

z. 2-B/2007 ISSN 0011-4561 ISSN 1897-628X

LUCJAN CZERWIONKA\*, TADEUSZ TATARA\*\*

# WZORCOWE SPEKTRA ODPOWIEDZI Z WYBRANYCH **OBSZARÓW GZW**

# STANDARD RESPONSE SPECTRA FROM CHOSEN MINING REGIONS AT UPPER SILESIAN COALFIELD

## Streszczenie

W niniejszym artykule podano zestawienie charakterystyk drgań powierzchniowych w trzech obszarach górniczych GZW. Analizom poddano składowe poziome i składową pionową drgań. Wykonane sprężyste spektra odpowiedzi charakteryzowały się dominującymi wyższymi częstotliwościami. Zaproponowano krzywe wzorcowe oddzielnie dla składowych poziomych i pionowych drgań. Podano opisy matematyczne zaproponowanych krzywych spektralnych. Otrzymane krzywe spektralne dla składowych poziomych drgań porównano z wcześniej wyznaczoną krzywą spektralną dla obszaru GZW. Krzywe te różnią się. Zaproponowane krzywe spektralne dla analizowanych obszarów mogą być zastosowane w analizach dynamicznych obiektów budowlanych oraz w pracach diagnostycznych.

Słowa kluczowe: wstrząsy górnicze, drgania powierzchniowe, wzorcowe spektrum odpowiedzi

Abstract

The study refers to juxtaposition of surface vibrations characteristics at three mining areas in Upper Silesian Coalfield (USC). We have analysed two horizontal and vertical components of vibrations. Calculated elastic response spectra have contained higher frequencies. Two elastic standard response spectra have been proposed for horizontal and vertical components of vibrations, respectively at each considered area. Mathematical formulas for the proposed spectra have been given. Acquired response spectra have been compared to earlier calculated response spectrum for USC area corresponding to horizontal components of vibrations. The curves differ distinguishably. The proposed spectra in the study may be used in dynamic analysis of structures and in diagnosis activities.

Keywords: mining tremors, surface vibrations, standard response spectrum



<sup>&</sup>lt;sup>\*</sup> Inż. Lucjan Czerwionka, Biuro Projektów Ryt-BP sp. z o.o.

<sup>\*\*</sup> Dr hab. inż. Tadeusz Tatara, prof. PK, Instytut Mechaniki Budowli, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Drgania powierzchniowe wzbudzane podziemną eksploatacją węgla kamiennego w obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) działają na powierzchniową zabudowę. Zabudowa ta jest zróżnicowana. Tworzą ją budynki mieszkalne i użyteczności publicznej, wznoszone metodami tradycyjnymi i uprzemysłowionymi oraz obiekty własne zakładów górniczych. Obiekty te charakteryzują się istotnymi różnicami konstrukcyjnymi wpływającymi na ich charakterystyki dynamiczne, a zatem i na reakcję dynamiczną na skutek działania drgań powierzchniowych. Bardzo często przez obszary górnicze przebiegają arterie komunikacyjne, a ważniejszymi obiektami budowlanymi są też gazociągi, napowietrzne linie niskiego i średniego napięcia, sieci wodociągowe i telekomunikacyjne.

W obliczeniach dynamicznych obiektów budowlanych na obszarach objętych działaniami drgań powierzchniowych stosuje się różne typy analizy z zastosowaniem:

a) spektrum odpowiedzi,

b) metody statycznej,

c) metody dynamicznej w dziedzinie czasu.

Metody te wymagają budowy modeli dynamicznych analizowanych konstrukcji. Najczęściej wykorzystuje się metodę spektrum odpowiedzi ze względu na wygodę jej stosowania.

W niniejszym artykule przedstawiono charakterystyki przebiegów drgań powierzchniowych z wybranych stacji sejsmicznych zlokalizowanych na obszarach Jastrzębskiej Spółki Węglowej i Kompanii Węglowej S.A. Analizie poddano składowe poziome i składową pionową drgań. Na podstawie zarejestrowanych przebiegów drgań wykonano wzorcowe sprężyste spektra odpowiedzi, oddzielnie dla składowych poziomych i składowej pionowej drgań. Zaproponowane spektra wzorcowe i opracowane formuły analityczne tych spektrów mogą być bezpośrednio zastosowane w pracach projektowych obiektów budowlanych zlokalizowanych na analizowanych obszarach. Wzorcowe spektra wyznaczone na podstawie składowych poziomych, z analizowanych obszarów, porównano z wcześniej opracowanym w IMB PK spektrum wzorcowym dla obszaru GZW.

