terenu w wyniku wstrząsów górnicych (zdarzenia takie obserwowano w innych zagłębieniach górnicych); rozległe zniszczenia elementów niekonstrukcyjnych budynku (drgania szczególnie groźne w zakresie niskich częstotliwości głównej fazy drgań $f < 5$ Hz)

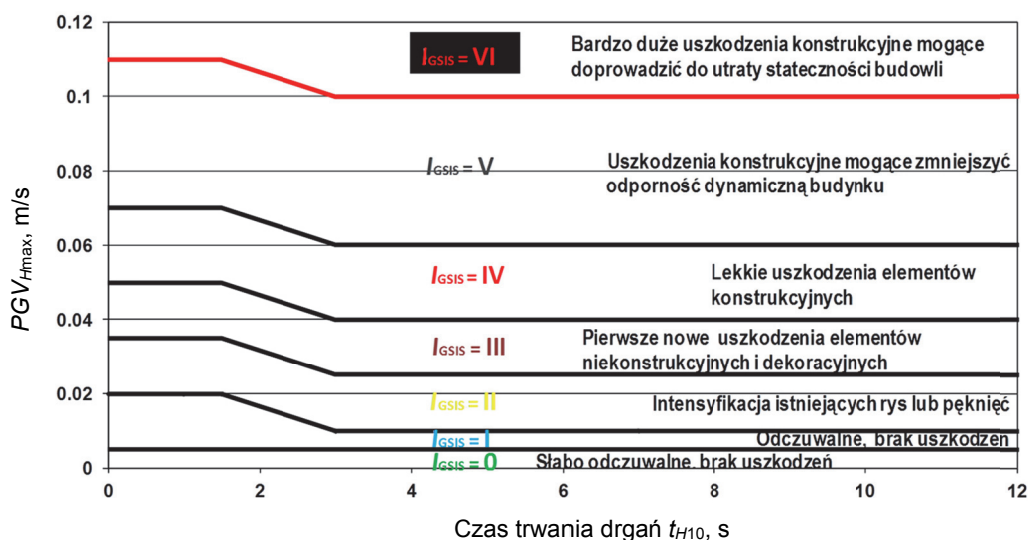
Budynki ścianowe o konstrukcji betonowej i żelbetowej charakteryzują się wyższą odpornością na wstrząsy górnicze niż budynki o konstrukcji tradycyjnej i tradycyjnej-ulepszonej, dlatego też występujące w nich skutki wstrząsów można określić jako odpowiadające skutkom wstrząsów o intensywności o jeden stopień niższej niż wynikająca z zarejestrowanych (prognozowanych) parametrów drgań (nie dotyczy to stopnia 0 intensywności).

Budynki szkieletowe o konstrukcji żelbetowej lub stalowej posiadające słupowo-belkowe układy nośne, charakteryzują się podobną odpornością, co budynki o konstrukcji tradycyjnej i tradycyjnej-ulepszonej. Dla budynków tych można stosować bezpośrednio ocenę skutków wstrząsów według tabeli 1.3.

Budynki w złym stanie technicznym charakteryzują się zazwyczaj niższą odpornością dynamiczną niż budynki w dobrym stanie technicznym. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń można przyjmować, że drgania wywołują w nich skutki charakterystyczne dla intensywności o jeden stopień wyższej niż wynikające z zarejestrowanych parametrów drgań. Przykładowo, przy drganiach zaliczonych do stopnia III intensywności, można się zatem spodziewać wystąpienia skutków charakterystycznych dla stopnia IV intensywności drgań (opisanych w tab. 1.3).

Budynki historyczne i zabytkowe o dużej wrażliwości na drgania – wstrząsy o stopniu 0 intensywności sejsmicznej nie są szkodliwe dla budynków zabytkowych i historycznych o dużej wrażliwości na drgania w przypadku oddziaływania pojedynczych zdarzeń sejsmicznych (liczba zdarzeń sejsmicznych < 100 w ciągu jednego roku). W przypadku wielokrotnego powtarzania się wstrząsów o stopniu 0 (liczba zjawisk sejsmicznych > 100 w ciągu roku), pierwsze szkodliwe wpływy mogą wystąpić po przekroczeniu drgań $PGV_{Hmax} = 3 \text{ mm/s}$.

Na rysunku 1.2 przedstawiono 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.



Rys. 1.2. 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

Skutki drgań wyrażone stopniem szkodliwości S , przypisane do stopni pomiarowej intensywności sejsmicznej I_{GSIS} , są różne dla różnych konstrukcji budynków i ich stanu technicznego (tab. 1.4).

Tabela 1.4. Powiązanie stopni intensywności sejsmicznej ze stopniami szkodliwości drgań w zależności od typu konstrukcji budynku i stanu technicznego

Stopień intensywności drgań I_{GSIS}	Budynki o konstrukcji tradycyjnej i tradycyjnej-ulepszonej	Budynki ścienne o konstrukcji betonowej i/lub żelbetowej	Budynki szkieletowe o konstrukcji żelbetowej lub stalowej	Budynki w złym stanie technicznym
	Budynki w dobrym stanie technicznym			
Stopnie szkodliwości odpowiadające stopniom intensywności				
0	S_0	S_0	S_0	S_I
I	S_I	S_I	S_I	S_{II}
II	S_{II}	S_{II}	S_{II}	S_{III}
III	S_{III}	S_{III}	S_{III}	S_{IV}
IV	S_{IV}	S_{IV}	S_{IV}	S_V
V	S_V	S_V	S_V	S_{VI}
VI	S_{VI}	S_V	S_{VI}	S_{VI}

Do dokonywania oceny możliwych skutków drgań z wykorzystaniem skali GSIS-2017 niezbędny jest pełny opis stopni intensywności. Poniżej przedstawiono przykładowy opis według skali GSIS-2017 dla budynków w zabudowie tradycyjnej i tradycyjnej-ulepszonej w dobrym stanie technicznym, powszechnie spotykanej na terenach górniczych GZW.

Pełny opis skutków drgań w poszczególnych stopniach intensywności sejsmicznej skali GSIS-2017 (dla budynków w zabudowie tradycyjnej i tradycyjnej-ulepszonej w dobrym stanie technicznym)

STOPIEŃ 0 (słabo odczuwalne, nieszkodliwe dla obiektów budowlanych)

Oddziaływanie drgań na budynki

Drgania nieszkodliwe dla wszystkich elementów konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych budynków.

Drgania niepowodujące powiększania się uszkodzeń istniejących w budynkach.

Odczuwalność drgań przez ludzi: znikoma/słaba

Wstrząsy lokalizujące się w dolnej części stopnia 0 (drgania do 0,001 m/s) są praktycznie nieodczuwalne przez ludzi i rejestrowane tylko przez sejsmometry. 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 wywoływanych przez codzienną aktywność życiową (poruszanie się po mieszkaniu, zamykanie drzwi, wiercenie w ścianach itp.), a parametry drgań gruntu są porównywalne z poziomem drgań wywoływanych ruchem pojazdów. Dla silnych wstrząsów z dużej odległości epicentralnej odczucia przypominają lekkie kołysanie w kierunku poziomym.

Uciążliwość: nieodczuwalna

STOPIEŃ I (odczuwalne, brak uszkodzeń w obiektach budowlanych)

Oddziaływanie drgań na budynki

Drgania nieszkodliwe dla wszystkich elementów konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych budynków.

Odczuwalność drgań przez ludzi: słaba

Drgania wywołane wstrząsami w strefie epicentralnej (pod budynkiem) są odczuwalne w budynku jak uderzenie od spodu. Drgania wywołane silnymi wstrząsami zlokalizowanymi w dalszej odległości od budynku, wywołują lekkie kołysanie całego budynku.

Wstrząsy mogą być odczuwalne przez ludzi znajdujących się w czasie wstrząsu w budynkach na wyższych piętrach. Niektórzy ludzie budzą się, jeśli wstrząs wystąpi w nocy.

Talerze i naczynia mogą drgać i brzęczeć. Wiszące przedmioty mogą zacząć się kołysać. Otwarte okna i drzwi mogą się same zamykać.

Niewielu ludzi znajdujących się na zewnątrz budynku odczuwa wstrząs.

Uciążliwość: mała

STOPIEŃ II (intensyfikacja istniejących uszkodzeń)

Oddziaływanie drgań na budynki

Drgania nieszkodliwe dla wszystkich elementów konstrukcyjnych i nieuszkodzonych elementów niekonstrukcyjnych budynków.

Drgania (szczególnie w górnym zakresie stopnia II) w pojedynczych przypadkach mogą powodować nieznaczne powiększanie się (przyrost) uszkodzeń elementów niekonstrukcyjnych już istniejących w budynkach, tj.

- wydłużenie zarysowań i pęknięć,
- odpadanie niewielkich fragmentów odspojonych tynków wewnętrznych i zewnętrznych,
- odspajanie słabo przyklejonych płytek ceramicznych,
- odpadanie fragmentów uszkodzonych gzymsów i słabo umocowanych sterczyń,
- intensywniejsze poluzowania cegieł kominów murowych,
- intensywniejsze poluzowania dachówek do ich obsuwania się włącznie,
- intensyfikację zarysowań na stykach elementów konstrukcyjnych (np. ściana-strop w budynkach prefabrykowanych), zwłaszcza wykonanych z różnych materiałów budowlanych,
- intensyfikację zarysowań na stykach wadliwie wykonanych okładzin z płyt gipsowo-kartonowych.

Odczuwalność drgań przez ludzi: średnia

Wstrząsy mogą być silnie odczuwane na powierzchni zarówno w budynkach, jak i na zewnątrz. Wielu ludzi budzi się, jeśli wstrząs wystąpi w nocy. Talerze i zastawy szklane mogą drgać, brzęczeć, a czasami się potłuc. Wiszące przedmioty silnie się kołyszą. Meble mogą drgać, a czasami się przesuwać.

Otwarte okna i drzwi mogą się same zamykać. W strefie epicentralnej może być odczuwalne silne uderzenie od dołu. Słyszalny jest efekt trzeszczenia ścian.

Uciążliwość: średnia

STOPIEŃ III (uszkodzenia elementów niekonstrukcyjnych)

Oddziaływanie drgań na budynki

BUDYNKI W DOBRYM STANIE TECHNICZNYM

Drgania nieszkodliwe dla wszystkich elementów konstrukcyjnych budynków.

Drgania mogą powodować dalsze zwiększanie istniejących uszkodzeń elementów niekonstrukcyjnych – opisane w stopniu II intensywności.

Drgania mogą powodować pierwsze uszkodzenia elementów niekonstrukcyjnych, tj.

- zarysowania i/lub odspojenia tynków zewnętrznych i wewnętrznych,
- zarysowania ścian działowych,
- zarysowania w narożnikach ścian i fasetach,
- zarysowania płytek ceramicznych,
- zarysowania wokół ościeżnic drzwi i okien,
- zarysowania na stykach elementów, zwłaszcza wykonanych z różnych materiałów budowlanych,
- pęknięcia i odpadanie fragmentów prawidłowo zamocowanych gzymsów i innych sterczyn,
- poluzowanie cegieł kominów murowanych, w niektórych przypadkach ich pęknięcia i odpadanie tynków,
- poluzowanie i obsuwanie się pojedynczych dachówek.

Mogą wystąpić drobne szkody w mieniu – stłuczenie: naczyń, szklanej zastawy, smukłych i luźno stojących przedmiotów.

Odczuwalność drgań przez ludzi: silna

W epicentrum wstrząsu drgania odczuwane są jak bardzo silne uderzenie w budynek od spodu. Ściany trzeszczą, a meble mogą się przemieszczać lub kołysać. Na wyższych piętrach odczuwa się kołysanie, szczególnie silne przy dłuższym czasie trwania drgań ($t > 3$ s).

Wstrząsy są silnie odczuwane przez wszystkie osoby wewnątrz i na zewnątrz budynków. Drgania o tej intensywności budzą śpiących ludzi. Część osób doznaje uczucia strachu w czasie trwania drgań. Z otwartych naczyń może się wylewać płyn.

Uciążliwość: średnia

STOPIEŃ IV (lekkie uszkodzenia elementów konstrukcyjnych)

Oddziaływanie drgań na budynki

Drgania mogą powodować pierwsze uszkodzenia niektórych elementów ustroju konstrukcyjnego (nośnego lub usztywniającego) budynków, nie zagrażają jednak ich stateczności, a w szczególności:

- ukośne i pionowe zarysowania i pęknięcia ścian nośnych,
- zarysowania i pęknięcia stropów,
- zarysowania i pęknięcia samonośnych konstrukcji kominowych,
- zarysowania lub pęknięcia ścian zewnętrznych na przedłużeniu otworów okiennych,
- pierwsze rozluźnienia cegieł nadproży ceglanych i obrysowania nadproży żelbetowych,
- niewielkie zarysowania i pęknięcia filarków międzyokiennych.

Drgania mogą powodować liczne uszkodzenia elementów niekonstrukcyjnych i dekoracyjnych budynków, opisane w poprzednich stopniach intensywności oraz dodatkowo niżej wymienione, tj.

- rozległe zarysowania i wykruszenia tynków zewnętrznych i wewnętrznych,
- duże zarysowania i pęknięcia w narożnikach ścian i w fasetach,
- odspojenia i odpadanie większych fragmentów tynków wewnętrznych i zewnętrznych,
- pęknięcia i ubytki zaprawy na stykach elementów, zwłaszcza wykonanych z różnych materiałów budowlanych,
- ciągłe obwodowe zarysowania wokół ościeżnic drzwi i okien,
- liczne pęknięcia i odspojenia płytek ceramicznych,
- pęknięcia i duże poluzowania cegieł kominów murowanych,
- pęknięcia i poluzowania licznych dachówek, spadanie pojedynczych dachówek,

- niewielkie zarysowania i pęknięcia murków ogniowych,
- zniszczenie gzymsów i innych sterczyn.

Odczuwalność drgań przez ludzi: bardzo silna

W epicentrum wstrząsu drgania odczuwane są jak bardzo silne uderzenie w budynek od spodu i kołysanie. Ściany trzeszczą, a meble mogą się przemieszczać lub kołysać. Na wyższych piętrach odczuwa się bardzo silne kołysanie, szczególnie przy dłuższym czasie trwania drgań.

Wstrząs jest bardzo mocno odczuwany przez większość ludzi. Ludzie są wystraszeni, wielu wybiega na zewnątrz. Niektórzy tracą równowagę.

Drgania o tej intensywności budzą śpiących mieszkańców. Z otwartych naczyń może się wylewać płyn. Przedmioty spadają z półek.

