



Elżbieta PILECKA\*, Renata SZERMER-ZAUCHA\*\*

## Metody oceny oddziaływania wstrząsów pochodzenia górniczego na budynki

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono historyczny rozwój metod oceny oddziaływania wstrząsów pochodzenia górniczego na budynki wraz z ich ogólnym opisem. Opisano skale stosowane do oceny skutków oddziaływania trzęsień ziemi oraz ich dostosowanie do oceny oddziaływania wstrząsów pochodzenia górniczego na budynki. Skale stosowane do oceny oddziaływania skutków trzęsienia ziemi zwane są skalami makrosejsmicznymi. Ich historia sięga XVI wieku. W Polsce, od wczesnych lat siedemdziesiątych XX wieku do opisu skutków wstrząsów pochodzenia górniczego stosowano makrosejsmiczną skalę MSK-64, pomimo że była opracowana na podstawie obserwacji skutków spowodowanych trzęsieniami Ziemi. W okresie późniejszym używano do tych celów skalę SWD przystosowaną do oceny oddziaływania drgań parasejsmicznych na budynki. W związku z potrzebą bardziej dokładnego opisu drgań indukowanych działalnością górnictwem powstała Górnicza Skala Intensywności (GSI) dostosowana do warunków konkretnych zagłębi górnictw. Skala GSI jest typową skalą empiryczną, opartą na korelacji obserwowanych skutków w budynkach drgań pochodzenia górniczego z parametrami drgań podłoża. W artykule szerzej omówiono skalę dostosowaną do warunków kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego GSI<sub>GZWKW-2012-V</sub>. Skala ta została również opracowana w dostosowaniu do warunków kopalń LGOM. Aktualnie, trwają prace nad bardziej uniwersalną skalą Mining Seismic Instrumental Intensity Scale (MSIIS 15) wykorzystującą zasady skali GSI.

W artykule omówiono także inne Europejskie Skale Wpływów. W wielu krajach europejskich problem wpływu wstrząsów na obiekty budowlane regulowany jest na podstawie odpowiednich norm.

Słowa kluczowe: wstrząsy pochodzenia górniczego skale wpływów, budynki

## Methods of assessing the impact of tremors of the mining origin on buildings

**Abstract:** The article presents the historical development of methods of assessment of the impact of tremors of the mining origin on buildings and their general description. The scales used to assess the effects of earthquakes

\* Dr hab. inż., prof. PK, Politechnika Krakowska, Kraków; e-mail: ep1813@gmail.com

\*\* Mgr inż., GSZ Pracownia Projektowa Budownictwa Ogólnego i Przemysłowego Sp. z o.o.; e-mail: renata.szerm@wp.pl

and their adapting to the assessment of mining induced tremors are described. The scales used to assess the impact of the earthquake effects are called macro-seismic scales. Their history dates back to the sixteenth century. Poland has used the MSK-64 macro-seismic scale, since the early seventies of the twentieth century to describe the effects of the tremors of the mining origin, although it was developed on observations of the effects caused by earthquakes.

Later, the SWD scale, adapted to assess the impact of paraseismic vibrations on buildings, was used for these purposes. Due to the need of a more precise description of the vibrations induced by mining activities, the Mining Intensity Scale (GSI) was created, adapted to the specific mining basins. GSI is a typical empirical scale, based on the correlation of the observed effects in buildings of vibrations of a mining origin with parameters of ground vibrations. The article more broadly discusses the GSIGZWKW-2012-V scale adapted to the conditions of the mines of the Upper Silesian Coal Basin. This scale has also been developed to adapt to the conditions of LGOM mines.

Currently, the International Mining Seismic Instrumental Intensity Scale last (MSIIS 15) is preparing, which is based on the scale GSI. Other European scales are also presented in the paper. The problem of the influence of tremors on civil structures is being resolved based on specific norms in many European countries.

Keywords: mining tremors, the assessment of dynamic impacts, buildings

## Wprowadzenie

Problem oceny oddziaływania wstrząsów pochodzenia górniczego od wielu lat stanowi przedmiot wielu dyskusji naukowych. Kopalniane służby zobowiązane są do weryfikacji zgłoszonych szkód górniczych, sprawy mogą potem być rozpatrywane sądownie, jeśli mieszkaniac danego obiektu nie będzie usatysfakcjonowany oceną służb kopalnianych. Zdarza się nierzadko, że ocena szkód górniczych zastosowana przez biegłego sądowego jest przeprowadzona za pomocą innej metody niż przez służby kopalniane. Niniejszy artykuł ma na celu przybliżenie aktualnych metod oceny oddziaływania wstrząsów pochodzenia górniczego na budynki.