## 2. Charakterystyka drgań powierzchniowych wybranych obszarów górniczych GZW

W artykule przedstawiono charakterystyki drgań powierzchniowych z wybranych obszarów kopalń GZW: "ANNA", "RYDUŁTOWY" i "JAS-MOS". Obszary KWK "ANNA" i "RYDUŁTOWY" są bezpośrednimi sąsiadami, a obszar KWK "JAS-MOS" jest odległy od nich średnio o ok. 15–20 km. Usytuowanie ww. obszarów pokazano na ryc. 1.

Przykładowo podłoże gruntowe w obszarze KWK "ANNA" scharakteryzowane jest poprzez: miąższość nadkładu ok. 35 m, warstwy czwartorzędowe (ok. 15 m) utworzone przez pyły, gliny pylaste, a głębiej – gliny, piaski, natomiast warstwy trzeciorzędowe mają grubość ok. 20 m i tworzą je gliny pylaste, szare lub niebieskoszare z wkładkami gipsów warstwowanych.

W tablicy 1 zamieszczono zestawienie wybranych najintensywniejszych wstrząsów górotworu z obszarów KWK "ANNA", "RYDUŁTOWY" i "JAS-MOS".



Ryc. 1. Mapa sytuacyjna

Fig. 1. Location of the considered areas

Tablica 1

Charakterystyki wybranych drgań powierzchniowych

In	Data	Godz	Energia	Prom. epic.	PGA <sub>x</sub>	PGAy	PGAz	PGAhor	
Lp.	Data	GOUZ.	$E_n$ [J]	$r_e$ [m]	$[mm/s^2]$	$[mm/s^2]$	$[mm/s^2]$	$[mm/s^2]$	
KWK "ANNA"									
1	05.01.13	18:34	2.5E7	2819	66,5	253,2	77,8	261,6	
2	05.04.06	19:45	2.3E7	2950	44,5	287,8	85,5	289,7	
3	05.06.10	15:03	2.7E6	1019	57,3	112,5	59,5	170,5	
KWK "RYDUŁTOWY"									
4	03.03.29	16:03	2E7	176	364,0	399,6	319,5	475,4	
5	04.08.25	22:56	1E7	127	537,0	605,6	450,8	714,0	
6	05.01.13	18:34	2E7	283	534,3	490,3	213,1	608,0	
7	05.04.04	19:45	2E7	460	784,1	783,7	670,4	1108,6	
8	06.04.03	12:15	8E7	105	165,4	815,8	329,5	824,3	
9	06.04.15	10:32	2E7	167	277,6	572,7	272,5	572,9	
10	06.05.13	11:09	1E8	55	579,2	1000,4	644,7	1003,0	
11	06.02.28	5:31	2E7	1140	518,9	276,6	204,8	704,7	
12	06.04.03	12:16	8E7	771	215,5	169,0	275,1	585,8	
13	06.04.15	10:33	2E7	1009	460,4	141,3	167,5	462,1	
KWK "JAS-MOS"									
14	1996.07.17	23:42	1.9E5	653	321	193	157	415,0	
15	2002.10.26	7:31	2E5	571,7	125	115	96	228,9	
16	2004.03.24	10:22	5.3E5	520,4	311,5	223	108,5	341,1	
17	2004.05.28	7:31	1.6E6	583,5	344	222	137	351,0	

Energia  $E_n$  zestawionych wstrząsów była większa od 1.0E6 J. Podane w tabl. 1 wartości energii nie są jednoznaczne i miarodajne. Przyczyną tego jest często zbyt niska dynamika aparatury pomiarowej stosowanej przez kopalnie do zapisów wstrząsów o największej intensywności. Przykładowo dla wstrząsu z poz. 6 w tabl. 1 energia tego zjawiska podana przez stację PAN w Raciborzu wynosiła aż 6.6E8 J.



Do scharakteryzowania przebiegów drgań powierzchniowych stosuje się wiele parametrów. Spośród tych parametrów wymienić można m.in.: maks. wartości składowych przyspieszeń drgań (poziome:  $x - (PGA_x)$ ,  $y - (PGA_y)$ , pionowa  $z - (PGA_z)$ ), maks. wartość przyspieszenia drgań poziomych (PGA<sup>hor</sup>), czas trwania intensywnej fazy składowej poziomej przyspieszeń drgań  $t_{dH}$  wyznaczany ze znormalizowanego wykresu intensywności Ariasa, maks. przyspieszenie składowych poziomych drgań  $a_{10xmax}$ ,  $a_{10ymax}$  i maks. przyspieszenie drgań poziomych  $a_{10hor}$  wyznaczone w paśmie do 10 Hz. Na rycinie 2 przykładowo pokazano przebiegi składowej poziomej i pionowej drgań z obszaru KWK "RYDUŁTOWY" wzbudzone wstrząsem opisanym w tabl. 1 w poz. 6.