Uciążliwość: duża

STOPIEŃ V (uszkodzenia elementów konstrukcyjnych obniżające odporność dynamiczną budynku)

Drgania mogą powodować uszkodzenia elementów konstrukcyjnych budynków, zmniejszając znacząco ich odporność dynamiczną, lecz nie zagrażając jeszcze stateczności tych obiektów. Mogą wystąpić uszkodzenia opisane w stopniu IV i dodatkowo uszkodzenia niżej wymienione, tj.

- szczeliny w ścianach konstrukcyjnych o rozwarości do 5 mm,
- pęknięcia i przemieszczenia cegieł nadproży ceglanych,
- pęknięcia nadproży żelbetowych,
- duże pęknięcia filarów międzyokiennych.

Drgania mogą powodować znaczne uszkodzenia wielu elementów niekonstrukcyjnych i dekoracyjnych budynków do ich zniszczenia włącznie, a w szczególności:

- duże odspojenia i zniszczenia tynków i wypraw,
- duże pęknięcia lub szczeliny w narożnikach ścian i w fasetach,
- obłuzowania lub deformacje ościeżnic okien i drzwi,
- zniszczenia dużych powierzchni okładzin wykonanych z płytek ceramicznych,
- odpadanie fragmentów kominów i ścięcie kominów w poziomie dachu,

- uszkodzenia dużych połaci dachu, obłuzowanie większości dachówek, odpadanie licznych dachówek,
 - szczeliny i odpadanie fragmentów murków ogniowych.
- (Drgania są szczególnie groźne w zakresie górnych wartości stopnia V i przy niskiej częstotliwości głównej fazy drgań poziomych, $f < 5$ Hz).

Odczuwalność drgań przez ludzi: bardzo silna i dokuczliwa

Ściany trzeszczą, a meble mogą się przemieszczać, kołysać i przewracać. Na wyższych piętrach odczuwa się silne kołysanie, szczególnie przy dłuższym czasie trwania drgań. Ludzie są mocno wystraszeni i wybiegają na zewnątrz. Niektórzy tracą równowagę. Drgania o tej intensywności budzą śpiących mieszkańców. Z półek spadają duże przedmioty, np. telewizory. Mogą powstawać szkody wewnątrz mieszkań wskutek gwałtownego przesuwania się lub rozbijania ciężkich przedmiotów. Na zewnątrz budynku może wystąpić zagrożenie dla ludzi (np. spadanie dachówek i cegieł z kominów).

Uciążliwość: duża

STOPIEŃ VI (uszkodzenia elementów konstrukcyjnych zagrażające stateczności budowli)

Drgania mogą powodować bardzo duże uszkodzenia najsilniej wytężonych elementów ustrojów konstrukcyjnych budynków, co może doprowadzić do utraty stateczności tych obiektów, w tym:

- utraty stateczności lokalnej fragmentów budynków,
- utraty stateczności ogólnej całych budynków.

Drgania powodują uszkodzenie lub zniszczenie większości elementów niekonstrukcyjnych budynków.

Drgania mogą zagrażać bezpieczeństwu użytkowników budynków.

Drgania są szczególnie groźne w zakresie niskiej częstotliwości głównej fazy drgań poziomych, $f < 5$ Hz. Wyższe parametry drgań w stopniu VI (powyżej 160 mm/s) mogą być przyczyną zniszczenia najbardziej obciążonych konstrukcyjnych elementów nośnych czy utraty sztywności konstrukcji budynku lub częściowego zawalenia się budynku. Brak jest przykładów pomiarów sejsmometrycznych skorelowanych ze stopniami szkodliwości drgań. W historii górnictwa światowego można jednak znaleźć przypadki wystąpienia takiej

intensywności sejsmicznej (zawalenie się budynku mieszkalnego wielorodzinnego w Welkom w RPA w 1976 r. i częściowe zawalenie się budynku jednorodzinnego w Stilfontein w RPA w 2005 r.). Nieznane są jednak wartości pomiarowe parametrów drgań. W polskim górnictwie miedziowym zarejestrowano drgania gruntu o wartości 120 mm/s, które nie wywołały jednak poważnych skutków dla konstrukcji budynków w zabudowie jednorodzinnej (Zembaty i in., 2015).

Odczuwalność drgań przez ludzi: strach i panika

Cały budynek kołysze się i trzeszczy, a meble mogą się przemieszczać, kołysać i przewracać. Ludzie są mocno wystraszeni i wybiegają na zewnątrz, większość traci równowagę. Z półek spadają duże przedmioty, np. telewizory. Mogą powstawać szkody wewnątrz mieszkań wskutek gwałtownego przesuwania się lub rozbijania ciężkich przedmiotów. Na zewnątrz budynku istnieje zagrożenie dla ludzi – spadanie dachówek, gzymsów, cegieł z kominów, ścian szczytowych.

Uciążliwość: nieakceptowalna

ODDZIAŁYWANIE DRGAŃ NA LINIOWE OBIEKTY INFRASTRUKTURY PODZIEMNEJ

Dotychczasowe obserwacje oddziaływania wstrząsów na liniowe obiekty infrastruktury podziemnej wskazują na możliwość występowania pojedynczych uszkodzeń instalacji w miejscach połączeń od stopnia III intensywności drgań.

UWAGI Z OBSERWACJI SZKODLIWOŚCI ODDZIAŁYWANIA WSTRZĄSÓW

Uszkodzenia obserwowano jedynie w strefie epicentralnej wstrząsów, gdzie największe drgania wywoływane były falami bezpośrednimi typu S. Liczba obiektów uszkodzonych nie przekraczała maksymalnie 15% całego zbioru budynków objętych drganiami o określonej intensywności sejsmicznej. Większa część budynków nie uległa żadnym uszkodzeniom w strefie drgań epicentralnych, nawet w stopniu IV lub V pomiarowej intensywności sejsmicznej.

W tabelach 1.5 i 1.6 przedstawiono przykładową wersję skali GSIS-2017 dla zabudowy tradycyjnej i tradycyjnej-ulepszonej w dobrym stanie technicznym, odpowiednio dla długich i krótkich czasów trwania głównej fazy drgań.

Tabela 1.5. Skala GSIS-2017 w wersji tabelarycznej dla długich czasów trwania głównej fazy drgań $t_{Hmax} \geq 3$ s i dla zabudowy tradycyjnej i tradycyjnej-ulepszonej w dobrym stanie technicznym

Oddziaływanie drgań	zauważalne	wyraźnie odczuwalne	intensyfikacja uszkodzeń	uszkodzenia niekonstrukcyjne	lekkie uszkodzenia konstrukcyjne	uszkodzenia konstrukcyjne	zagrożenie stateczności budowli
Prędkość drgań poziomych PGV_{Hmax} , mm/s	≤ 5	5–10	10–25	25–40	40–60	60–100	> 100
Przyspieszenie drgań poziomych PGA_{H10} , mm/s ²	≤ 150	150–300	300–600	600–900	900–1300	1300–2000	> 2000
Stopień pomiarowej intensywności sejsmicznej	0	I	II	III	IV	V	VI

Tabela 1.6. Skala GSIS-2017 w wersji tabelarycznej dla krótkich czasów trwania głównej fazy drgań $t_{Hmax} < 1,5$ s i dla zabudowy tradycyjnej i tradycyjnej-ulepszonej w dobrym stanie technicznym

Oddziaływanie drgań	zauważalne	odczuwalne	intensyfikacja uszkodzeń	uszkodzenia niekonstrukcyjne	lekkie uszkodzenia konstrukcyjne	uszkodzenia konstrukcyjne	zagrożenie stateczności budowli
Prędkość drgań poziomych PGV_{Hmax} , mm/s	≤ 5	5–20	20–35	35–50	50–70	70–110	> 110
Przyspieszenie drgań poziomych PGA_{H10} , mm/s ²	≤ 150	150–600	600–900	900–1200	1200–1600	1600–2300	> 2300
Stopień pomiarowej intensywności sejsmicznej	0	I	II	III	IV	V	VI

1.4. Działania i zalecenia wynikające ze stosowania skali GSIS-2017

W przypadku wystąpienia wstrząsów o parametrach drgań odpowiadających stopniowi V i VI intensywności, należy:

- wyznaczyć obszar przekroczenia dolnej granicy stopnia V intensywności,
- w obiektach budowlanych, zlokalizowanych w tym obszarze, dokonać oceny skutków drgań (szkodliwości) zaistniałych po wstrząsie,
- na podstawie przeprowadzonej kontroli, w uzasadnionych przypadkach, dokonać szczegółowych ekspertyz konstrukcji nośnej i elementów usztywniających obiektów budowlanych.

Zaleca się takie prowadzenie eksploatacji, aby w wyniku wstrząsów wywołanych tą eksploatacją, nie była przekraczana uciążliwość mała. Możliwe jest dopuszczenie uciążliwości średniej eksploatacji, a nawet dużej – wówczas należy ją uzasadnić względami techniczno-ekonomicznymi i dokonać odpowiednich uzgodnień z samorządami i społecznością lokalną.

2. KRYTERIUM EMPIRYCZNE ODPORNOŚCI DYNAMICZNEJ BUDYNKÓW WEDŁUG SKALI GSIS-2017

Pojęcie *dynamicznej odporności obiektów budowlanych na wpływ wstrząsów górniczych* zostało wprowadzone w roku 1985 w pracy Gil-Kleczeńskiej, Kwiatka i Muszyńskiego (1985). Z perspektywy minionego czasu można stwierdzić, że pojęcie to zostało dość szybko zaakceptowane w środowisku specjalistów zajmujących się problematyką ochrony zabudowy powierzchni przed wpływami eksploatacji górniczej i jest obecnie powszechnie stosowane (Muszyński, 1993; Kwiatek, 2007; Tatara, 2012; Barański i in., 2014a, 2014b). Pojęcie to zostało też wprowadzone do przepisów prawa dotyczących planów ruchu zakładu górniczego. Odporność dynamiczną obiektu budowlanego definiuje się, biorąc pod uwagę możliwe jego uszkodzenia wywołane drganiami podłoża. GSIS-2017 zawiera opisy uszkodzeń budynków przyporządkowane poszczególnym stopniom intensywności drgań; poziomy odporności dynamicznej można więc określić w ścisłym powiązaniu z tą skalą (Tatara, 2012).

2.1. Definicje odporności dynamicznej obiektów budowlanych

W skali GSIS-2017 ustala się cztery poziomy odporności dynamicznej, definiowane według kryterium możliwych do wystąpienia, a opisanych w skali, skutków wstrząsu, z których każdy kolejny oznacza niższą odporność obiektu na wstrząsy:

- **Pełna dynamiczna odporność budynku** – oznacza możliwość przejścia dodatkowych sił powstałych w budynku w wyniku działania wstrząsów górniczych, bez zaistnienia widocznych uszkodzeń elementów nośnych i elementów wykończeniowych.
- **Częściowa – wysoka odporność dynamiczna budynku** – oznacza możliwość przejścia dodatkowych sił powstałych w budynku w wyniku działania wstrząsów górniczych z dopuszczalnymi uszkodzeniami elementów niekonstrukcyjnych i wykończeniowych.

- **Częściowa – dostateczna dynamiczna odporność budynku** – oznacza możliwość przejścia dodatkowych sił powstałych w budynku w wyniku działania wstrząsów górniczych, bez utraty jego stateczności i bez utraty nośności i sztywności jego elementów konstrukcyjnych. Występują uszkodzenia elementów niekonstrukcyjnych i wykończeniowych (nawet znaczne) oraz uszkodzenia elementów konstrukcyjnych.
- **Częściowa – warunkowa odporność dynamiczna budynku** – oznacza stan, w którym dodatkowe siły powstałe w budynku w wyniku działania wstrząsów górniczych, powodują uszkodzenia elementów konstrukcyjnych budynku, wpływające na bezpieczeństwo jego konstrukcji. Górną granicę tego stanu wyznacza stan granicznej nośności najsłabszego elementu konstrukcji (brak jest doświadczeń obserwacyjno-pomiarowych z kopalń GZW dla tego poziomu odporności).

2.2. Granice odporności dynamicznej na przykładzie budynków o konstrukcji tradycyjnej i tradycyjnej-ulepszonej, w dobrym stanie technicznym

Granice **pełnej odporności** dynamicznej budynku na wpływy wstrząsów górniczych stanowi granica między stopniem I a II intensywności drgań (jest to granica **nieszkodliwości drgań**).

Granice **częściowej – wysokiej odporności** dynamicznej budynku na wpływy wstrząsów górniczych stanowi granica między stopniem III a IV intensywności drgań.

Granice **częściowej – dostatecznej odporności** dynamicznej budynku na wpływy wstrząsów górniczych stanowi granica między stopniem V a VI intensywności drgań (granica **bezpieczeństwa konstrukcji**).

Na granicy między stopniem V i VI intensywności drgań kończą się dotychczasowe doświadczenia obserwacyjno-pomiarowe w GZW.

2.2.1. Wpływ rodzaju zabudowy na jej odporność dynamiczną

Odporność dynamiczna obiektów budowlanych zależy od ich właściwości geometrycznych i konstrukcyjno-materiałowych. Odporność ta jest różna, np. dwukondygnacyjne jednorodzinne budynki mieszkalne o konstrukcji tradycyjnej mają inną odporność niż wielokondygnacyjne wielorodzinne budynki

mieszkalne o konstrukcji wieloblokowej czy wielkopłytywowej. Budynki mieszkalne wielorodzinne o ścianowej konstrukcji nośnej betonowej lub żelbetonowej będą charakteryzować się wyższą odpornością dynamiczną niż budynki tradycyjne i tradycyjne-ulepszone. Potwierdzają to skutki wstrząsów górniczych zaobserwowane w trakcie opracowywania skali GSIS-2017. Budynki szkieletowe o konstrukcji żelbetonowej lub stalowej są budynkami, których ustrój nośny przystosowany jest zazwyczaj do przenoszenia dużych obciążeń pionowych, natomiast zdolność tych obiektów do przyjmowania obciążeń poziomych zależy od sposobu i zakresu usztywnienia obiektu. Standardowo budynki szkieletowe, które nie były projektowane na wpływy wstrząsów górniczych, posiadają usztywnienia pozwalające przenieść obciążenia wiatrem. W związku z powyższym budynki te charakteryzują się odpornością dynamiczną zbliżoną do odporności budynków tradycyjnych i tradycyjnych-ulepszonych. Proponuje się zatem uwzględnienie wpływu rodzaju konstrukcji budynków na ich odporność dynamiczną, z podziałem na trzy grupy budynków:

- budynki murowane o konstrukcji tradycyjnej (T) i tradycyjnej-ulepszonej (T-U), które stanowią przeważającą większość w zabudowie terenów górniczych, i które są głównym przedmiotem obserwacji negatywnych skutków wstrząsów górniczych w istniejącej zabudowie powierzchni,
- budynki ścianowe betonowe i żelbetonowe, głównie wielokondygnacyjne – występujące w ograniczonej ilości na terenach miejskich,
- budynki szkieletowe o konstrukcji żelbetonowej lub stalowej, stanowiące pojedyncze przypadki rozwiązań konstrukcyjnych budynków.