### 1. Historyczny rozwój metod oceny oddziaływania wstrząsów na budynki

Historia skal makrosejsmicznych sięga XVI wieku (Zembaty i Chmielewski 2002), a na przełomie XIX i XX wieku zostały opracowane opisowe skale makrosejsmiczne. Do oceny skutków oddziaływania dynamicznego wstrząsów górniczych na budynki stosowano takie same skale jak do trzęsień Ziemi. Twórcami skal byli między innymi Rossi (1883), Forel (1881), Mercalli (1902), Cancani (1904), Sieberg (1912; 1923).

Pojęcie magnitudy zostało wprowadzone w pomiarach wielkości trzęsienia ziemi, w 1935 roku przez Charlesa Richtera (California Institute of Technology) wraz z opracowaniem przez niego „skali magnitud”, nazwanej później skalą Richtera. Jest to skala logarytmiczna określająca wielkość trzęsienia ziemi na podstawie amplitudy drgań wstrząsów sejsmicznych.

Magnitudą określa się logarytm dziesiątej maksymalnej wartości amplitudy  $A$  przemieszczenia powierzchni ziemi wyrażonej w mikrometrach, pomierzonej za pomocą sejsmografu standardowego (Wooda-Andersona) w odległości 100 km od epicentrum trzęsienia Ziemi (Biernatowski in. 1987). Skala ta jest skalą otwartą, to znaczy nie ma zdefiniowanej górnej wartości. Magnituda charakteryzuje moc trzęsienia ziemi, jako całości i nie jest zależna od punktu obserwacji, a także umożliwia łatwe porównywanie wstrząsów sejsmicznych.

smicznych w różnych miejscach kuli ziemskiej. Największe tektoniczne trzęsienie ziemi w historii ludzkości, które nawiedziło Chile w 1960 roku miało magnitudę 9,5.

Pomiędzy magnitudą a energią wyzwoloną w hipocentrum istnieje korelacja. Richter w pracy *Elementary seismology* (Richter 1958) podał dla odległości zazwyczaj stosowanych przy rejestracji następującą zależność:

$$\log E = 1,5M - 1,6 \quad (1)$$

gdzie:

$E$  – energia [MJ].

Obecnie magnituda obliczana jest na podstawie wartości momentu sejsmicznego, lecz w przedziale mierzonym przez skalę Richtera jest z nią porównywalna. Skala Richtera i skale opisowe opisują siłę trzęsienia ziemi w różnym ujęciu. Skala Richtera daje przybliżoną ocenę rzeczywistego wpływu trzęsienia ziemi na szkody materialne, bowiem siła trzęsienia ziemi jest różna w zależności od budowy podłoża na obszarze objętym trzęsieniem ziemi, konstrukcji budynków, a także intensywności zabudowy. Skala Richtera pozwala na określenie wielkości trzęsienia ziemi wkrótce po jego wystąpieniu, na podstawie danych uzyskanych z różnych stacji sejsmograficznych. W skalach intensywności niezbędny jest czas dla zebrania danych dotyczących skutków zaistniałego zjawiska sejsmicznego w tym szkód w zabudowie powierzchni. Pomimo że istnieją współcześnie mierzalne parametry trzęsień ziemi, stosowanie tych skal w dalszym ciągu jest celowe ze względu na to, że:

- wstrząsy występują na obszarach, na których brak jest sejsmografów,
- istnieje potrzeba analizowania historycznych zapisów między innymi do prognozowania ryzyka sejsmicznego, a te są często tylko w formie opisowej,
- zjawisko wstrząsu sejsmicznego jest zjawiskiem, którego skutki na powierzchni ziemi i skutki w odniesieniu do obiektu budowlanego nie są do końca mierzalne, ponieważ jego charakter może być bardzo różny, zaczynając od różnic wartości szczytowych przyspieszeń przez różny czas trwania wstrząsów, aż po różny charakter rozkładu widmowego drgań ruchu gruntu, zależny od historii propagacji fal sejsmicznych, w tym od lokalnego podłoża gruntowego w miejscu odbioru wstrząsów (Zembaty i Chmielewski 2002). Przypisane im parametry drgań są orientacyjne.

Istnieje około 50 opracowanych skal makrosejsmicznych (Glazer i Malinowski 1991). Do najważniejszych należą:

- sześciostopniowa skala Mercallego,
- dwunastostopniowa skala MM (zmodyfikowana skala Mercallego),
- dwunastostopniowa skala MCS (Mercallego-Cancaniego-Sieberga),
- dwunastostopniowa skala MSK (Miedwiediewa-Sponheueara-Karnika),
- siedmiostopniowa skala japońska JMA.