Ryc. 2. Przykładowe przebiegi składowej poziomej (*x*) i pionowej (*z*) drgań powierzchniowych z obszaru KWK "RYDUŁTOWY" wywołane wstrząsem opisanym w tabl. 1, poz. 6

Fig. 2. Typical records of mining – related horizontal and vertical components of vibrations for the tremor listed in position 6 of the Tab. 1

#### 3. Wzorcowe spektra odpowiedzi w analizowanych obszarach GZW

Współczesne normy sejsmiczne wielu krajów podają wzory na obliczanie sił sejsmicznych działających na budowle na skutek ruchów podłoża gruntowego wywołanych trzesieniami ziemi, stosując znormalizowane spektrum odpowiedzi (por. np. [1, 3]). Spektrum takie podane jest także w projektach Eurokodu EC-8 [7] i normie ISO [8]. Wzorcowe spektrum odpowiedzi może być zastosowane do weryfikacji dynamicznej istniejących budynków, ale nadaje się i do projektowania nowych budynków. Nie jest bowiem możliwe, aby projektant posługiwał się wieloma spektrami dla różnych możliwych przebiegów drgań podłoża traktowanych jako wymuszenia kinematyczne, jakie mogą zaistnieć w miejscu posadowienia projektowanego budynku. Przy korzystaniu z tych spektrów należy pamiętać o uproszczeniach, jakie wprowadza się sporządzając krzywe wzorcowe, oraz o dokładności uzyskanych wyników, co wiąże się np. z przyjęciem wartości ułamka tłumienia krytycznego. Wzorcowe spektra odpowiedzi podawane w normach sa zróżnicowane, gdyż kształty krzywych spektralnych odpowiadają warunkom sejsmologicznym i specyfikom budownictwa danego kraju. Spektra te można skonstruować, mając do dyspozycji wiele pełnych zarejestrowanych przebiegów składowych poziomych drgań podłoża gruntowego, w tym i od wstrząsów górniczych.

Możliwość zastosowania spektrum odpowiedzi do wyznaczania sił sejsmicznych w obiektach budowlanych podlegających wpływom wstrząsów górniczych wymaga sporządzenia wzorcowego, względnego przyspieszeniowego spektrum odpowiedzi na podsta-

wie wielu powierzchniowych drgań, zarejestrowanych w rejonach występowania wstrząsów górniczych, podobnie jak się to czyni w rejonach sejsmicznych.

Indywidualne krzywe spektralne wykonane na podstawie przebiegów składowych poziomych (x, y) drgań z obszarów KWK "ANNA", "JAS-MOS" i "RYDUŁTOWY" znacznie się różnią. Podobnie jest z krzywymi spektralnymi wykonanymi na podstawie składowych pionowych drgań. Wskazuje to na potrzebę opracowania oddzielnych wzorcowych, uśrednionych spektrów odpowiedzi, odrębnie dla tych obszarów. Wykorzystując spektra odpowiedzi od poszczególnych przebiegów drgań, sporządzono uśrednione przyspieszeniowe spektra (o prawdopodobieństwie przekroczenia równym 50%, tzw. uniform risk spectrum [7]), odpowiadające wartości ułamka tłumienia krytycznego  $\xi = 5\%$ , które następnie poddano iteracyjnej procedurze wygładzenia [5].

Na rycinach 3 i 4 pokazano uśrednione i wygładzone krzywe wzorcowe  $\beta$  w funkcji okresów  $T_i$ , otrzymane odpowiednio w obszarach ww. kopalń (odpowiadające składowym poziomym i pionowym drgań). Spektra odpowiedzi otrzymane dla obszaru KWK "ANNA", tak dla składowych poziomych, jak i dla składowej pionowej drgań, wykazały istotne różnice w stosunku do krzywych spektralnych z dwóch pozostałych obszarów. W przebiegach składowych poziomych i pionowych drgań z obszaru KWK "ANNA" wyraźnie dominują wyższe składowe drgań. Wynika stąd, że uśrednione i wygładzone krzywe wzorcowe  $\beta$  (dla składowych poziomych i pionowej drgań) dla wyższych składowych częstotliwości, leżą na lewo od krzywych spektralnych sporządzonych dla obszarów KWK "RYDUŁTOWY" i KWK "JAS-MOS – por. ryc. 3 i 4. Wykorzystując krzywe z ryc. 3 i 4 zaproponowano krzywe wzorcowe w analizowanych obszarach górniczych oddzielnie dla składowych poziomych i składowej pionowej drgań – por. ryc. 5–10.