Proponuje się przeprowadzenie oceny skutków wstrząsów górniczych w następujący sposób:

- w przypadku wielorodzinnych budynków mieszkalnych ścianowych betonowych i żelbetonowych, przyjmując stopień szkodliwości wstrząsów o jeden stopień niższy niż dla budynków tradycyjnych i tradycyjnych-ulepszonych,
- w przypadku budynków o konstrukcji szkieletowej, przyjmując stopień szkodliwości wstrząsów jak dla budynków tradycyjnych i tradycyjnych-ulepszonych.

Poziomy i granice dynamicznej odporności budynków w odniesieniu do stopni intensywności skali GSIS-2017 dla budynków o różnej konstrukcji i w dobrym stanie technicznym, w formie graficznej przedstawiono w tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Graficzna prezentacja poziomów i granic empirycznej odporności dynamicznej budynków według skali GSIS-2017 dla obiektów w dobrym stanie technicznym

Stopień pomiarowej intensywności sejsmicznej	Obiekty w dobrym stanie technicznym			
	konstrukcje ścianowe murowane	konstrukcje ścianowe betonowe, żelbetowe	konstrukcje szkieletowe	
	Poziomy odporności dynamicznej			
0	pełna	pełna	pełna	
I	pełna	pełna	pełna	Granica nieszkodliwości drgań
II	wysoka	pełna	wysoka	
III	wysoka	wysoka	wysoka	
IV	dostateczna	wysoka	dostateczna	
V	dostateczna	dostateczna	dostateczna	Granica bezpieczeństwa konstrukcji
VI	warunkowa	warunkowa	warunkowa	

2.2.2. Wpływ stanu technicznego obiektów na ich odporność dynamiczną

Odporność dynamiczna obiektów budowlanych zależy również od stanu technicznego rozpatrywanych obiektów. W większości przypadków gorszy stan techniczny budynków oznacza jednocześnie mniejszą odporność dynamiczną tych obiektów, co wykazały wyniki pomiarów i badań prowadzonych w trakcie tworzenia skali GSIS-2017. Proponuje się, aby w przypadku budynków w złym stanie technicznym, przyjmować odporność dynamiczną obniżoną o jeden stopień intensywności w stosunku do obiektów w dobrym stanie technicznym (tab. 2.2). Należy jednak pamiętać, że w niektórych przypadkach uszkodzeń konstrukcji budynków, zmniejszenie ich sztywności przestrzennej może skutkować obniżeniem wartości sił bezwładności oddziałujących na budynek. Gorszy stan techniczny budynków nie musi wtedy oznaczać obniżenia ich odporności dynamicznej.

Wyznaczenie odporności dynamicznej obiektu według skali GSIS-2017 powinno polegać na wskazaniu stopnia pomiarowej intensywności sejsmicznej lub parametrów drgań ($PGV_{Hmax} - t_{Hv}$ lub $PGA_{H10} - t_{Ha}$), przy których obiekt zachowa określony poziom odporności, w zależności od swojej konstrukcji i stanu technicznego.

Tabela 2.2. Graficzna prezentacja poziomów i granic empirycznej odporności dynamicznej budynków według skali GSIS-2017 dla obiektów w złym stanie technicznym

Stopień pomiarowej intensywności sejsmicznej	Obiekty w złym stanie technicznym			
	konstrukcje ścianowe murowane	konstrukcje ścianowe betonowe, żelbetowe	konstrukcje szkieletowe	
	Poziomy odporności dynamicznej			
0	pełna	pełna	pełna	Granica nieszkodliwości drgań
I	wysoka	pełna	wysoka	
II	wysoka	wysoka	wysoka	
III	dostateczna	wysoka	dostateczna	
IV	dostateczna	dostateczna	dostateczna	Granica bezpieczeństwa konstrukcji
V	warunkowa	warunkowa	warunkowa	
VI				

3. ANEKS TECHNICZNY

Opracowane Zasady określają procedury postępowania w zakresie monitoringu sejsmicznego, interpretacji drgań zarejestrowanych na powierzchniowych stanowiskach sejsmometrycznych, archiwizacji pomiarów i zabudowy, prognozy wstrząsów i drgań dla oceny intensywności ich oddziaływania na powierzchnię. Zasady dostarczają również narzędzi do oceny odporności dynamicznej budynków z wykorzystaniem metody empirycznej.

3.1. Zasady prowadzenia powierzchniowych obserwacji sejsmometrycznych

Monitoring sejsmometryczny wstrząsów górniczych jest wykorzystywany do prognozy i oceny skutków drgań na środowisko powierzchniowe. Pozwala również na uzyskanie cyfrowych przebiegów wstrząsów sejsmicznych, niezbędnych do wykonywania obliczeń i analiz pracy konstrukcji obiektów budowlanych poddawanych obciążeniom dynamicznym od wstrząsów górniczych.

3.1.1. System pomiarowy

Rejestracje drgań prowadzone są z zastosowaniem aparatury z zapisem cyfrowym. W celu zapewnienia wysokiej jakości rejestracji drgań i możliwości

zastosowania specjalistycznych procedur ich przetwarzania i interpretacji wyników, liczba próbek zarejestrowanych drgań nie powinna być mniejsza niż 200 próbek/s, a amplitudy drgań powinny być opisywane w jednostkach fizycznych zgodnych z układem SI.

Zestaw pomiarowy powinien zapewniać pełną rejestrację:

- **amplitudy przyspieszenia drgań *PGA*** w zakresie od 0,01 do 3,0 m/s² w paśmie częstotliwości *f* od 0,5 do 100 Hz,
- **amplitudy prędkości drgań *PGV*** w zakresie od 0,0005 do 0,2 m/s w paśmie częstotliwości *f* od 0,5 do 100 Hz,
- **czasu** przebiegu całego wstrząsu zapisanego w jednym zbiorze (wstrząs wyzwolony automatycznie); czas ten ustawiony na stałe nie może być mniejszy niż 10 s,
- **ciągłego** przebiegu drgań zachowanego w buforze rejestratora przez okres co najmniej 10 dni.

Aparatura pomiarowa powinna posiadać aktualną kalibrację (charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe) wszystkich kanałów rejestrujących. Kalibrację kanałów sejsmicznych należy sprawdzać przynajmniej raz na dwa lata. Dokument kalibracyjny należy przechowywać wraz z dziennikiem zarejestrowanych zjawisk sejsmicznych.

Oprogramowanie aparatury powinno umożliwiać eksport sejsmogramów i akcelerogramów w ogólnodostępnym formacie ASCII.

3.1.2. Instalowanie odbiorników drgań

Stanowisko pomiarowe przeznaczone do prowadzenia monitoringu sejsmometrycznego powinno składać się z trzech odbiorników (mierników) drgań usytuowanych we wzajemnie prostopadłych kierunkach (dwa w poziomie i jeden pionowy). Pomiar sejsmometryczny parametrów drgań gruntu, w przypadku stosowania empirycznej skali oceny skutków drgań GSIS-2017, wymaga zainstalowania odbiorników drgań bezpośrednio w gruncie lub w budynkach, dla których funkcja przejścia drgań *F* z podłoża na fundament obiektu jest zbliżona do jedności (z reguły są to małe budynki jednorodzinne lub pomieszczenia gospodarcze i garaże). Zalecanym sposobem instalowania odbiorników w gruncie jest ich posadowienie i instalacja na specjalnych betonowych postumentach, trwale związanych z podłożem lub w płytkich (do kilku metrów) otworach wiertniczych. W przypadku instalacji w budynkach, dla których

funkcja przejścia drgań F z podłoża na fundament obiektu jest zbliżona do jedności, dopuszczalne jest instalowanie odbiorników drgań w piwnicach, na odsłoniętym w nich podłożu gruntowym lub bezpośrednio nad fundamentem do ściany nośnej, w sztywnym węźle konstrukcji.

3.1.3. Archiwizacja wyników obserwacji sejsmometrycznych

Oryginalne przebiegi drgań związanych z zarejestrowanymi wstrząsami górniczymi należy archiwizować na nośnikach cyfrowych. Nośniki te powinny być wyszczególnione i opisane w dzienniku rejestrowanych zjawisk sejsmicznych.

Rejestr zjawisk sejsmicznych powinien zawierać informacje dotyczące:

- typu aparatury pomiarowej,
- dokumentu kalibracyjnego,
- miejsca instalacji odbiorników drgań,
- budowy nadkładu w miejscu instalacji mierników drgań,
- profilu prędkościowego fal poprzecznych w miejscu lokalizacji mierników drgań,
- archiwizowanych oryginalnych przebiegów drgań,
- daty i czasu zarejestrowanych drgań wywołanych wstrząsami górniczymi,
- współrzędnych ognisk wstrząsów (co najmniej epicentrum) i ich energii sejsmicznej E_s ,
- wyników uzyskanych w procesie interpretacyjnym dotyczących zarejestrowanych parametrów drgań, do których należy zaliczyć: maksymalne wartości wypadkowej amplitudy prędkości drgań poziomych PGV_{Hmax} i czasu trwania wstrząsu obliczonego z przebiegu prędkościowego t_{Hv} ,
- stopnia intensywności w skali GSIS-2017,
- innych uzupełniających danych i parametrów (np. amplitudy pikowej prędkości drgań składowej pionowej PGV_z , maksymalnych wartości wypadkowej amplitudy przyspieszeń drgań poziomych w paśmie do 10 Hz PGA_{H10} , czasu trwania wstrząsu obliczonego z przebiegu przyspieszeniowego t_{Ha}).

Rejestr zjawisk sejsmicznych powinien być zachowany przez zakłady górnicze do końca ich żywotności, a po ich likwidacji, przekazany do Archiwum Dokumentacji Mierniczo-Geologicznej przy Wyższym Urzędzie Górniczym.

3.2. Interpretacja zapisów drgań zarejestrowanych na powierzchni

Do oceny intensywności drgań wywołanych wstrząsami górnictwymi zaleca się stosowanie skali empiryczno-pomiarowej GSIS-2017. Skala ta uwzględnia zarówno specyficzne cechy charakterystyki drgań rejestrowanych w GZW i LZW i typy obiektów budowlanych tam zlokalizowanych, jak i empirycznie wyznaczone granice wpływu oddziaływania wstrząsów górnictwowych na obiekty budowlane, liniową podziemną infrastrukturę techniczną, a także odczuwalność drgań przez ludzi.

3.2.1. Zasady określania podstawowych parametrów drgań powierzchni

Stosowanie empiryczno-pomiarowej skali intensywności sejsmicznej GSIS-2017 wymaga określenia odpowiednich parametrów charakteryzujących drgania składowych poziomych.

Parametry wstrząsów niezbędne do oceny stopni intensywności drgań w skali GSIS-2017 to:

Maksymalna wartość prędkości drgań poziomych PGV_{Hmax} , wyznaczona jako wypadkowa poziomego maksimum długości wektora, wyrażona w m/s

$$PGV_{Hmax} = \max\left(\sqrt{V_x^2(t) + V_y^2(t)}\right) \quad (3.1)$$

gdzie:

$V_x(t)$ – sejsmogram składowej poziomej x prędkości drgań,

$V_y(t)$ – sejsmogram składowej poziomej y prędkości drgań.

Odbiorniki drgań składowych poziomych x i y leżą w jednej płaszczyźnie i są wzajemnie prostopadłe. Powyższa procedura obliczeniowa pozwala na uniezależnienie się od kierunkowości instalacji odbiorników drgań. Wartość prędkości drgań poziomych PGV_{Hmax} może być obliczana na podstawie bezpośredniej rejestracji wyskalowanego sejsmogramu (zapisu prędkości drgań) lub po operacji całkowania akcelerogramu (zapisu przyspieszenia drgań), z zachowaniem procedury przygotowania sygnału do całkowania (skorygowanie trendu linii bazowej w zapisie – *baseline correction*).

Według analogicznej reguły (3.1) wyznaczana jest maksymalna wartość przyspieszenia drgań poziomych w zakresie częstotliwości do 10 Hz – PGA_{H10} . W celu uzyskania wartości PGA_{H10} sygnał przyspieszeniowy musi być odfiltrowany filtrem dolnoprzepustowym od sygnałów powyżej częstotliwości 10 Hz.

Czas trwania składowej poziomej prędkości drgań t_{Hv}

Czas trwania drgań jest wyznaczany z całki sumy kwadratów składowych poziomych prędkości drgań. Czas trwania oznacza przedział czasu zawarty między momentami czasowymi t_1 i t_2 we wzorze na intensywność

$$I_{HV} = \int_0^{tk} (V_X^2(t) + V_Y^2(t)) dt \quad (3.2)$$

gdzie:

t_1 – czas, po którym (3.2) osiąga 5% wartości tej całki obliczonej dla całego zarejestrowanego zapisu drgań,

t_2 – czas, po którym (3.2) osiąga 95% wartości tej całki obliczonej dla całego zarejestrowanego zapisu drgań,

tk – całkowity czas rejestracji wstrząsu, s.

Czas trwania składowej poziomej przyspieszenia drgań t_{Ha}

W przypadku parametru przyspieszenia drgań stosuje się wzór analogiczny jak (3.2) z tym, że uwzględnia się amplitudy przyspieszenia drgań w paśmie do 10 Hz zamiast prędkości tych drgań

$$I_{Ha} = \int_0^{tk} (a_X^2(t) + a_Y^2(t)) dt \quad (3.3)$$

gdzie:

t_1 – czas, po którym (3.3) osiąga 5% wartości tej całki obliczonej dla całego zarejestrowanego zapisu drgań,

t_2 – czas, po którym (3.3) osiąga 95% wartości tej całki obliczonej dla całego zarejestrowanego zapisu drgań.

Czasy trwania drgań t_{Hv} i t_{Ha} obliczane ze wzorów (3.2) i (3.3) wynoszą $\Delta t = t_2 - t_1$.

3.3. Prognozowanie parametrów drgań sejsmicznych na powierzchni

Istota prognozowania oddziaływań sejsmicznych dla projektowanej lub prowadzonej eksploatacji górniczej polega na wyznaczeniu charakterystyk drgań gruntu, jakie mogą być wywołane przez wstrząsy górotworu związane z tą eksploatacją.

3.3.1. Założenia prognozy sejsmicznej

Prognozę oddziaływań sejsmicznych na powierzchnię sporządza się dla obszarów, w których:

- w danym momencie jest prowadzona eksploatacja złoża,
- projektowana jest eksploatacja złoża w latach późniejszych, z ustaleniem okresów prognostycznych.

Prognozy oddziaływań sejsmicznych wywołanych działalnością górnictwem dokonuje się najczęściej z wykorzystaniem metod pośrednich (na podstawie zależności statystycznych, empirycznych i analitycznych), które umożliwiają określenie parametrów charakteryzujących efekt sejsmiczny drgań powierzchni i aktywność sejsmiczną górotworu.