Skala MM (zmodyfikowana skala Mercallego, *Modify Mercalli*) stosowana jest w Stanach Zjednoczonych, włoska skala MCS (Mercallego-Cancaniego-Sieberga) jest dostosowana do specyficznych warunków budownictwa w rejonie śródziemnomorskim, skala JMA (*Japanese Meteorological Agency*) stosowana jest w Japonii, a w Europie i niektórych innych krajach takich jak Izrael, były kraje Związku Radzieckiego skala MSK-64 z późniejszymi zmianami.

Obecnie powszechnie stosuje się skalę intensywności Mercalliego, a w Europie skalę EMS-98 wywodzącą się ze skali MSK.

Od wczesnych lat siedemdziesiątych XX wieku do początku XXI wieku do opisu skutków wstrząsów pochodzenia górniczego stosowano w Polsce makrosejsmiczną skalę MSK-64 (Medvedev i in. 1964), pomimo że była opracowana na podstawie obserwacji skutków na powierzchni terenu spowodowanych trzęsieniami Ziemi. Znana jest ona również pod nazwą Skala Miedwiediew-Sponheuer-Karnik lub MSK. Po raz pierwszy propozycja skali MSK została przedstawiona na spotkaniu ESC (*European Seismological Commission*) w 1962 roku w Jenie, a następnie na 13 Walnym Zgromadzeniu *International Union of Geodesy and Geophysics* (IUGS) w Berkeley w 1963 roku. Opinie naukowców dotyczące projektu skali zostały uwzględnione w kolejnej wersji (UNESCO 1965). Skala MSK-64 oparta została na doświadczeniach ze stosowania skali MCS (Mercallego-Cancaniego-Sieberga), skali MM56 (zmodyfikowana skala Mercallego) i skali GEOFIAN (Miedwiediewa) z 1953 r.

Skala MSK-64 dotyczyła typowych konstrukcji murowych, z których wiele było starych i bardzo starych. W roku 1974 skala MSK została oficjalnie wprowadzona do oceny występujących zagrożeń i z niewielkimi zmianami w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych (MSK-76,78,80), stała się powszechnie używaną skalą w Europie i ZSRR, a także w Indiach i w Izraelu. Aktualizacje skali wynikały między innymi z powstających nowych rodzajów budownictwa, w tym technologii, a także powstawania budynków specjalnie wzmocnionych i przystosowanych do przeniesienia skutków wstrząsów sejsmicznych. W wyniku tych aktualizacji skala MSK-64 została zmieniona w 1981 roku (MSK-81), a następnie została zastąpiona przez skalę EMS 92 (Grünthal red. 1993) i EMS 98 (Grünthal red. 1998).

MSK-64 jest nadal używana w Indiach, Izraelu oraz Rosji. Skala MSK ma dwanaście stopni intensywności wyrażonych cyframi rzymskimi. W skali MSK-64 podano tabelaryczne porównanie różnych skal (tab. 1).

TABELA 1. Tabela porównawcza skal makrosejsmicznych (MSK-64)

TABLE 1. A comparative table of the macro seismic scales (MSK-64)

Seismic Scale MSK 1964	Scale of the Inst. of Physics of the Earth, Sov. Akad. of Sciences 1952	American Modified Mercalli Scale (MM) 1931	Japanese Scale 1950	Rossi-Forel Scale 1873	European Mercalli- Cancani-Sieberg Scale 1917
I	1	I	0	I	I
II	2	II	1	II	II
III	3	III	2	III	III
IV	4	IV	2,3	IV	IV
V	5	V	3	V-VI	V
VI	6	VI	4	VII	VI
VII	7	VII	4,5	VIII	VII
VIII	8	VIII	5	IX	VIII
IX	9	IX	6	X	IX
X	10	X	6	X	X
XI	11	XI	7	X	XI
XII	12	XII	7	X	XII

W 1992 r. przyjęto nową wersję skali MSK jako Europejską Skalę Makrosejsmiczną (European Macroseismic Scale 1992, EMS-92) i zalecono ją do trzyletniego testowania. Europejska Skala Makrosejsmiczna została ostatecznie przyjęta w 1998 r. jako EMS-98 (European Macroseismic Scale 1998) (Maciąg 2000).

Skala MSK i skale podobne opracowane były dla wpływu trzęsień ziemi na budynki. Wskutek występowania w przyrodzie innych wpływów dynamicznych poza trzęsieniami ziemi, w tym będących wynikiem działalności gospodarczej człowieka, opracowano nowe skale, w których parametrami były wartości przyspieszeń lub prędkości. Należą do nich 12-stopniowa skala Zellera, 6-stopniowa skala wibrarów, amerykańska skala Crandella oraz Buureau of Mines dla dynamicznych szkód górniczych, a także skala Rathbone-Reutlingera.