Ryc. 3. Uśrednione spektra odpowiedzi na podstawie składowych poziomych drgań

Fig. 3. Average response spectra (for horizontal comp. of vibrations)

Ryc. 4. Uśrednione spektra odpowiedzi na podstawie składowych pionowych drgań

Fig. 4. Average response spectra (for vertical comp. of vibrations)

Opisy matematyczne krzywych wzorcowych  $\beta(T)$  w analizowanych obszarach GZW, oddzielnie dla składowych poziomych (x, y) i składowej pionowej (z) drgań, przedstawiają zależności zestawione w tabl. 2. Z wcześniejszych prac wynika, że selekcja względnych przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi  $\beta$  wykonanych na podstawie składowych poziomych (x, y) przebiegów drgań wykazała, że spektra wykonane na podstawie średnich i silnych przebiegów drgań  $(a_{\text{max}} \ge 10 \text{ cm/s}^2)$  z obszaru GZW różnią się od spektrów sporządzanych na podstawie słabszych drgań  $(a_{\text{max}} \le 10 \text{ cm/s}^2)$  [2, 4, 5]. Wyniki przedstawiane



Ryc. 5. Wzorcowe spektrum dla obszaru KWK "JAS-MOS" – składowe poziome drgań

Fig. 5. Standard response spectrum for KWK "JAS-MOS" (for horizontal comp. of vibrations)





Fig. 7. Standard response spectrum for KWK "RYDUŁTOWY" for horizontal comp. of vibrations)





Fig. 9. Standard response spectrum for KWK "ANNA" (for horizontal comp. of vibrations)



Ryc. 6. Wzorcowe spektrum dla obszaru KWK "JAS-MOS" – składowe pionowe drgań

Fig. 6. Standard response spectrum for KWK "JAS-MOS" (for vertical comp. of vibrations)



- Ryc. 8. Wzorcowe spektrum dla obszaru KWK "RYDUŁTOWY" – składowe pionowe drgań
- Fig. 8. Standard response spectrum for KWK "RYDUŁTOWY" (for vertical comp. of vibrations)



- Ryc. 10. Wzorcowe spektrum dla obszaru KWK "ANNA" – składowe pionowe drgań
- Fig. 10. Standard response spectrum for KWK "ANNA" (for vertical comp. of vibrations)

			'
Tab	1 i	c a	2

17

	Spektrum odp	owiadające	Spektrum odpowiadające składowym		
Obszar	składowym p	oziomym	pionowym		
	$\beta(T)$	<i>T</i> [s]	$\beta(T)$	<i>T</i> [s]	
	$28 \cdot T + 0,44$	0,02 - 0,08	$42,5 \cdot T + 0,15$	0,02 - 0,06	
KWK "JAS-MOS"	2,7	0,08 - 0,14	2,7	0,06 - 0,16	
	0,428/T - 0,363	0,14 - 0,8	0,493/T - 0,382	0,16-0,8	
	0,17	> 0,8	0,23	> 0,8	
<i>KWK</i>	$20 \cdot T + 0,6$	0,02 - 0,10	$41,25 \cdot T + 0,175$	0,02 - 0,06	
NWN DVDUU TOWV"	2,6	0, 1 - 0, 15	2,65	0,06 - 0,14	
"KIDULIUWI	0,446/T - 0,373	> 0,15	0,422/T - 0,364	>0,14	
	$62,6 \cdot T - 0,25$	0,02 - 0,058	$44 \cdot T + 0,62$	0,02 - 0,056	
WWW ANNIA"	3,4	0,058 - 0,069	3,1	0,056 - 0,068	
KWK "AININA	0,26/T - 0,43	0,069 - 0,5	0,245/T - 0,51	0,068 - 0,4	
	0,1	> 0,5	0,1	> 0,4	
	$1 + 10 \cdot T$	0,02 - 0,1			
C7W	$1,8 + 2 \cdot T$	0,1-0,303			
UZ W	0,921/T - 0,671	0,303 - 1	_		
	0,25	> 1			

Opisy krzywych spektralnych

w tych pracach nie uwzględniały prezentowanych tu wyników z analizowanych obszarów GZW. Dla porównania w tabl. 2 zestawiono również opisy krzywej wzorcowej dla obszaru GZW, odpowiadające  $\xi = 5\%$  [5].