Prognoza oddziaływań sejsmicznych z uwzględnieniem skali GSIS-2017 powinna uwzględniać następujące parametry:

- maksymalną prędkość drgań poziomych PGV_{Hmax} , wyznaczoną jako wypadkowe poziome maksimum długości wektora,
- czas trwania składowej poziomej prędkości drgań t_{Hv} .

3.3.2. Zasady prognozowania parametrów drgań powierzchni wywołanych wstrząsami górnictwem

Prognoza oddziaływań sejsmicznych na powierzchnię obejmuje następujące etapy:

- analiza dotychczasowego poziomu aktywności sejsmicznej indukowanej eksploatacją górnictwem prowadzoną w sąsiedztwie projektowanej eksploatacji lub w zbliżonych warunkach geologiczno-górnictwem,
- analiza dotychczasowych danych pomiarowych z obszaru badań i określenie funkcji empirycznej (regresji) opisującej charakter rozprzestrzeniania się drgań w ośrodku skalnym i rejestrowanych na powierzchni terenu,
- analiza wpływu budowy geologicznej warstw nadkładu na parametry drgań (amplifikacja drgań),
- opracowanie prognozy energii sejsmicznej dla prowadzonej lub projektowanej eksploatacji górnictwem z uwzględnieniem wstrząsów regionalnych,
- wykonanie prognozy oddziaływań sejsmicznych na powierzchnię.

3.3.2.1. Analiza dotychczasowego poziomu aktywności sejsmicznej

Dysponując bazą danych z obserwacji prowadzonych przez kopalniane stacje sejsmiczne należy opracować rozkłady aktywności sejsmicznej w horyzontach czasowych, określając ilość wstrząsów w poszczególnych klasach energetycznych, ilość wstrząsów w poszczególnych okresach czasu, suma-

ryczną energię sejsmiczną emitowaną przez górotwór dla określonych rejonów eksploatacji oraz inne rozkłady wiążące aktywność i wydatek energetyczny z parametrami eksploatacji.

3.3.2.2. Analiza dotychczasowych danych pomiarowych z obszaru badań i określenie funkcji opisującej charakter rozprzestrzeniania się drgań na powierzchni terenu

Na podstawie zbioru sejsmometrycznych danych pomiarowych należy opracować wzory empiryczne opisujące rozprzestrzenianie się drgań gruntu na drodze od ogniska wstrząsu do powierzchni terenu, w funkcji odległości, energii sejsmicznej wstrząsu oraz sejsmogeologicznych parametrów masywu skalnego i warstwy przypowierzchniowej.

Analizę należy przeprowadzić dla wydzielonych przedziałów czasu trwania drgań uwzględnianych w skali GSIS-2017.

3.3.2.3. Ocena wpływu budowy geologicznej warstw nadkładu na parametry drgań

Drgania rejestrowane w warstwie nadkładu w postaci gruntów niespoistych, o niskich prędkościach propagacji fali typu S, odbiegają od tych mierzonych na skalnym (twardym) podłożu i to zarówno w swej charakterystyce amplitudowej, jak i częstotliwościowej. Analiza tego zjawiska polega na ilościowym badaniu, na podstawie dokonanych rejestracji sejsmometrycznych, wpływu nadkładu gruntowego na zmianę wartości rejestrowanych amplitud prędkości drgań lub na zmianę kształtu wzorcowego spektrum odpowiedzi. Należy dążyć do sporządzenia mapy amplifikacji drgań w obszarze objętym prognozą. Innym sposobem uwzględnienia wpływu nadkładu na prognozowane parametry drgań jest opracowanie lokalnych wzorów empirycznych, reprezentatywnych dla określonych i zbliżonych warunków budowy geologicznej warstw nadkładu.

Wskazane jest prowadzenie badań korelujących prędkość fal sejsmicznych w nadkładzie ze współczynnikiem amplifikacji drgań (z uwzględnieniem klas gruntu według PN-EN-1998-1:2005).

3.3.2.4. *Opracowanie prognozy sejsmicznej dla prowadzonej lub projektowanej eksploatacji górniczej*

Zakłada się, że ognisko wstrząsu jest opisane dla celów związanych z prognozą oddziaływań sejsmicznych, przez:

- położenie ognisk wstrząsów, zdeterminowane warunkami deformacyjno-naprężeniowymi i tektonicznymi w projektowanych polach eksploatacyjnych i ich otoczeniu,
- parametr intensywności emisji energii sejsmicznej, wyrażony przez maksymalną wartość energii sejsmicznej E_s ,
- częstość występowania zjawisk sejsmicznych o określonej energii, która jest oparta na analizie statystycznej bazy danych, skorelowanej z parametrami eksploatacji.

Energię sejsmiczną wstrząsów czysto eksploatacyjnych można prognozować w sposób empiryczny (wzory empiryczne), analityczny (lub modelowanie numeryczne) oraz statystyczny. Warunkiem, który jest niezbędny dla prognozy sejsmiczności dotyczącej prowadzonej lub projektowanej eksploatacji górniczej, jest wyznaczenie energii sejsmicznej nie tylko dla wstrząsów „czysto” eksploatacyjnych, ale przede wszystkim dla wstrząsów o charakterze regionalnym, często z istotnym udziałem komponenty tektonicznej. Energia sejsmiczna/magnituda wstrząsów o charakterze regionalnym może być prognozowana na podstawie rozkładów statystycznych, z wykorzystaniem kompletnych baz danych dotyczących sejsmiczności badanego obszaru. Bazy te powinny także zawierać charakterystykę warunków geologicznych (ze szczególnym uwzględnieniem tektoniki) i warunków górniczych w badanym obszarze.

Sposób empiryczny wyznaczania energii sejsmicznej

Ocena maksymalnej prognozowanej energii sejsmicznej określona jest w funkcji korelacji od parametrów geologicznych i górniczych charakteryzujących ośrodek skalny i warunków technicznych projektowanej eksploatacji (np. Biliński, 1990).

Sposób analityczny (lub modelowanie numeryczne) wyznaczania energii sejsmicznej

Ocena maksymalnej energii sejsmicznej jest oparta na równaniach mechaniki górotworu opisujących pole naprężeń w rejonie projektowanej eks-

ploatacji. Ze względu na duży zakres obliczeń są one wykonywane z użyciem programów komputerowych uwzględniających modelowanie numeryczne sytuacji geologiczno-górnicyj.

Sposób statystyczny wyznaczania energii sejsmicznej

Zagrożenie sejsmiczne w ujęciu statystycznym oznacza prawdopodobieństwo wystąpienia wstrząsu o energii sejsmicznej $E_s \geq E_p$ w okresie czasu T . Prognoza energii sejsmicznej przy określonym prawdopodobieństwie jej wystąpienia, wyznaczana jest na podstawie statystycznych rozkładów ekstremalnych, utworzonych w oparciu o zgromadzone banki danych sejsmicznych, w podobnych warunkach geologiczno-górnicyj (Epstein, Lomnitz, 1966; Kottegoda, Rosso, 2008).

Prognoza statystyczna stosowana jest przede wszystkim w przypadku zjawisk o charakterze regionalnym, czyli związanych ze strefami ciągłych lub nieciągłych dużych zaburzeń tektonicznych. Eksploatacja górnicyj (czasami dość odległa) prowadzona w takich sytuacjach, staje się czynnikiem wyzwalającym wstrząs regionalny. Wstrząsy o charakterze regionalnym z dłuższymi czasami trwania drgań, $t > 3,0$ s, mają największy wpływ na poziom intensywności oddziaływania drgań na powierzchnię. Przy sporządzaniu prognozy sejsmiczności wstrząsów o charakterze regionalnym należy zastosować prognozę statystyczną.

Dzięki zastosowaniu powyższych procedur prognostycznych można określić prawdopodobieństwo osiągnięcia lub przekroczenia ustalonego poziomu energii sejsmicznej E_s dla projektowanej eksploatacji. Dla określonego prawdopodobieństwa wyznaczane są czasy powrotu zjawisk sejsmicznych (częstość występowania) o określonym poziomie energii sejsmicznej oraz ustalane są miejsca rejonizacji prognozowanych ognisk wstrząsów (x_0 , y_0 i szacunkowo z_0). Przy prognozowaniu wstrząsów o charakterze regionalnym z zastosowaniem metody statystycznej rozkładów ekstremalnych dla oceny intensywności drgań i sporządzania planów ruchu zakładów górnicyj, zaleca się wyznaczenie prognozowanej energii sejsmicznej w ustalonym okresie czasu z prawdopodobieństwem $P = 0,84$. Wartość ta jest wyznaczana w ustalonym horyzoncie czasowym, związanym z okresem, dla którego jest przygotowywany plan ruchu.

W uzasadnionych przypadkach, gdy prognoza sejsmiczności wstrząsów wykonywana jest dla celów związanych z projektowaniem obiektów budowlanych użyteczności publicznej, energię sejsmiczną wstrząsu należy przyjąć jako kwantyl rzędu 0,95 rozkładu ekstremalnego energii wstrząsów dla 50-letniego horyzontu czasowego. W tym przypadku powinny być uwzględnione nie tylko plany eksploatacji projektowanej na najbliższe lata, ale również obszary o zasobach, które mogą być w przyszłości eksploatowane. W przypadku obiektów specjalnych (np. elektrowni atomowych) założenia obliczeniowe należy przyjmować według norm i zaleceń stosowanych dla takich obiektów.

3.3.3. Estymacja oddziaływań sejsmicznych na powierzchnię

Wyróżnia się następujące rodzaje prognozy parametrów drgań gruntu podłoża na powierzchni obszarów górniczych kopalń:

- prognozę szczegółową,
- prognozę ogólną.

3.3.3.1. Prognoza szczegółowa

Istotą prognozy szczegółowej są wzory empiryczne służące do estymacji parametrów drgań gruntu dla lokalnych obszarów górniczych.

Prognozę szczegółową wykonuje się w tych obszarach, w których istnieje dostatecznie gęsta sieć punktów pomiarowych (ze względu na stabilność ocen statystycznych). Można zatem opracować lokalne wzory empiryczne wiążące energię sejsmiczną wstrząsów z parametrami charakteryzującymi drgania gruntu $PGV_{H_{max}}$ i t_{Hv} lub PGA_{H10} i t_{Ha} . Prognoza taka zawiera elementy związane z charakterystyką ognisk wstrząsów, funkcją tłumienia drgań przez ośrodek skalny i wpływem lokalnej budowy geologicznej warstw przypowierzchniowych (tzw. amplifikacji drgań). Tak więc w prognozie szczegółowej wykorzystuje się lokalne wzory empiryczne, z uwzględnieniem reprezentatywnych czasów trwania drgań.

Lokalne wzory empiryczne wykorzystywane do estymacji parametrów drgań

Do oceny zmian lokalnej intensywności sejsmicznej wykorzystuje się empiryczny model regresji opisujący zależność maksymalnej wartości drgań (prędkości lub przyspieszenia) od energii sejsmicznej wstrząsu i odległości

epicentralnej. Skala GSIS-2017 uwzględnia również czas trwania głównej fazy drgań, jako drugiego parametru, mającego istotny wpływ na ocenę stopnia intensywności drgań. Z tego powodu zaleca się opracowanie lokalnych wzorów do wyznaczania parametrów prędkości PGV_{Hmax} i przyspieszenia PGA_{H10} drgań powierzchni z uwzględnieniem czasów trwania drgań: 0–1,5 s, 1,5–3 s i ponad 3 s. Możliwe jest również opracowanie wzorów dla estymacji czasu trwania głównej fazy drgań.

We wzorach empirycznych służących do obliczania maksymalnych wartości prędkości i przyspieszenia drgań gruntu, jest już uwzględniony wpływ amplifikacji drgań pod stanowiskami sejsmometrycznymi zlokalizowanymi w obszarze kopalni. Stąd, uwzględnienie tego współczynnika do estymacji drgań, wymaga przyjęcia jego względnej wartości, określonej w odniesieniu do jego wartości przypisanej do stanowisk pomiarowych, na podstawie których tworzono bazę parametrów wykorzystanych do opracowania lokalnych wzorów empirycznych.

Do opracowania wzorów określających zależność między parametrami prędkości i przyspieszenia drgań a energią sejsmiczną i odległością epicentralną, proponuje się zastosowanie modelu Joyner-Boore'a (Joyner, Boore, 1981), który zakłada wzrost poziomu drgań wraz ze wzrostem energii sejsmicznej wstrząsów i ich spadek związany z rozpraszaniem i tłumieniem fal sejsmicznych, zależny od odległości hipocentralnej lub inną postacią wzoru na relację tłumienia, udokumentowaną w literaturze specjalistycznej (np. Campbell, 1981; Ambraseys i in., 2005).

Model obliczeniowy (Joyner, Boore, 1981) ma następującą postać:

$$\log PGV_{Hmax} = \alpha + \beta \log E - \log (R_h) + \gamma R_h + cS + \sigma P \quad (3.4)$$

$$\log PGA_{H10} = \alpha + \beta \log E - \log (R_h) + \gamma R_h + cS + \sigma P \quad (3.5)$$

gdzie:

PGV_{Hmax} – maksymalna wartość prędkości drgań poziomych PGV_{Hmax} , wyznaczona jako wypadkowa poziomego maksimum długości wektora, m/s;

PGA_{H10} – maksymalna wartość przyspieszeń drgań poziomych PGA_{H10} , wyznaczona jako wypadkowa poziomego maksimum długości wektora w zakresie częstotliwości do 10 Hz, m/s²;

E – energia sejsmiczna wstrząsów, J;

- R_h – odległość hipocentralna, m; $R_h = (R_e^2 + h^2)^{0,5}$;
- R_e – odległość epicentralna, m;
- h – średnia głębokość wstrząsów, która minimalizuje sumę kwadratów reszt;
- α, β, γ – współczynniki estymowane z obserwacji sejsmometrycznych;
- c – stała związana z amplifikacją drgań;
- S – parametr przyjmujący wartość 0 dla podłoża skalnego lub 1 w pozostałych przypadkach;
- $\log(R_h)$ – wyraz związany z tłumieniem (rozpraszaniem) fali sejsmicznej;
- γR_h – wyraz związany z pochłanianiem fali sejsmicznej (tłumienie niesprężyste);
- σ – błąd standardowy estymacji;
- P – przyjmuje wartość 0 dla kwantyla rzędu 0,5 i 1 dla kwantyla rzędu 0,84.

Wartości amplitud drgań uzyskane z regresji liniowej (3.4) i (3.5) proponuje się obliczać jako kwantyle rzędu 0,50 i 0,84 w funkcji odległości, energii sejsmicznej i budowy nadkładu warstw geologicznych. Kwantyl 0,5 jest oszacowaniem średniej wartości amplitudy drgań, natomiast kwantyla rzędu 0,84 proponuje się używać jako oszacowania prognozowanych wartości amplitud drgań.