## **2. Polski dorobek w metodach oceny oddziaływania wstrząsów górniczych na budynki**

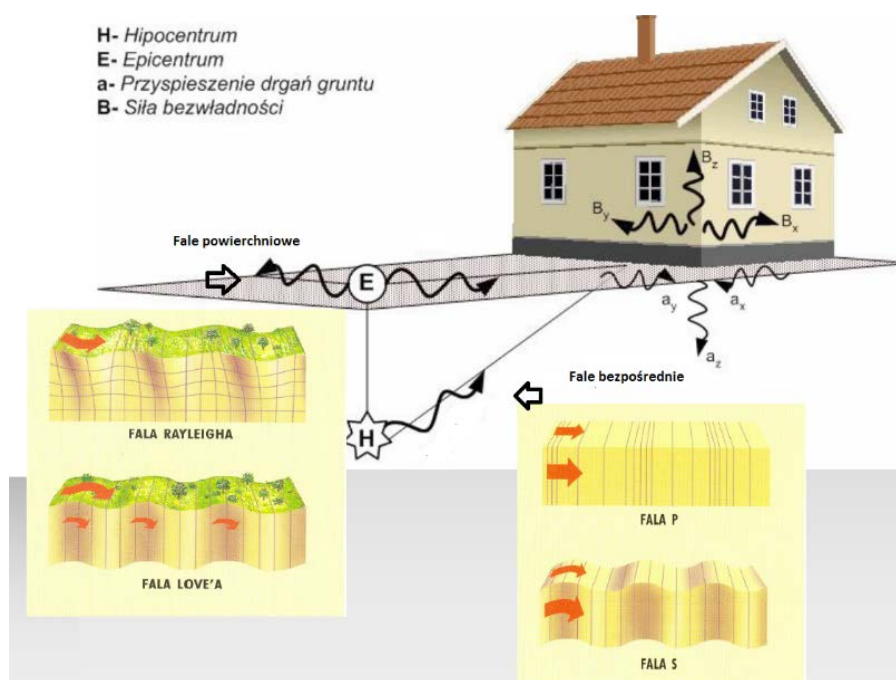
W Polsce w Głównym Instytucie Górnictwa opracowano klasyfikację dynamicznej odporności budynków (Muszyński 1993), a w Instytucie Techniki Budowlanej skalę oceny odporności istniejących budynków na wpływy wstrząsów górniczych (Lipski 1988). W obu klasyfikacjach występujące skutki w budynkach uzależniono od prognozowanego przyspieszenia gruntu, stanu technicznego i cech konstrukcyjnych budynków (rys 1). Klasyfikacja dynamicznej odporności budynków jest klasyfikacją empiryczną i powstała w wyniku wieloletnich obserwacji i badań następstw wstrząsów górniczych występujących w budynkach. Badania były przeprowadzane w latach osiemdziesiątych XX wieku.

Na Politechnice Krakowskiej zostały opracowane Skale Wpływów Dynamicznych, które uwzględniały charakterystyki samego obiektu, pomijane w niektórych wcześniej opracowanych skalach. Profesor Roman Ciesielski w pracy *Ujęcie obliczeniowe oraz ocena wpływu drgań i wstrząsów pochodzących ze źródeł zewnętrznych na niektóre typy budowli* opublikowanej w Zeszytach Naukowym nr 1 Politechniki Krakowskiej z 1961 podał po raz pierwszy propozycję skal SWD.

Od 1985 roku skale te i zasady ich stosowania są zawarte w Polskiej Normie PN-85/B-02170 *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki*. Do oceny wpływu drgań na ludzi została opracowana Polska Norma: PN-88/B-02171 *Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach*. Obie wymienione normy przywołane są jako obowiązujące w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. z późniejszymi zmianami w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Skala makrosejsmiczna MSK opracowana dla opisu skutków trzęsień ziemi ani inne skale opracowane dla opisu skutków wstrząsów parasejsmicznych przytoczone powyżej nie są w pełni przydatne do opisu skutków wstrząsów górniczych, charakteryzujących się odmienną specyfiką. Ze względu na różny charakter trzęsień ziemi i wstrząsów górniczych polegających w głównej mierze na czasie trwania zjawiska opracowano w Polsce skale lepiej przystosowane do charakteru wstrząsów pochodzenia górniczego. W roku 2002 podjęto badania w ramach projektu celowego o nazwie *System oceny oddziaływań sejsmicznych na powierzchnię wywołanych przez eksploatację złóż rud miedzi w zakładach górniczych LGOM*. Prace nad projektem były prowadzone przez zespół naukowców pod kierunkiem

prof. Józefa Dubińskiego z Głównego Instytutu Górnictwa. Skalę GSI-2004 oparto na korelacji obserwowanych skutków drgań z optymalnie dobranymi parametrami drgań podłoża. Po dwóch latach badań i analiz została opracowana empiryczna skala oddziaływań sejsmicznych na powierzchnię o nazwie Górnicza Skala Intensywności (GSI-2004). Opracowanie założeń do nowej skali poprzedzone było wieloma wnikliwymi badaniami, obliczeniami i obserwacjami. Efekty analiz przedstawione w pracach doprowadziły do wniosku, że skutki wywołane przez wstrząsy na powierzchni pozostają we współzależności z amplitudami prędkości drgań, czasem trwania wstrząsu oraz spektrami odpowiedzi.