3.3.3.2. Prognoza ogólna (regionalna)

Prognozę ogólną wykonuje się w sytuacjach, kiedy:

- nie dysponuje się dostateczną ilością lokalnych danych pomiarowych w rejonie dokonywanej prognozy,
- istnieje pilna potrzeba opracowania prognozy.

W regionalnej prognozie drgań wykorzystywane są modele empiryczne regresji, opisujące zależności dla całego regionu GZW, między parametrami seismologicznymi silnych wstrząsów (E_s – energia wstrząsu, R_e – odległość epicentralna, R_h – odległość hipocentralna), a parametrami charakteryzującymi drgania składowej poziomej skalnego podłoża (twardego podłoża) PGV_{Hmax} lub PGA_{H10} (Mutke, 1991; Chodacki, 2016).

Prognoza regionalna musi ponadto uwzględniać wpływ lokalnej budowy warstw przypowierzchniowych na drgania powierzchni gruntu, a więc bezwzględną wartość współczynnika amplifikacji drgań W_f . Współczynnik ten

określany jest najczęściej na podstawie rozwiązań analitycznych (Savarenskij, 1959; Mutke, Dworak, 1992) i/lub komercyjnych programów obliczeniowych, np. SHAKE 91. W obliczeniach współczynnika amplifikacji drgań należy uwzględnić właściwe dla danego obszaru parametry seismogeologiczne ośrodka, potwierdzone dokumentacjami badań geologicznych (miąższość i budowa litologiczna warstw nadkładu) i geofizycznych (prędkość propagacji fali poprzecznej w warstwach nadkładu V_{S30} , częstotliwość drgań itp.).

Ostateczny wzór na maksymalne prognozowane drgania składowej poziomej na powierzchni (PGV_{Hmax}) przyjmuje postać

$$PGV_{Hmax} = v_{MD} W_f \quad (3.6)$$

gdzie:

PGV_{Hmax} – prędkość drgań w warstwie przypowierzchniowej,

v_{MD} – prędkość drgań skalnego podłoża lub na gruntach typu A – według PN-EN-1998-1:2005,

W_f – współczynnik amplifikacji drgań.

Należy podkreślić, że zjawisko amplifikacji może powodować nawet kilkukrotne wzmocnienie drgań i dlatego jest istotnym czynnikiem mającym wpływ na stan zagrożenia sejsmicznego na powierzchni. Coraz częściej stosuje się wyznaczanie izolinii drgań po wstrząsie na podstawie połączonych informacji uzyskanych z relacji tłumienia i rzeczywistych parametrów zarejestrowanych drgań (Mutke i in., 2017b).

3.4. Przedstawianie wyników prognozy oddziaływań sejsmicznych na powierzchnię

Prognoza oddziaływań sejsmicznych projektowanej eksploatacji górniczej na powierzchnię polega na określeniu rozkładów wartości parametrów drgań gruntu (prędkości PGV_{Hmax} lub przyspieszenia PGA_{H10}), obliczonych z empirycznej krzywej regresji dla trzech kolejnych przedziałów czasu trwania (0–1,5 s; 1,5–3 s; > 3 s) maksymalnej fazy drgań (t_{Hv} lub t_{Ha}). Rozrzut wartości przeciętnych należy przedstawić w tabeli lub wykreślić na mapie jako wartość kwantyla rzędu 0,84 lub wartość przedziału predykcji.

Rozkłady wartości parametrów drgań gruntu (PGV_{Hmax} lub PGA_{H10}) dla kolejnych czasów ich trwania stanowią podstawę do sporządzania rozkładów intensywności drgań. Do dalszej analizy przyjmuje się najwyższe parametry

drgań gruntu spośród wyznaczonych dla założonych w obliczeniach trzech przedziałów czasowych. Następnie, na mapach powierzchni terenu, wykreślone są izolinie prognozowanych stopni intensywności drgań – zgodnie ze skalą GSIS-2017.

Prognoza regionalna uwzględnia wstrząsy najsilniejsze i może być wyznaczona dla najmniej korzystnych czasów trwania drgań, tj. przy założeniu głównej fazy drgań o czasie trwania ponad 3 s.

Przedział czasowy prognozy sejsmicznej jest z reguły zdeterminowany okresem realizacji projektu eksploatacji górniczej, określonym w planie ruchu zakładu górniczego, a także w kompleksowym projekcie eksploatacji, względnie okresem eksploatacji przewidywanym w danym rejonie.

3.5. Sposób wykorzystywania wyników prognozy

Wyniki w formie prognozowanej energii sejsmicznej wstrząsów, z określonym prawdopodobieństwem ich zaistnienia, wykorzystywane są do prognozowania parametrów drgań sejsmicznych w podłożu, według skali GSIS-2017. Tak wyznaczone parametry służą do oceny wpływu prognozowanych drgań sejsmicznych na budynki, liniowe obiekty infrastruktury podziemnej oraz oceny odczuwalności wstrząsów przez ludzi i oceny poziomu uciążliwości użytkowania obiektów budowlanych. Powyższe parametry drgań podłoża służą również do wykonania prognozy sejsmicznej drgań gruntu, stanowiącej załącznik do planu ruchu zakładu górniczego.

Probabilistyczna prognoza energii sejsmicznej może być wykorzystana również do wyznaczania projektowego przyspieszenia drgań a_p dla prowadzonej i projektowanej eksploatacji, z uwzględnieniem zasad jego wyznaczania przedstawionych w PN-EN-1998-1:2005.

4. PROWADZENIE OBSERWACJI SKUTKÓW WSTRZĄSÓW W OBIEKTACH BUDOWLANYCH I ICH DOKUMENTOWANIE

4.1. Cele i ogólne zasady gromadzenia informacji o skutkach wstrząsów górniczych w budynkach

Określenie rzeczywistych skutków wstrząsów górniczych, które wystąpiły w budynkach, jest najczęściej zadaniem bardzo trudnym (Barański i in., 2014a, 2014b). Skutki te nakładają się zazwyczaj na powstałe wcześniej uszkodzenia obiektów pod wpływem czynników ogólnobudowlanych, jak również na skutki oddziaływania górniczych deformacji podłoża, będące następstwem prowadzonej podziemnej eksploatacji górniczej.

Określenie rzeczywistych skutków wstrząsów górniczych, po wykazaniu związku przyczynowo-skutkowego między wstrząsem a szkodą, jest niezbędne dla ustalenia odpowiedzialności przedsiębiorcy górniczego i określenia sposobu usunięcia powstałej szkody. Dodatkowym celem obserwacji skutków wstrząsów górniczych w budynkach jest stworzenie bazy informacji empirycznych do dalszej weryfikacji i aktualizacji skali GSIS-2017. Zakres przeglądów stanu technicznego budynków (ogłędzin zgłoszonych szkód) po zaistniałym wstrząsie, powinien zależeć przede wszystkim od określonych po tym wstrząsie stopni intensywności drgań w skali GSIS-2017.

Prowadzenie przeglądów powinno odbywać się w następującej kolejności:

- zgłoszenia dotyczące skutków zagrażających bezpieczeństwu użytkownika obiektu,
- pozostałe zgłoszenia dotyczące skutków w strefach oddziaływań wstrząsu,
- obiekty bez zgłoszonych skutków – budynki o odporności dynamicznej niższej od stwierdzonej intensywności drgań i budynki (obiekty) o szczególnym przeznaczeniu.

W każdej z ww. grup przeglądy należy rozpoczynać od obiektów znajdujących się w miejscach, gdzie stwierdzono najwyższy stopień intensywności drgań.

Zakres informacji gromadzonych na temat poszczególnych budynków powinien obejmować następujące rodzaje danych:

- dane o budynkach charakteryzujące geometrię bryły budynku, opis zastosowanych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych, opis aktualnego stanu

technicznego budynku z wyróżnieniem stopnia naturalnego zużycia obiektu oraz stanu jego uszkodzeń,

- dane o wstrząsach górniczych, czyli wartość energii sejsmicznej, lokalizacja wstrząsu, dane o stwierdzonych oddziaływaniach na rozpatrywany obiekt (czyli wartości intensywności drgań wyznaczone w skali GSIS-2017) i parametry drgań podłoża budynku (tj. $PGV_{H_{max}} - t_{Hv}$, $PGA_{H10} - t_{Ha}$),
- dane o wpływach dokonanej eksploatacji górniczej, z uwzględnieniem czasu ich wystąpienia i zaistniałych wskaźników deformacji powierzchni.

W charakterystyce rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych budynku konieczne jest odnotowanie zabezpieczeń konstrukcyjnych wprowadzonych w celu ochrony obiektu przed wpływami górniczych deformacji podłoża i zabezpieczeń budynków przed wpływami wstrząsów górniczych. W opisie stanu uszkodzeń budynku istotne jest, choć nie zawsze możliwe, rozróżnienie skutków wstrząsu górniczego od wcześniejszych uszkodzeń spowodowanych czynnikami ogólnobudowlanymi lub wpływami górniczych deformacji podłoża.

Dane pozyskane w trakcie przeprowadzanych przeglądów budynków narażonych na wpływy wstrząsów górniczych powinny być archiwizowane w sposób umożliwiający szybki i łatwy dostęp do nich.

4.2. Sposób i zakres prowadzenia obserwacji budynków

Dla optymalnego wykorzystania wyników wizji lokalnych, wykonywanych w budynkach bezpośrednio po wystąpieniu wstrząsów górniczych, określono niezbędny zasób informacji, który powinien być zgromadzony podczas każdego wykonywanego przeglądu budynku. Zasób ten obejmuje dane charakteryzujące objęty przeglądem obiekt budowlany i dane dotyczące wpływów górniczych, które oddziaływały na ten obiekt.

Za minimalny zakres danych opisujących badany budynek należy uznać:

- dane o lokalizacji budynku:
 - adres administracyjny budynku,
 - nazwa obszaru/terenu górniczego, na którym zlokalizowany jest budynek,
 - współrzędne lokalizacji budynku;
- dane o geometrii budynku:
 - wymiary rzutu poziomego,
 - kształt rzutu poziomego,

- regularność rzutu poziomego budynku i stopień jego rozczłonkowania,
- stopień podpiwniczenia budynku,
- wysokość budynku podana jako liczba i wysokość kondygnacji nadziemnych;
- dane o istniejących rozwiązaniach konstrukcyjno-materiałowych budynku:
 - typ ustroju nośnego budynku,
 - rodzaj i materiał konstrukcyjny fundamentów budynku,
 - rodzaj i materiał konstrukcyjny ścian piwnic i ścian kondygnacji nadziemnych,
 - rodzaj i materiał konstrukcyjny stropów piwnic i kondygnacji nadziemnych,
 - rodzaj i materiał konstrukcyjny nadproży okiennych i drzwiowych,
 - rodzaj i materiał konstrukcyjny dachu budynku,
 - rodzaj i materiał konstrukcyjny elementów zabezpieczenia budynku przed wpływami górnicych deformacji podłoża, z podaniem kategorii terenu górnicych lub wartości wskaźników deformacji powierzchni, przyjętych przy projektowaniu zabezpieczeń,
 - rodzaj i materiał konstrukcyjny elementów zabezpieczenia budynku przed wpływami wstrząsów górnicych, z podaniem wartości parametrów drgań podłoża budynku, przyjętych przy projektowaniu zabezpieczeń.

W obecnej wersji skali proponuje się sporządzanie charakterystyki budynków według cech uwzględnianych w metodzie punktowej wykorzystywanej do oceny odporności statycznej, czyli danych o obecnym stanie technicznym budynku:

- stopnia naturalnego zużycia obiektu,
- stanu uszkodzeń budynku przed wystąpieniem wstrząsu górnicych,
- przyrostu uszkodzeń budynku w następstwie oddziaływania wstrząsu górnicych wraz z lokalizacją zaistniałych uszkodzeń.

Dane o obecnym stanie technicznym budynku powinny być wzbogacone o dokumentację fotograficzną (ogólny widok budynku, szczegóły zaistniałych uszkodzeń obiektu).

Opis oddziaływań górnicych na rozpatrywany obiekt budowlany powinien zawierać:

- informacje dotyczące wpływu na budynek silnych wstrząsów pochodzenia górnicych, w tym daty wystąpienia poszczególnych wstrząsów górnicych,

wielkość ich energii sejsmicznej i ich lokalizacja oraz stopień intensywności tych wstrząsów,

- dane o wpływie na budynek deformacji ciągłych podłoża górniczego w postaci wartości wskaźników deformacji powierzchni w podłożu budynku.

Informacje o czynnikach górniczych oddziałujących na rozpatrywany obiekt budowlany stanowią bardzo ważne uzupełnienie wyników przeglądu budynku i są niezbędne dla właściwej diagnostyki przyczyn powstałych uszkodzeń tego obiektu.

4.3. Dokumentowanie obserwacji skutków wstrząsów w obiektach budowlanych wraz z parametrami drgań według skali GSIS-2017

Dla dokumentowania skutków wstrząsów w obiektach budowlanych zaleca się stosowanie tabel opracowanych w arkuszach obliczeniowych (tab. 4.1–4.3) lub korzystanie z aplikacji bazodanowych. W tabelach w kolumnie (Pkt) punkty wyznaczone są zgodnie z metodą punktową oceny odporności budynków (Mika 2006).

Przedstawiono przykładowy zestaw tabel dla dokumentowania skutków wstrząsów indukowanych eksploatacją górnictwem.