Rys. 1. Schemat oddziaływania fali sejsmicznej od wstrząsu pochodzenia górniczego na budynek (Stec 2014, uzup. Szermer-Zaucha)

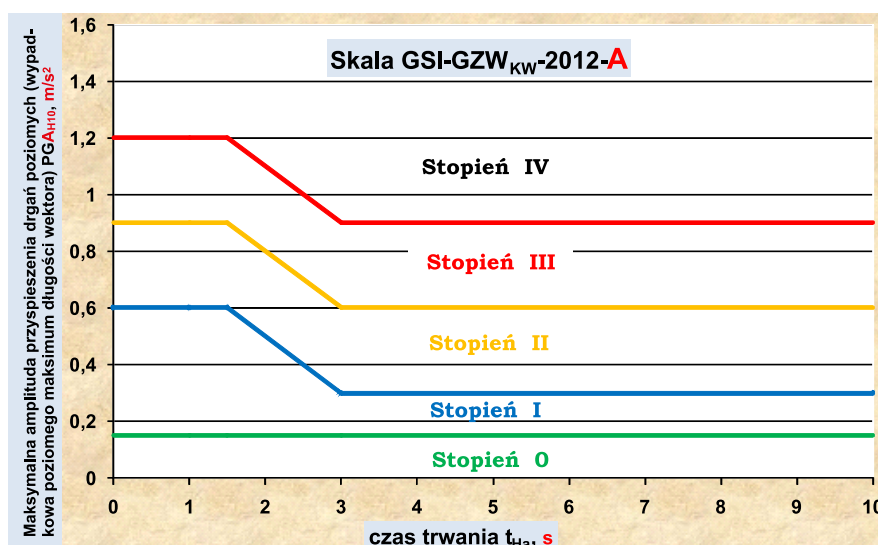
Fig. 1. Diagram impact seismic wave of shock origin mining for building

Opracowana Górnicza Skala Intensywności GSI-2004 (Dubiński i Mutke 2005, 2006) jest typową skalą empiryczną, opartą na korelacji obserwowanych skutków drgań z optymalnie dobranymi parametrami drgań podłoża. Skala GSI-2004 została zweryfikowana i zaktualizowana w 2011 roku (Dubiński i in. 2011). Zalecono również dalszą weryfikację skali co minimum trzy lata.

Główny Instytut Górnictwa w Katowicach w latach 2006–2007 we współpracy z Kompanią Węglową SA opracował Górniczną Skalę Intensywności drgań GSI-GZW<sub>KW</sub> do oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją złóż węgla kamiennego, w zakładach górniczych Kompanii Węglowej SA, na obiekty budowlane i na ludzi. Skala GSI-GZW<sub>KW</sub> jest pierwszą na świecie tego typu opracowaną dla górnictwa węgla kamiennego (Uszko i Barański 2010).

Podobnie jak skala GSI-2004 dla LGOM skala  $GSI-GZW_{KW}$  (Dubiński i Mutke 2007) jest skalą empiryczną. Wersja podstawowa oparta jest na amplitudzie prędkości drgań poziomych gruntu oraz czasie ich trwania oraz wersja pomocnicza oparta na amplitudzie przyspieszenia drgań poziomych gruntu w paśmie do 10 Hz oraz czasie ich trwania. Skala ta została zweryfikowana w 2012 roku.

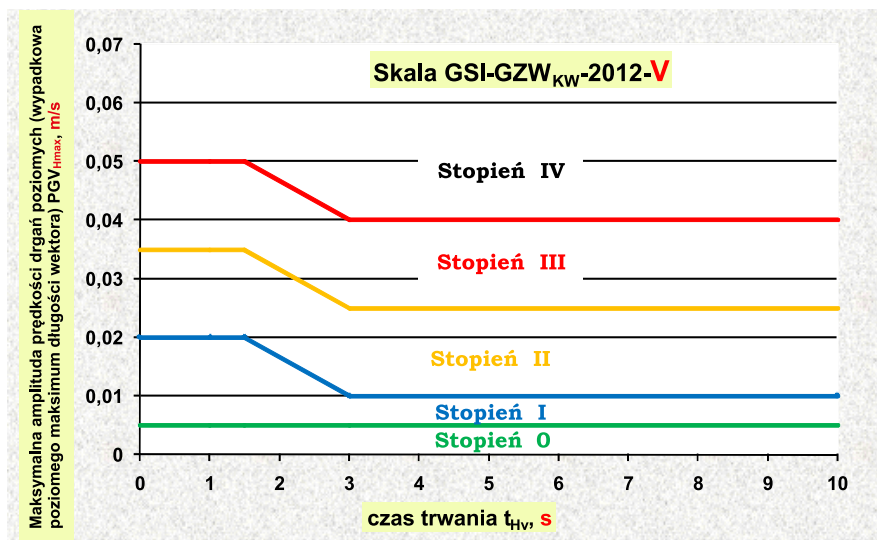
Zasady prowadzenia powierzchniowych pomiarów sejsmometrycznych, interpretacji wyników, prognozowania drgań sejsmicznych wywołanych wstrząsami górotworu w zakładach górniczych Kompanii Węglowej SA oraz oceny skutków oddziaływania wstrząsów na obiekty budowlane i ludzi na podstawie zweryfikowanej górniczej skali intensywności drgań  $GSI_{GZW_{KW}-2012}$  (Dubiński i in. 2013), opracowane zostały w oparciu o wyniki zrealizowanej przez Główny Instytut Górnictwa w Katowicach (czerwiec – grudzień 2012 r.), we współpracy z Kompanią Węglową S.A. w Katowicach, w pracy naukowo-badawczej pt.: *Weryfikacja górniczej skali intensywności drgań  $GSI-GZW_{KW}$  stosowanej w kopalniach Kompanii Węglowej S.A. od sierpnia 2008 roku, w aspekcie oceny skutków oddziaływania wstrząsów górniczych na obiekty budowlane i na ludzi*. Na rysunku 2 i 3 przedstawiono stopnie intensywności według najnowszej skali  $GSI_{KW}-2012$ . Aktualnie zaczyna ona być stosowana na niektórych kopalniach.



Rys. 2. Stopnie intensywności według skali  $GSI_{GZW_{KW}-2012-A}$  (Dubiński i in. 2013)

Fig. 2. Degrees of intensity scale  $GSI_{GZW_{KW}-2012-A}$  (Dubiński et al. 2013)

Weryfikacja górniczej skali intensywności drgań  $GSI-GZW_{KW}$  jest wynikiem analiz wstrząsów górniczych rejestrowanych w obszarach górniczych kopalń KW SA, w latach 2008–2012.



Rys. 3. Stopnie intensywności według skali GSI<sub>GZWKW</sub>-2012-V (Dubiniński i in. 2013)

Fig. 3. Degrees of intensity scale GSI<sub>GZWKW</sub>-2012-V (Dubiniński et al. 2013)

### 3. Europejskie skale wpływów dynamicznych

W wielu krajach europejskich problem wpływu wstrząsów na obiekty budowlane regulowany jest na podstawie odpowiednich norm. Należy tu wymienić w szczególności normę niemiecką DIN 4150-3, normę austriacką ÖNORM S 9020: 1986, normę szwajcarską SN 640 312a, normę brytyjską 7385-2: 1993, portugalską NP 2074: 1983, hiszpańską UNE 22.381.93, czeską ČSN 73 0040, a także Eurocod 8 EUR 25204 EN – 2012. W normach określone są intensywności drgań przy których nie występują uszkodzenia obiektów budowlanych, definiowane dopuszczalnym przemieszczeniem, prędkością lub przyspieszeniem drgań. Wielkości te wyrażane są tabelarycznie lub graficznie w zależności od klas i rodzaju budynku. Normy różnią się od siebie zakresem stosowania i wymaganiami szczegółowymi.

Podane w powyższych normach wartości prędkości drgań oznaczają, że w zależności od rodzaju obiektu budowlanego, określone według dotychczasowych doświadczeń i wyników badań, w przypadku, gdy nie zostaną one przekroczone, nie wystąpią żadne szkody w zakresie użytkowym w rozpatrywanych obiektach budowlanych.

Normy europejskie dotyczące wpływu wstrząsów na obiekty budowlane jako miarodajne przyjmują prędkości drgań poziomych, przy czym norma niemiecka maksymalną wartość prędkości drgań poziomych, zaś norma austriacka i szwajcarska maksymalną wypadkową wartość prędkości drgań poziomych. Dotyczy to także ograniczenia w sensie częstotliwości drgań: norma niemiecka do 10 Hz, norma szwajcarska do 30 Hz.