Tabela 4.1. Zgłoszenie szkody – zawierające jeden arkusz

Arkusz 4.1.1. Zgłoszenie uszkodzeń w budynku (obiekcie budowlanym) – po wstrząsie w dniu																				
Lp.	Indywidualny numer (lub nr wniosku – sprawy)	Data zgłoszenia		Data oględzin		Data wstrząsu, któremu przypisane są powstające w budynku uszkodzenia		Liczba obiektów budowlanych, których dotyczy zgłoszenie pod numerem w kolumnie 1		Rodzaj obiektu		Czy budynek znajduje się pod wpływami deformacji ciągłych		Czy szkoda została uznana		Jeśli szkoda została uznana – to uwagi na.....		Uwagi		
		dd-mm-rrrr	rrrr	dd-mm-rrrr	rrrr	dd-mm-rrrr	rrrr	5	6	7	8	9	10	11						
0	1																			



– rubryki wypełniane po dokonaniu oględzin i analizie zaistniałego zdarzenia

Tabela 4.2. Informacja o budynku (obieckie budowlanym) – zawierająca pięć arkuszy

Arkusz 4.2.1. Lokalizacja budynku										
Lp.	Indywidualny numer (lub nr wniosku – sprawy)	Adres budynku			Rodzaj obiektu budowlanego	Pkt*	Współrzędne			Teren górniczy kopalni
		miejsce	ulica	numer domu			X	Y		
0	1	2	3	4	budynek mieszkalny	0				
					zabudowania gospodarcze (komórki, chlewy, stodoły)	-12				
					budynki przeznaczone na czasowy pobyt ludzi (warsztaty, magazyny, garaże)	-6		X	Y	
					budynek użyteczności publicznej (stale lub czasowe przebywanie dużych grup ludzi)	12				
					budynki o wrażliwym na wpływy eksploatacji wykończeniu lub wyposażeniu (np. muzea, zabytki)	6				
					5	6	7	8	9	

Pkt* – zgodnie z metodą punktową oceny odporności budynków

– informacje z bazy danych względnie wpisane w arkusze w trakcie zleconej inwentaryzacji

Arkusz 4.2.2. Geometria budynku													
Lp.	Indywidualny numer identyfikacyjny budynku (lub nr wniosku – sprawy)	Długość		Szerokość		Kształt bryły budynku	Pkt**	Posadowienie budynku	Pkt**	Podłoże budynku	Pkt**	Liczba kondygnacji nadziemnych	Wysokość kondygnacji
		do 10	Pkt**	do 15	Pkt**								
		do 10	2	do 15	4	rzut prosty, bryła zwarta	0	na stałym poziomie	0	grunty nieskałiste z wyjątkiem gruntów kamiennistych	0	0	
		do 20	7	do 30	15	rzut słabo rozczłonkowany, bryła zwarta	4	zmienny poziom posadowienia	5	grunty nasympowe warstwa amortyzacyjna	5	4	
		do 50	25	do 100	50	rzut silnie rozczłonkowany, bryła zwarta	8	posadowienie z niepodpiwniczoną bramą przejazdową	8	grunty nieskałiste kamieniste i skałiste z wyjątkiem skały litej i słabo spękanej	8	6	
		[m]		[m]			10		10		10	10	
0	1	10	11	12		13	14	15	16	17	18	19	20

Pkt* – zgodnie z metodą punktową oceny odporności budynków

– informacje z bazy danych względnie wpisane w arkusze w trakcie zleconej inwentaryzacji

Arkusz 4.2.5. Stan techniczny budynku								
Lp.	Indywidualny numer (lub nr wniosku – sprawy)	Stopień naturalnego zużycia (np. określony w % względnie opisowo)	Uszkodzenia konstrukcyjne przed wystąpieniem wstrząsu		Ogólny stan techniczny	Pkt* Pkt*	Elementy wykonczeniowe lub konstrukcyjne znajdujące się w innym stanie niż „dobry”	
			Pkt*	Pkt*				
0	1	40	41	42	43	44	45	46

* Budynki w złym stanie technicznym. Budynki, w których mogą występować:

- przekroczenia wytrzymałości pojedynczych elementów nośnych, co oznacza pojawienie się pęknięć ścian, nadproży i stropów oraz połączeń elementów nośnych,
- obłuzowania belek stropowych,
- duże deformacje bryły budynku,
- duże naturalne zużycie materiałów konstrukcyjnych, przejawiające się rozległą i zaawansowaną erozją murów ścian konstrukcyjnych budynku oraz rozległą i zaawansowaną korozją zbrojenia i betonu w żelbetowych elementach konstrukcyjnych budynku.

Pkt* – zgodnie z metodą punktową oceny odporności budynków

– informacje z bazy danych względnie wpisane w arkusze w trakcie zleconej inwentaryzacji

Tabela 4.3. Informacja o uszkodzeniach budynku (obiektu budowlanego) – zawierająca trzy arkusze

Arkusz 4.3.1. Parametry charakteryzujące zaistniały wstrząs w miejscu lokalizacji budynku (obiektu budowlanego)																													
Lp.	Indywidualny numer identyfikacyjny budynku (lub nr wniosku – sprawy)	Data wstrząsu	Godzina minuta	Energia wstrząsu		Współrzędne budynku (obiektu)			Współrzędne ogniska (epicentrum) wstrząsu			Dane stanowiska najbliższego od analizowanego budynku			Odległość ^b			Parametry drgań zarejestrowane na najbliższej położonym od budynku stanowisku sejsmometrycznym						Parametry wstrząsu wyliczone dla współrzędnych budynku ²⁾ , w którym wystąpiły uszkodzenia po wstrząsie					
				X_b	Y_b	Z_b	X_w	Y_w	Z_w	nr stanowiska	X_s	Y_s	Z_s	r_{e-b}	r_{b-s}	r_{e-s}	$PGV_{H_{max}}$	t_{Hv}	I_{GIS}	$PGA_{H_{10}}$	t_{Ha}	I_{GIS}	$PGV_{H_{10}}$	t_{Hv}	I_{GIS}	$PGA_{H_{10}}$	t_{Ha}	I_{GIS}	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	

¹⁾ r_{e-b} – odległość: epicentrum – budynek

r_{b-s} – odległość: budynek – stanowisko rejestracji parametrów (najbliższe uszkodzonego obiektu)

r_{e-s} – odległość: epicentrum – stanowisko rejestracji parametrów

²⁾ w przypadku, gdy budynek zlokalizowany jest w odległości do 250 m od powierzchniowego stanowiska pomiarowego, parametry wstrząsu dla współrzędnych budynku należy przyjmować takie jak na stanowisku rejestracyjnym



– wypełniona służba mierniczo-geologiczna (szkody)

– wypełniona służba ds. tapaiń

rubryki 20, 21, 22, 26, 27 i 28 – wypełniać dla danych archiwalnych i ewentualnie dla analiz porównawczych, względnie na wyraźne polecenie osób lub instytucji uprawnionych

Arkusz 4.3.2. Uszkodzenia budynku powstałe w wyniku wstrząsu											
Lp.	Indywidualny numer identyfikacyjny budynku (lub nr wniosku – sprawy)	Elementy niekonstrukcyjne ³⁾				Elementy konstrukcyjne ³⁾				Stan techniczny budynku przed wstrząsem	Stopień uszkodzeń wg skali GSIS-2017
		powiększenie się uszkodzeń istniejących (opis)	pierwsze nowe uszkodzenia (opis)	liczne uszkodzenia powstałe zarówno w wyniku powiększania się uszkodzeń istniejących, jak i powstałe jako nowe (opis)	zniszczenia elementów (jakich – ilu – opis)	powiększenie się uszkodzeń istniejących (opis)	pierwsze nowe uszkodzenia (opis)	uszkodzenia duże ⁴⁾ powstałe zarówno w wyniku powiększania się uszkodzeń istniejących, jak i powstałe jako nowe (opis)	zniszczenia elementów (jakich – ilu – opis)		
0	1	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38

³⁾ Elementy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne zgodnie z rozdziałem 4.4.2 Zasad

⁴⁾ uszkodzenia duże to np. pęknięcia i szczeliny (na wskroś)

– wypełnia służba mierniczo-geologiczna (szkody)

Arkusz 4.3.3. Informacje dodatkowe (deformacje cegieł, oddziaływania dynamiczne, odporność obiektu, klasyfikacja uszkodzeń)																						
Lp.	Identyfikacyjny numer (lub nr wniosku – sprawy)	Stan deformacji podłoża budynku przed wystąpieniem wstrząsu				Tablica kwalifikacyjna metody punktowej				Kategoria odporności budynku (owf) wg obliczeń – ekspertyz lub przyjęta z metody punktowej		Odporność obiektu (D_o) a deformacja terenu (D)		Stan techniczny budynku przed wstrząsem		Odporność dynamiczna budynku (z planu ruchu) w odniesieniu do skali GSIS-2017		Odporność dynamiczna budynku w miejscu jego lokalizacji		Uwagi dodatkowe, analizy, przeliczenia itd.		
		w	T	ϵ	R	suma pkt*	ϵ_p [mm/m]	kategoria odporności budynku	$D_o > D$	$D_o \leq D$	I_{GSIS} lub PGA	I_{GSIS} lub PGI	I_{GSIS} lub PGA	I_{GSIS} [stopień]	[mm/s]	[mm/s ²]	I_{GSIS} [stopień]	stopień uszkodzeń wg skali GSIS-2017	odporność dynamiczna obiektu (OD_o) a stopień uszkodzenia obiektu (SZ_o)	stopień uszkodzeń wg skali GSIS-2017	Uwagi dodatkowe, analizy, przeliczenia, uwagi	
0		[mm]	[mm/m]	[mm/m]	[km]	≥ 60	$\leq 0,3$	0														
1		39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57		

— wypełniona służba mierniczo-geologiczna (szkody)

— wypełniona służba ds. tapai

* Punktacja za cechy budynku wg zmodyfikowanej metody punktowej.

4.4. Wybrane opisy i definicje budowlane stosowane w tabelach

4.4.1. Typy i rodzaje budynków w odniesieniu do konstrukcji nośnej

W Górnośląskim Zagłębiu Węglowym rozróżnia się dwa podstawowe typy konstrukcji nośnej budynków:

- budynki o konstrukcji ścianej, czyli budynki, w których obciążenia pionowe przenoszone są przez ściany budynków,
- budynki o konstrukcji szkieletowej, czyli budynki, w których obciążenia pionowe przenoszone są przez słupy budynków.

Trzecim spotykanym typem konstrukcji nośnej budynków są budynki o mieszanej konstrukcji nośnej, zbudowane zarówno ze ścian, jak i słupów. Dominującym typem konstrukcji nośnej budynków są obecnie budynki o konstrukcji ścianej.

Budynki o konstrukcji ścianej są to budynki, których ustrój nośny stanowią ściany budynku. Budynki tego typu występują w następujących odmianach:

- budynki o konstrukcji tradycyjnej – czyli budynki o ścianach nośnych murowanych z kamienia lub z cegły, ze stropami w postaci sklepień ceglanych lub stropów drewnianych, z nadprożami ceglanyymi łukowymi lub płaskimi, posadowione na fundamentach kamiennych lub ceglanych; budowane do połowy XX wieku,
- budynki o konstrukcji tradycyjnej-ulepszonej – czyli budynki o ścianach nośnych murowanych z cegły, pustaków lub innych elementów drobnowymiarowych, ze stropami żelbetowymi lub ceramicznymi gęstożebrowymi, z nadprożami żelbetowymi płaskimi oraz z żelbetowymi wieńcami obwodowymi, posadowione na fundamentach żelbetowych, wznoszone od drugiej połowy XX wieku,
- budynki o konstrukcji wielkoblokowej – czyli budynki o konstrukcji prefabrykowanej, których ściany zbudowane są z elementów ściennych w postaci bloków betonowych, stanowiących wielokrotność cegieł lub pustaków, natomiast stropy wykonane są z prefabrykowanych płyt żelbetowych,
- budynki o konstrukcji ścianej wielkopłytowej – czyli budynki o konstrukcji prefabrykowanej, których ściany zbudowane są z płytowych elementów ściennych, tworzących całą ścianę danej kondygnacji, natomiast stropy wykonane są z prefabrykowanych płyt żelbetowych,

- budynki o konstrukcji ścianej monolitycznej – czyli budynki zbudowane ze ścian i stropów żelbetowych, wykonywanych na mokro w miejscu budowy.

Budynki o konstrukcji szkieletowej są to budynki, których ustrój nośny zbudowany jest ze słupów budynku. Budynki tego typu występują w następujących odmianach:

- budynki szkieletowe żelbetowe,
- budynki szkieletowe stalowe,
- budynki szkieletowe drewniane.

4.4.2. Elementy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne budynku

Elementy konstrukcyjne budynku obejmują:

- elementy ustroju nośnego budynku – czyli elementy konstrukcji przenoszące głównie obciążenia pionowe budynku,
- elementy ustroju usztywniającego budynku – czyli elementy konstrukcji przenoszące głównie obciążenia poziome budynku.

Część elementów ustroju nośnego budynku jest jednocześnie elementami ustroju usztywniającego budynku.

Elementy niekonstrukcyjne budynku obejmują:

- elementy wypełniające budynek – elementy budowlane służące rozplanowaniu przestrzennemu budynek, czyli niekonstrukcyjne ściany zewnętrzne (ściany osłonowe) i niekonstrukcyjne ściany wewnętrzne (ściany działowe) budynku,
- elementy wykończeniowe budynek – elementy budowlane służące polepszeniu wyglądu i komfortu użytkowania budynek, takie jak okładziny elewacyjne, tynki, gładzie ścienne i sufitowe, powłoki malarskie, wykładziny ścienne, sufitowe i podłogowe wykonane z płytek ceramicznych, wykładzin i innych okładzin, sufity podwieszane, stolarka okienna i drzwiowa oraz pokrycie dachowe,
- elementy wyposażeniowe budynek – czyli urządzenia i instalacje techniczne zainstalowane w budynek, w tym instalacje dźwigowe, instalacje poszczególnych mediów oraz elementy umożliwiające i wspomagające korzystanie z tych mediów.

4.4.3. Uszkodzenia liniowe budynków

Rozróżnia się następujące rodzaje uszkodzeń liniowych elementów budynków:

- rysa, zarysowanie – uszkodzenie powierzchniowe o niewielkiej rozwarłości,
- pęknięcie – uszkodzenie o niewielkiej rozwarłości na całą głębokość elementu (na wskroś) – do 5 mm,
- szczelina – uszkodzenie o dużej rozwarłości na całą głębokość elementu (na wskroś) – powyżej 5 mm.

We wszystkich trzech powyższych przypadkach rodzaj uszkodzenia powinien być doprecyzowany z podaniem szerokości rozwarcia tego uszkodzenia.

5. PRZYKŁADY KLASYFIKACJI USZKODZEŃ BUDYNKÓW WEDŁUG SKALI GSIS-2017

Przykłady uszkodzeń budynków, charakterystyczne dla poszczególnych stopni intensywności drgań powierzchni terenu, zostały przedstawione na fotografiach od 5.1 do 5.15. W ramach selekcji przykładów uszkodzeń budynków, powstałych w wyniku wstrząsów górniczych, skoncentrowano się przede wszystkim na przypadkach odpowiadających najwyższemu stopniowi intensywności drgań, które występują najrzadziej na terenach górniczych GZW.