Zmniejszenie wartości użytkowej budynku lub jego części może być spowodowane przez:

- szkody lekkie, do których zalicza się uszkodzenia tynku lub rysy w ścianach działowych, nie będących ścianami nośnymi, poszerzenie wcześniej istniejących rys, uszkodzenia ceramiki ściennej lub podłogowej itp.,
- szkody ciężkie, do których należy zaliczyć zmniejszenie stateczności obiektu budowlanego, lub zmniejszenie nośności pojedynczych ścian i stropów (Sroka 2006).

#### **PN- EN 1998 Eurokod 8: Projektowanie z uwagi na zagrożenia sejsmiczne.**

W 2004 roku do powszechnego użytkowania w Europie została wprowadzona europejska norma sejsmiczna, Eurokod 8 (EN 1998-1 do -6, 2005). Od 30 czerwca 2005 jest również normą obowiązująca na terenie Polski. Zgodnie ze stanem na 28 kwietnia 2015 r. Eurokod 8 wprowadzony jest do zbioru Polskich Norm wraz ze zmianami. Eurokod 8 składa się z sześciu norm. Norma PN-EN 1998-1:2005 nie ma opracowanego załącznika krajowego i w Polsce jest dostępna w języku oryginału.

W dokumencie europejskim EC8, określono możliwość pominięcia obciążeń generowanych przez wstrząsy sejsmiczne na poziomie  $a = 400 \text{ mm/s}^2$  (w przybliżeniu odpowiadające obciążeniom poziomym równym 4% ciężaru budynku) (Cholewicki i in. 2008).

### **Podsumowanie**

W artykule przedstawiono historyczny rozwój metod oceny oddziaływania wstrząsów pochodzenia górniczego na budynki. Do oceny pierwotnie stosowano metody używane w ocenie skutków trzęsień Ziemi. Podkreślono wkład polskich naukowców w rozwój metod: skale SWD, skala GSI. Aktualnie trwają prace nad przygotowaniem międzynarodowej skali Mining Seismic Instrumental Intensity Scale (MSIIS 15). Jest ona oparta na skali GSI-GZW<sub>KW</sub> i powstaje we współpracy z naukowcami między innymi Niemiec i Czech. Jest szerszą skalą niż polska i opiera się na doświadczeniach uzyskanych z kopalni niemieckich, czeskich i innych dotyczących wstrząsów pochodzenia górniczego.

### **Literatura**

- Biernatowski, K. z zespołem 1987: Fundamentowanie. Projektowanie i wykonawstwo. Arkady, Warszawa.
- Cancani, A. 1904. Sur l'emploi d'une double échelle sismique des intensités, empirique et absolue. Gerlands Beiträge Geophysik, 2, s. 281–283.
- Ciesielski, R. 1961: Ujęcie obliczeniowe oraz ocena wpływu drgań i wstrząsów pochodzących ze źródeł zewnętrznych na niektóre typy budowli. *Zeszyt Naukowy Politechniki Krakowskiej*, Budownictwo Lądowe 1(4).
- Cholewicki i in. 2008 – Cholewicki, A., Szulc, J. i Nagórski T. 2008. Ewolucja metod wyznaczania oddziaływań wstrząsów górnich na terenie LGOM. *Prace ITB – Kwartalnik* nr 4 1(145), s. 3–17.
- Dubiński, J. i Mutke, G. 2005. *Skala Górnicza GSI-2004-V do oceny oddziaływania drgań sejsmicznych od wstrząsów górnich na powierzchnię LGOM*. VIII Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górnich, GIG, Ustroń, s. 80–91.
- Dubiński, J. i Mutke, G. 2006. Zweryfikowana skala GSI-2004, *Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko: Bezpieczeństwo obiektów budowlanych na terenach górnich – szkody górnice*. Special Edition, Kwartalnik, GIG, *Górnictwo i Środowisko*, Katowice, s. 50–60.