Fot. 5.1. Stopień V – przemieszczenie konstrukcji dachu, zniszczenie dużych fragmentów ścianek kolankowych



Fot. 5.2. Stopień V – zawalenie się fragmentu słabo zamocowanej ściany szczytowej i pęknięcie nadproża ściany nośnej



Fot. 5.3. Stopień V – krzyżowe pęknięcia ściany konstrukcyjnej widziane od zewnątrz budynku



Fot. 5.4. Stopień V – krzyżowe pęknięcia ściany konstrukcyjnej widziane od wewnątrz budynku



Fot. 5.5. Stopień V – krzyżowe pęknięcie filara międzyokiennego



Fot. 5.6. Stopień V – ścięcie dwóch kominów ceglanych, załamanie fragmentu dachu przy rynnie, uszkodzenia pokrycia dachowego



Fot. 5.7. Stopień IV – pęknięcie i przesunięcie muru komina ceglanego nad dachem



Fot. 5.8. Stopień III – zerwanie warstwy ocieplającej ściany szczytowej budynku gospodarczego



Fot. 5.9. Stopień III – duże rozluźnienia i uszkodzenia dachówek w rejonie okna dachowego



Fot. 5.10. Stopień III – ścięcie spoiny muru komina z przemieszczeniem jego górnej części i ubytki cegieł z drugiego komina



Fot. 5.11. Stopień III – odspojenie tynku muru zewnętrznego – Doubrava (Czechy)



Fot. 5.12. Stopień III – odspojenie płytek



Fot. 5.13. Stopień III – uszkodzenia tynku wokół ościeżnicy okna



Fot. 5.14. Stopień II – pęknięcia i odspojenia gładzi na styku płyt gipsowo-kartonowych



Fot. 5.15. Stopień II – zarysowanie tynku łuku ceglanego

6. PRZYKŁADY TYPÓW OBIEKTÓW BUDOWLANYCH UWZGLĘDNIONYCH W SKALI GIS-2017



Fot. 6.1. Budynek mieszkalny jedenastokondygnacyjny wybudowany w technologii wielkopłytywowej



Fot. 6.2. Budynek mieszkalny pięciokondygnacyjny wybudowany w technologii wielkopłytywowej



Fot. 6.3. Budynki mieszkalne pięciokondygnacyjne wybudowane w technologii tradycyjnej-ulepszonej



Fot. 6.4. Budynki mieszkalne trzykondygnacyjne wybudowane w technologii tradycyjnej



Fot. 6.5. Budynek mieszkalny dwukondygnacyjny wybudowany w technologii tradycyjnej



Fot. 6.6. Budynki mieszkalne jednorodzinne wybudowane w technologii tradycyjnej-ulepszonej



Fot. 6.7. Budynek mieszkalny jednorodzinny wybudowany w technologii tradycyjnej-ulepszonej



Fot. 6.8. Budynek mieszkalny jednorodzinny wybudowany w technologii tradycyjnej



Fot. 6.9. Budynek mieszkalny jednorodzinny wybudowany w technologii tradycyjnej



Fot. 6.10. Budynek mieszkalny jednorodzinny wybudowany w technologii tradycyjnej



Fot. 6.11. Budynek mieszkalny jednorodzinny wybudowany w technologii tradycyjnej



Fot. 6.12. Budynek mieszkalny wielorodzinny wybudowany w technologii tradycyjnej



Fot. 6.13. Budynek mieszkalny wybudowany w technologii tradycyjnej



Fot. 6.14. Budynek mieszkalny wybudowany w technologii tradycyjnej



Fot. 6.15. Budynek mieszkalny wielorodzinny wybudowany w technologii tradycyjnej



Fot. 6.16. Budynek mieszkalny wielorodzinny wybudowany w technologii tradycyjnej



Fot. 6.17. Budynek mieszkalny wielorodzinny wybudowany w technologii tradycyjnej



Fot. 6.18. Budynki mieszkalne jednorodzinne w układzie szeregowym wybudowane w technologii tradycyjnej-ulepszonej



Fot. 6.19. Budynek zabytkowy wielorodzinny wybudowany w technologii tradycyjnej



Fot. 6.20. Budynek mieszkalny drewniany wybudowany w technologii tradycyjnej



Fot. 6.21. Budynek mieszkalny wybudowany w technologii szkieletowej o konstrukcji żelbetowej



Fot. 6.22. Budynek muzealny wrażliwy na drgania i w złym stanie technicznym



Fot. 6.23. Budynek muzealny wrażliwy na drgania i w złym stanie technicznym



Fot. 6.24. Budynek mieszkalny wybudowany w technologii tradycyjnej poddany wpływom deformacji ciągłych i kotwiony

7. WERYFIKACJA STOPNI INTENSYWNOŚCI SKALI GSIS-2017 NA PODSTAWIE DANYCH EMPIRYCZNO-POMIAROWYCH

7.1. Wprowadzenie

Górnicza Skala Intensywności Sejsmicznej GSIS-2017 jest skalą empiryczno-pomiarową, która opisuje potencjalne skutki drgań, jakie mogą wystąpić w budynkach i odczucia ludzi doznane w wyniku wstrząsów pochodzenia górniczego, w korelacji z pomierzonymi, względnie obliczonymi, parametrami drgań powierzchni. Skala GSIS-2017 jest kontynuacją i kolejną wersją wcześniej opracowanych i zweryfikowanych skal, tj.

- skali GSI_{GZWKW} -2012 – opracowanej dla kopalń ówczesnej Kompanii Węglowej SA,
- skali MSIS-15 – opracowanej w ramach projektu międzynarodowego COMEX.

Opracowanie skali GSIS-2017 wymagało przeprowadzenia analizy bardzo silnych wstrząsów górniczych zaistniałych w GZW w latach 2014–2016. Skutkiem tych wstrząsów były liczne szkody w budynkach (od kilkudziesięciu do kilkuset zgłoszonych przypadków) i silna odczuwalność drgań przez ludzi. Przykładowo wstrząs w ZG Janina o energii sejsmicznej $E = 9E8$ J z dnia 30.09.2015 r. spowodował uszkodzenia w ponad 500 budynkach. W prezentowanej wersji skali uwzględniono wyniki rejestracji i obserwacji wstrząsów o energii sejsmicznej przekraczającej 10^8 J oraz o pikowych prędkościach drgań $PGV_{Hmax} > 0,05$ m/s i przyspieszeniu $PGA_{H10} > 1,0$ m/s². Do weryfikacji włączono również wyniki badań z projektu międzynarodowego COMEX, w którym jedno z zadań dotyczyło opracowania europejskiej wersji skali intensywności sejsmicznej od wstrząsów indukowanych eksploatacją górnictwem (MSIS-15). Realizacją tego zadania kierował Główny Instytut Górnictwa (Mutke i in., 2015). W skali MSIS-15 wykorzystano również doświadczenia empiryczno-pomiarowe z niemieckiego i czeskiego górnictwa węgla kamiennego.

7.2. Dane sejsmiczne wykorzystywane do weryfikacji skali GSIS-2017

Skala GSIS-2017 wyróżnia siedem stopni pomiarowej intensywności sejsmicznej (od 0 do VI) z przypisanymi im na podstawie obserwacji makrosejs-

micznych skutkami drgań w budynkach. W celu dokonania weryfikacji skali przeprowadzono analizę obszernego materiału pomiarowego i obserwacyjnego, zawierającego:

- dane charakteryzujące parametry drgań wybranych wstrząsów górniczych o energii od $1E6$ J do $4E9$ J,
- charakterystyki uszkodzeń budynków inwentaryzowanych po wstrząsach lub ich brak,
- rozkład wartości parametrów drgań najsilniejszych wstrząsów z lat 2014–2016: w ZG Janina (30.09.2015 r. – $E = 9E8$ J, 20.10.2015 r. – $E = 7E8$ J i 18.11.2015 r. – $E = 1E9$ J), KWK Marcel (21.06.2016 r. – $E = 1E8$ J), KWK Bobrek-Piekary (3.06.2016 r. – $E = 3E8$ J) i KWK Wujek (26.05.2014 r. – $E = 8E8$ J i 18.04.2015 r. – $E = 4E9$ J), po których obserwowano liczne uszkodzenia budynków oraz wstrząsu w zagłębiu Saarland w Niemczech (23.02.2008 r. – $M_L = 4,1$),
- wszystkie informacje wykorzystane wcześniej do weryfikacji skali GSI-2008 i GSI-2012,
- informacje wykorzystane do weryfikacji skali MSIS-2015 pochodzące z innych europejskich zagłębi węglowych (Mutke i in., 2015).

Dane dostarczone przez kopalnie zostały szczegółowo przeanalizowane z wyselekcjonowaniem przypadków spełniających dwa podstawowe warunki:

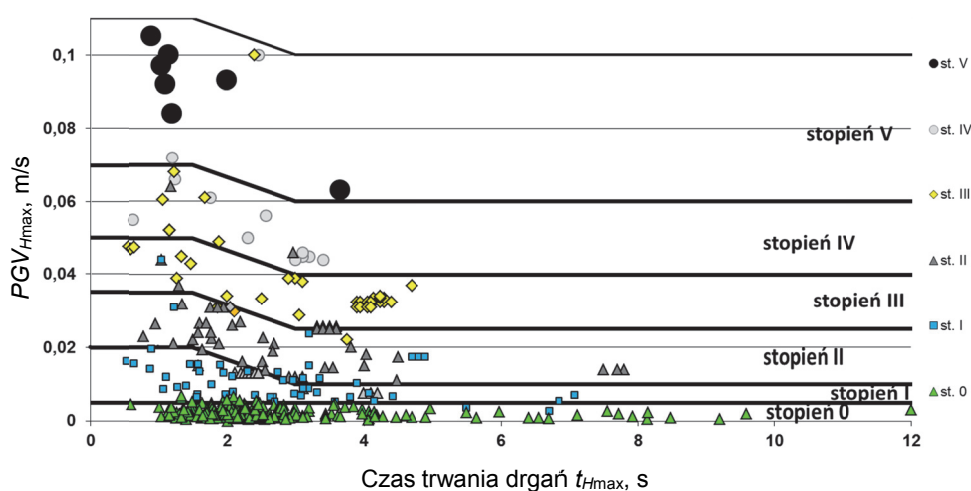
- usytuowanie budynku w stosunku do urządzenia rejestrującego drgania powierzchni spowodowane wstrząsem górniczym jest na tyle bliskie, że daje możliwość określenia parametrów drgań powierzchni w miejscu lokalizacji budynku bezpośrednio z dokonanych rejestracji – pomiarów lub w przypadku map są to wartości określone z zastosowaniem wzorów empirycznych, z uwzględnieniem parametrów rzeczywistych drgań zarejestrowanych dla analizowanego wstrząsu,
- jest dostępny opis skutków (stwierdzonych uszkodzeń) powstałych w budynku, które można jednoznacznie przypisać oddziaływaniu zidentyfikowanego wstrząsu górniczego.

Zbiór wstrząsów wykorzystanych do weryfikacji skali GSIS-2017 przedstawiono na rysunku 7.1. Zasada sporządzania wykresu polegała na nanieśnięciu każdej zarejestrowanej wartości parametrów drgań (PGV_{Hmax} i t_{Hv}) i przypisaniu jej najwyższego stopnia szkodliwości, odpowiadającego skutkom obserwowanym w budynkach zlokalizowanych w promieniu 250 m od stacji

pomiarowej. Kształt i kolor znacznika oznaczają zaobserwowane skutki makrosejsmiczne drgań, a ich lokalizacja na podkładzie skali wskazuje stopień pomiarowej intensywności sejsmicznej. W porównaniu do poprzedniej wersji skali $GSIS_{GZWKW-2012}$ obecny zestaw danych pomiarowych został uzupełniony o dane dotyczące szczególnych przypadków wystąpienia intensywności sejsmicznej powyżej dolnej granicy stopnia IV.

Do weryfikacji wykorzystano wstrząsy charakteryzujące się następującym zakresem parametrów drgań podłoża:

- pikowe wartości amplitud poziomych prędkości drgań podłoża PGV_{Hmax} od 0,0005 m/s do 0,12 m/s,
- pikowe wartości amplitud poziomych przyspieszeń drgań podłoża w paśmie do 10 Hz, PGA_{H10} : od 10 mm/s² do 2,35 m/s²,
- czas trwania głównej fazy drgań od 0,5 s do 16 s.



Rys. 7.1. Weryfikacja skali $GSIS-2017$ po wprowadzeniu danych pomiarowych z lat 2006–2016; symbole graficzne odpowiadają zaobserwowanym uszkodzeniom, a ich położenie wynika z parametrów przypisanych pomiarowej intensywności sejsmicznej wyznaczonej z amplitudy PGV_{Hmax} i czasu trwania drgań t_{Hv}

Objaśnienie znaków graficznych:

- ▲ – wstrząsy slabo zauważalne – nieodczuwalne przez ludzi bądź słabo odczuwalne i niewywołujące żadnych skutków w budynkach,
- – wstrząsy odczuwalne – silnie odczuwalne przez ludzi znajdujących się wewnątrz budynków na wyższych piętrach – tylko sporadycznie powodujące powiększanie się istniejących uszkodzeń w budynkach o dużym naturalnym zużyciu i w złym stanie technicznym,
- ▲ – po wstrząsach wystąpiła intensyfikacja istniejących uszkodzeń – silnie odczuwalne przez ludzi wewnątrz i na zewnątrz budynków – powiększanie się istniejących wcześniej uszkodzeń elementów niekonstrukcyjnych; brak uszkodzeń w budynkach w dobrym stanie technicznym,

- ◆ – po wstrząsach wystąpiły uszkodzenia elementów niekonstrukcyjnych i dekoracyjnych – silnie odczuwalne przez ludzi – pierwsze uszkodzenia elementów niekonstrukcyjnych i dekoracyjnych – powiększenie istniejących wcześniej uszkodzeń elementów niekonstrukcyjnych,
- – po wstrząsach stwierdzono pojedyncze, lekkie uszkodzenia konstrukcyjne – bardzo silnie odczuwalne przez ludzi i wzbudzające przestrasz – niewielkie uszkodzenia pojedynczych elementów konstrukcyjnych, bez wpływu na nośność konstrukcji; w budynkach w złym stanie technicznym liczne uszkodzenia konstrukcyjne niepowodujące zagrożenia stateczności całej konstrukcji nośnej budowli,
- – po wstrząsach stwierdzono uszkodzenia konstrukcyjne – bardzo silnie odczuwalne przez ludzi i wzbudzające przestrasz/panikę – uszkodzenia konstrukcyjne niepowodujące zagrożenia stateczności całej konstrukcji nośnej budowli, ale mogące osłabiać jego odporność dynamiczną.

7.3. Wnioski

Analiza kilkuset przypadków uszkodzeń budynków powstałych po najsilniejszych wstrząsach, przeprowadzona w ramach weryfikacji skali, wykazała wpływ zarówno rozwiązań konstrukcyjnych (budynki tradycyjne, tradycyjne-ulepszone, budynki o konstrukcji ścianowej betonowej i żelbetowej, budynki szkieletowe o konstrukcji żelbetowej lub stalowej), jak i stanu technicznego budynku na rodzaj uszkodzeń. Analiza rodzajów uszkodzeń pozwoliła na zmodyfikowanie dotychczasowych granic stopni intensywności związanych z uszkodzeniami elementów konstrukcyjnych i/lub zagrożeniem użytkowania budynków i bezpieczeństwem mieszkańców.