- Dubiński, J. i Mutke, G. 2007. Górnictwa Skala Intensywności GSI-GZW do oceny skutków oddziaływania wstrząsów górniczych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym na obiekty budowlane i na ludzi. Prace Naukowe GIG, *Górnictwo i Środowisko*, Special Edition Kwartalnik GIG, Katowice, s. 199–211.
- Dubiński i in. 2011 – Dubiński, J., Jaśkiewicz, K., Lurka, A. i Mutke, G. 2011. Górnictwa skala intensywności sejsmicznej GSI-2004/11 dla wstrząsów górniczych w LGOM. [W:] *Weryfikacja skal GSI-2004*, KGHM CUPRUM Sp. z o.o. – CBR, Wrocław, lipiec (praca niepublikowana).
- Dubiński i in. 2013 – Dubiński, J., Mutke, G., Tatała, T., Muszyński, L., Barański, A. i Kowal, T. 2013. *Zasady stosowania zweryfikowanej Górnictwa Skali Intensywności Drgan GSI<sub>GZWKW</sub>-2012 do prognozy i oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją złóż węgla kamiennego w zakładach górniczych Kompanii Węglowej S.A. na obiekty budowlane i ludzi*. GIG, Katowice.
- Forel, F.A. 1881: Intensity scale. *Archives des Sciences Physiques et Naturelle*, vol. 6, s. 465–466.
- Glazer, Z. i Malinowski, J. 1991. *Geologia i geotechnika dla Inżynierów Budownictwa*. Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa.
- Grünthal, G. (ed.): The European Macroseismic Scale 1992: (up-dated MSK-scale). Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 7, Luxembourg: Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 79 s.
- Grünthal, G. (ed.) 1998. *European Macroseismic Scale 1998*, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie. Conseil de l'Europe, vol. 15, Luxembourg.
- Lipski, Z. 1988. Sposoby oceny odporności istniejących budynków wielkopłytowych na wpływy wstrząsów górniczych. *IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Budownictwo na terenach górniczych”*, Gliwice–Kamień k. Rybnika, maj 1988, s. 141–150.
- Maciąg, E. 2000. Ocena wpływu wstrząsów górniczych na budynki. *Mat. Symp. „Warsztaty Górnicze”*, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s. 297–317.
- Medvedev i in. 1964 – Medvedev, S., Sponheuer, W. i Karnik, V. 1964. Neue seismische Skala Intensity scale of earthquakes, 7. Tagung der Europäischen Seismologischen Kommission vom 24.9. bis 30.9.1962. [W:] Jena, Veröff. Institut für Bodendynamik und Erdbebenforschung in Jena, *Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 77, s. 69–76. (MSK-64).
- Mercalli, G. 1902: Sulle modificazioni proposte alla scala sismica De Rossi-Forel. *Bollettino della Società Sismologica Italiana*, 8, s. 184–191.
- Muszyński, L. 1993. Klasyfikacja dynamicznej odporności budynków. *Przegląd Górniczy* 1, s. 11–13.
- Richter, C.F. 1958. *Elementary Seismology*. W. H. Freeman, San Francisco.
- de Rossi, M.S. 1883, Programma dell'osservatorio ed archivio central geodinamico presso il R.Comitato Geologico d'Italia. *Bollettino del Vulcanismo Italiano*, 10, s. 3–128.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. z późniejszymi zmianami w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- Sieberg, A. 1912. Über die makroseismische Bestimmung der Erdbebenstärke. *Gerlands Beiträge Geophysik* 11, s. 227–239.
- Sieberg, A. 1923. *Geologische, physikalische und angewandte Erdbebenkunde*, G. Fischer, Jena.
- Sroka, A. 2006. Klasyfikacja odporności budynków na wstrząsy górnicze z uwzględnieniem historii wstrząsów. *XXIX Zimowa szkoła Mechaniki Górniczej*, Krynica, 12–17 marca 2006, Teberia Portal Górniczy, s. 697–710.
- Uzsko, M. i Barański, A. 2010. Wydobywać bezpiecznie, *Gazeta Firmowa KW* 1, s. 8–11.
- Zembały, Z. i Chmielewski, T. 2002. Opisowe intensywności trzęsień ziemi i możliwości ich stosowania do oceny wstrząsów górniczych, *Inżynieria i Budownictwo*, vol. LVIII, nr 9, s. 516–521.
- NORMY I INSTRUKCJE:
- BS 7385-2:1993: Evaluation and measurement for vibration in buildings. Part 2: Guide to damage levels from groundborne vibration.
- ČSN 73 0040: Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva, Březen 1996.
- DIN 4150-3: Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, 1999.
- Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels, 2003 i 2012.
- ÖNORM S 9020:1986: Bauwerkserschütterungen, Österreichisches Normungsinstitut, A-1021 Wien, August 1986.
- NP 2074:1983: Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou solicitações similares.
- PN -85/B-02170: Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki. PKN, 1985.
- PN -88/B-02171: Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach. PKN, 1988.

SN 640 312 a Erschutterungen, Einwirkungen auf Bauwerke, Yereinigung Schweizerischer Stra-Benfachleute, Zurich, 1992.

UNE 22.381.93: Control de vibraciones por voladuras, AENOR, España.

Strony internetowe:

Stec, K. 2014. Schemat oddziaływania fali sejsmicznej od wstrząsu pochodzenia górniczego na budynek, [Online]  
Dostępne w: [http://silesia.org.pl/upload/Wplyw%20wstrzasow%20gornicznych%20na%20powierzchnie\\_K.Stec.pdf](http://silesia.org.pl/upload/Wplyw%20wstrzasow%20gornicznych%20na%20powierzchnie_K.Stec.pdf) [Dostęp: 2014].