Granice poszczególnych stopni intensywności, wyznaczone w zweryfikowanej skali GSIS-2017, dają dużą gwarancję poprawnej korelacji stopnia intensywności sejsmicznej I_{GSIS} wyznaczanego z pomiarowych parametrów drgań podłoża z opisanymi dla niego skutkami po wstrząsach w formie stopni szkodliwości drgań S . Pewność (prawdopodobieństwo), że nie wystąpią skutki przypisane do wyższego stopnia intensywności drgań, wynosi:

- dla stopnia 0 – $P = 100\%$,
- dla stopnia I – $P = 92\%$,
- dla stopnia II – $P = 87\%$,
- dla stopnia III – $P = 95\%$,
- dla stopnia IV – $P = 100\%$,
- dla stopnia V – $P = 100\%$.

Z analizy skutków wstrząsów w obiektach budowlanych na powierzchni, prowadzonych od roku 2006 wynika, że dla 433 silnych wstrząsów o energii

E6–E9 J, uszkodzenia elementów konstrukcyjnych zaobserwowano jedynie w przypadku 19 wstrząsów, w tym jednego wstrząsu w zagłębiu Saarland w Niemczech.

Ocena intensywności drgań, wykonywana przy użyciu skali GSIS-2017 w wersji z przyspieszeniem drgań, jest mniej wiarygodna niż w wersji z prędkością drgań podłoża. Wyniki weryfikacji pozwalają ponadto na następujące stwierdzenia:

- Uszkodzenia obserwowano jedynie w strefie epicentralnej wstrząsów, gdzie największe drgania wywoływane były falami bezpośrednimi typu S. Grupa obiektów uszkodzonych nie przekraczała maksymalnie 15% całego zbioru w obszarze określonej intensywności sejsmicznej. Większość budynków nie ulegała żadnym uszkodzeniom w strefie drgań epicentralnych, nawet w stopniu IV lub V pomiarowej intensywności sejsmicznej.
- Największe uszkodzenia obserwowano w strefie epicentralnej wstrząsów w budynkach w złym stanie technicznym, poddanych wcześniej deformacjom ciągłym lub w obiektach budowlanych o dużym naturalnym zużyciu.
- W dużych odległościach poza strefą epicentralną drgania rejestrowano za pomocą sejsmometrów Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej GIG. Drgania od najsilniejszych wstrząsów były odczuwane na dużej części obszaru GZW. W dalekim polu falowym (powyżej 10 km od epicentrum) drgania niejednokrotnie charakteryzowały się niską częstotliwością 1–3 Hz i amplitudami prędkości 0,1–4 mm/s; pochodziły one od fal powierzchniowych. Drgania te nie spowodowały żadnych uszkodzeń obiektów budowlanych, nie zgłoszono też uszkodzeń znajdujących się w obszarze GZW licznych obiektów zabytkowych wrażliwych na drgania.
- Zaobserwowano, że budynki sprawdzone i przygotowane na oddziaływanie zagrożeń związanych z wstrząsami górniczymi, lepiej reagują na drgania (np. kominy po przeglądach i naprawach, elementy architektoniczne), np. w przypadku wstrząsu w ZG Bobrek-Piekary. Ten sam epizod sejsmiczny wskazuje również, że budynki o konstrukcji ścianowej betonowej i żelbetowej dobrze przeniosły drgania na poziomie $PGV_{Hmax} = 0,045$ m/s i $PGA_{H10} = 1,0$ m/s², bez skutków w postaci zgłoszonych uszkodzeń (ekspertyza GIG dla Węgłokoks Kraj z 2016 r.).

NORMY I INSTRUKCJE

1. PN EN 1998-1:2005: Eurocode 8: Design provisions for earthquake resistance of structures – Part 1: General rules, seismic actions and general requirements for structures.
2. Instrukcja nr 12 (2000): Zasady oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
3. Instrukcja nr 364 (2000): Wymagania techniczne dla obiektów budowlanych wznoszonych na terenach górniczych. Warszawa, Instytut Techniki Budowlanej.
4. Instrukcja nr 325 (1993): Projektowanie budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej podlegających wpływom wstrząsów górniczych. Warszawa, Instytut Techniki Budowlanej.
5. Instrukcje, Wytyczne, Poradniki nr 391 (2003): Projektowanie budynków podlegających wpływom wstrząsów górniczych. Warszawa, Instytut Techniki Budowlanej.
6. Instrukcja nr 20 (2007): Zasady stosowania metody kompleksowej i metod szczegółowych oceny stanu zagrożenia łąpaniami w kopalniach węgla kamiennego. Zał. 2: Metoda sejsmologii górniczej oceny stanu zagrożenia łąpaniami. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.

LITERATURA

1. Alber M., Fritschen R. (2011): Rock mechanical analysis of a $M_1 = 4.0$ seismic event induced by mining in the Saar District, Germany. *Geophysical Journal International*, Vol. 186, Issue 1, s. 359-372.
2. Ambraseys N.N., Douglas J., Sarma S.K., Smit P.M. (2005): Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: Horizontal peak ground acceleration and spectra acceleration. *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 3, Issue 1, s. 1-53.
3. Arias A. (1970): A measure of earthquake intensity [w] R.I. Hansen, Ed., *Seismic Design of Nuclear Power Plants* (s. 438-483). Cambridge, MA: MIT Press.
4. Biliński A. (1992): Ocena zagrożenia łąpaniem wyrobiska eksploatacyjnego. *Prace GIG. Seria dodatkowa*. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
5. 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, s. 3-10.

6. 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, s. 32-33.
7. Campbell K.W. (1981): Near source attenuation of peak horizontal acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 71, No. 6, s. 2039-2070.
8. Chodacki J. (2016): New Ground Motion Prediction Equation for Peak Ground Velocity and Duration of Ground Motion for Mining Tremors in Upper Silesia. *Acta Geophysica*, Vol. 64, No. 6, s. 2449-2470.
9. COMEX (2012–2015): Complex Mining Exploitation: optimizing mine design and reducing the impact on human environment (2012–2015), COMEX Project (RFCS-PR-11012), Deliverable 1.4.: New European Mining Seismic Intensity Scale – MSIS-15 (G. Mutke, J. Dubiński, L. Muszynski, K. Stec, A. Lurka, J. Chodacki, S. Kremers, S. Peters, R. Fritschen, A. Barański, T. Kowal). www.grss.gig.eu/en/.
10. 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 SA na obiekty budowlane i na ludzi [w] G. Mutke, T. Tataro red., *Górniczne skale intensywności drgań GSI i doświadczenia z ich stosowania*. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko*, nr 2/2, s. 73-90.
11. Epstein B., Lomnitz C. (1966): A model for the occurrence of large earthquakes. *Nature*, No. 211, s. 954-956.
12. Gil-Kleczewska B., Kwiatek J., Muszyński L. (1985): Kryteria i klasyfikacja dynamicznej odporności budynków poddanych wstrząsom pochodzenia górniczego. *Ochrona Terenów Górniczych*, nr 71/1, s. 18-21.
13. Holecko J., Mutke G. (2012): The mining seismicity influence on surface in Ostrava-Karvina coalfield – first results of monitoring with new seismic network [w] P. Konicek, K. Soucek (Eds.), 4th Traditional International Colloquium on Geomechanics and Geophysics – GEKO 2012 (33-34). Prague, The Czech Academy of Sciences.
14. Joyner W.B., Boore D.M. (1981): Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 71, s. 2011-2038.
15. Kottegoda N.T., Rosso R. (2008): *Applied Statistics for Civil and Environmental Engineers*. Wiley Blackwell Publishing.
16. Kwiatek J. (2007): *Obiekty budowlane na terenach górniczych*. Katowice, Główny Instytut Górnictwa.
17. Lasocki S. (2013): Site specific prediction equations for peak acceleration of ground motion due to earthquakes induced by underground mining in Legnica-Głogów Copper District in Poland. *Acta Geophysica*, Vol. 61, No. 5, s. 1130-1155.

18. Mika W. (2006): Zmodyfikowana metoda punktowa oceny odporności budynków w świetle dotychczasowych badań i doświadczeń. Prace Naukowe GIG: Górnictwo i Środowisko, Wydanie specjalne.
19. Muszyński L. (1993): Klasyfikacja dynamicznej odporności budynków. Przegląd Górniczy, nr 1, s. 11-13.
20. Mutke G. (1991): Metoda prognozowania parametrów drgań podłoża generowanych wstrząsami górnictwymi w obszarze GZW. Rozprawa doktorska. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (niepublikowana).
21. Mutke G., Dworak J. (1992): Czynniki warunkujące efekt sejsmiczny wstrząsów górnictwowych na powierzchniowe obiekty budowlane w obszarze GZW. Publications of the Institute Geophysics Polish Academy of Science M-16 (245), s. 115-129.
22. Mutke G., Chodacki J., Muszyński L., Kremers S., Fritschen R. (2015): Mining Seismic Instrumental Intensity Scale MSIS-15 – verification in coal basins [w] AIMS 2015 Fifth International Symposium: Mineral Resources and Mine Development (Vol. 14, s. 551-560). RWTH Aachen University.
23. Mutke G., Barański A., Chodacki J., Dubiński J., Kowal T., Lurka A., Muszyński L., Stec K. (2017a): Górnictwa Skala Intensywności Sejsmicznej, GSIS-2017 dla oceny skutków drgań wywołanych w środowisku powierzchniowym zjawiskami sejsmicznymi indukowanymi eksploatacją węgla kamiennego. Praca statutowa GIG nr 11207156–120 realizowana w latach 2016-2017 (niepublikowana).
24. Mutke G., Marczak H., Mutke F., Barański A. (2017b): Metoda wyznaczania mapy rozkładu intensywności sejsmicznej IGSI po wystąpieniu silnego wstrząsu pochodzenia górnictwowego. Przegląd Górniczy, nr 2, s. 51-58.
25. Olszewska D. (2008): Ocena efektów lokalnych i struktury częstotliwościowej sygnałów sejsmometrycznych dla poprawy dokładności prognozy rozprzestrzeniania drgań wzbudzanych wstrząsami górnictwowymi w LGOM. Rozprawa doktorska. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska.
26. Pohl F., Sroka A. (2006): Neuer Klassifizierungsansatz für Gebäude Gegenüber bergbaubedingten Erdschütterungen – Entwicklung und Erfahrungsbericht [w] 7. Geokinematischer Tag (s. 222-246). Freiberg, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie.
27. Savarenskij E.F. (1959): Ocena wpływu warstwy nadkładu na amplitudy drgań na powierzchni. Izvestia Akad. Nauk SSSR, S. Geofizyka 10, s. 1441-1447 (w języku rosyjskim).
28. Sroka A. 2006: Klasyfikacja odporności budynków na wstrząsy górnictwowe z uwzględnieniem historii wstrząsów [w] XXIX Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej i Geoinżynierii: Geotechnika i Budownictwo Specjalne (s. 697-709). Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza.

29. Wald D.J., Quitoriano V., Heaton T.H., Kanamori H. (1999): Relationship between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California. *Earthquake Spectra*, Vol. 15, No. 3, s. 557-564.
30. US Geological Survey: Shake map scientific background <http://earthquake.usgs.gov/research/shakemap/>; dostęp: 14.08.2017 r.
31. Tataro T. (2012): Odporność dynamiczna obiektów budowlanych w warunkach wstrząsów górniczych. Kraków, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.
32. Zembaty Z., Kokot S., Bozzoni F., Scandella L., Lai C.G., Kuś J., Bobra P. (2015): A system to mitigate deep mine tremor effects in the design of civil infrastructure. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 74, s. 81-90.

EKSPERTYZY

1. Drzewiecki J., Konopko W., Kabiesz J., Mutke G., Stec K. (2016): Ekspertyza GIG dla PGG. Sprawdzenie prawidłowości stosowanych i przewidzianych do stosowania rozwiązań technicznych przy prowadzeniu robót górniczych w pokładzie 712/1-2 ; 712/1-2 i 713/1. Nr pracy 581-2757-6-141 (niepublikowana).
2. Mutke G., Stec K., Lurka A., Chodacki J., Siata R., Holeczek G. (2016): Ekspertyza GIG dla Węglokoks Kraj. Wyznaczenie zasięgu szkodliwego oddziaływania wysokoenergetycznego wstrząsu o energii $3,0E+08$ J zaistniałego w dniu 3.06.2016 r. na infrastrukturę i obiekty budowlane usytuowane na powierzchni terenu w aspekcie odpowiedzialności WĘGLOKOKS KRAJ Sp. z o.o. KWK „Bobrek-Piekary” za szkody spowodowane tym wstrząsem oraz określenie mechanizmu jego wystąpienia (niepublikowana).
3. Mutke G., Muszyński L., Tataro T., Stec K., Lurka A., Chodacki J., Siata R., Holeczek G. (2012): Ekspertyza GIG dla Kompanii Węglowej SA. Weryfikacja Górniczej Skali Intensywności Drgań GSI-GZWKW, stosowanej w kopalniach Kompanii Węglowej SA od sierpnia 2008 roku, w aspekcie oceny skutków oddziaływania wstrząsów górniczych na obiekty budowlane i na ludzi. Dokumentacja wykonana na podstawie umowy nr 58127682-120 zawartej na zlecenie Kompanii Węglowej SA przez Główny Instytut Górnictwa (niepublikowana).
4. Kowalski A., Muszyński L., Mika W. i inni (2016): Ekspertyza GIG dla Tauron Wydobyte SA dotycząca kontynuacji eksploatacji górniczej w pokładzie 207 w aspekcie ochrony powierzchni, w świetle wstrząsów górniczych (niepublikowana).
5. Mutke G., Stec K., Lurka A., Holeczek G. (2016): Ekspertyza dla Politechniki Opolskiej Analiza wstrząsów górniczych z 26.05.2014 r. i 18.04.2015 r. w kopalni „Wujek” Ruch „Śląsk” oraz prognoza sejsmiczności wynikająca z eksploatacji pokładu 409 z uwzględnieniem wstrząsów regionalnych (niepublikowana).

WYTYCZNE, ZASADY I ROZPORZĄDZENIA

1. Rozporządzenie (2017): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 grudnia 2017 roku w sprawie planów ruchu zakładów górniczych (Dz. U. poz. 2293).
2. Wytyczne (2013): Wytyczne w zakresie minimalnych wymogów treści planów ruchu podziemnych zakładów górniczych w aspekcie ochrony powierzchni. Katowice, Wyższy Urząd Górniczy.
3. Zasady (2013): Zasady stosowania zweryfikowanej górniczej skali intensywności drgań GSI_{GZWKW}-2012 do prognozy i oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją złóż węgla kamiennego w zakładach górniczych Kompanii Węglowej SA na obiekty budowlane i na ludzi.