- Ryc. 11. Porównanie wzorcowych spektrów odpowiedzi z analizowanych obszarów z wzorcowym spektrum odpowiedzi dla obszaru GZW – na podstawie składowych poziomych drgań
- Fig. 11. Comparison of standard response spectra for horizontal components of vibrations from considered areas with response spectrum for the GZW area



W celu porównania zaproponowanych wzorcowych przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi odpowiadających składowym poziomym drgań od wstrząsów górniczych z obszarów KWK "JAS-MOS", "ANNA" i "RYDUŁTOWY" z krzywą spektralną dla obszaru GZW, powyższe krzywe zestawiono na ryc. 11. Porównanie krzywych spektralnych z ryc. 11 dowodzi, że w przebiegach składowych poziomych drgań od wstrząsów górniczych z obszarów KWK "JAS-MOS", "ANNA" i "RYDUŁTOWY" dominują wyższe częstotliwości drgań niż w przebiegach drgań, które były w przeszłości analizowane i wy-korzystane w budowie krzywej wzorcowej dla obszaru GZW. Przyczyną tego zjawiska mogą być odmienne warunki podłoża gruntowego, przez które propagują się drgania w obszarach analizowanych kopalń. Szczególnie wysokie częstotliwości charakteryzują składowe drgań poziomych i pionowych z obszaru KWK "ANNA". Również porównanie wzorcowych krzywych spektralnych wykonanych dla górniczych obszarów GZW z krzy-



wymi spektralnymi zawartymi w normach sejsmicznych [6, 9, 10] potwierdza, że przebiegi drgań wywołanych eksploatacją górniczą charakteryzują się wyższymi częstotliwościami drgań w stosunku do dominujących częstotliwości przebiegów drgań wywołanych trzęsieniami ziemi.

#### 4. Wnioski i uwagi końcowe

Wykorzystując zapisy przebiegów składowych poziomych i składowej pionowej drgań powierzchniowych wzbudzanych podziemną eksploatacją górniczą w wybranych trzech obszarach (KWK "ANNA", "RUDUŁTOWY", "JAS-MOS") sporządzono wzorcowe krzywe spektralne. Podano opisy matematyczne zaproponowanych krzywych. Krzywe spektralne wskazują na udział wyższych składowych w przebiegach drgań powierzchniowych, zarówno w odniesieniu do składowych poziomych, jak i pionowych drgań. Krzywe spektralne w wybranych obszarach różnią się, co wskazuje że lokalne warunki gruntowe mogą mieć istotny wpływ na kształt krzywych wzorcowych. Zaproponowane krzywe różnią się od krzywej spektralnej sporządzonej wcześniej dla obszaru GZW na podstawie przebiegów drgań powierzchniowych z obszarów innych kopalń. Krzywe wzorcowe podane dla składowych poziomych i pionowych drgań mogą być zastosowane w obliczeniach dynamicznych do wyznaczania sił sejsmicznych w lokalnych obiektach, istniejących i projektowanych, metodą spektrum odpowiedzi.

### Literatura

- [1] Bielak J., Xu J., Ghattas O., *Earthquake ground motion and structural response in alluval valleys*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 25, No. 5, 1999, 413-423.
- [2] Ciesielski R., Kowalski W., Maciąg E., Tatara T., Spektra odpowiedzi od trzęsień ziemi i wstrząsów górniczych oraz ich zastosowanie, XLI Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, tom: Teoria konstrukcji, Krynica 1996, 29-36.
- [3] Juhásová E., Pôsobenie seizmických pohybov na stavebné konštrukcie, VEDA Vydavatel'stvo Slovenskej Akadémie Vied, Bratislava 1985.
- [4] Kowalski W., Maciąg E., Tatara T., Normalized response spectra for mining tremors and their application, Proc. 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris 1998, CD-ROM.
- [5] Tatara T., Działanie drgań powierzchniowych wywołanych wstrząsami górniczymi na niską tradycyjną zabudowę mieszkalną, Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, seria: Inżynieria Lądowa nr 74, Kraków 2002.
- [6] DIN 4149, Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Lastannahemen, Bemessung und Ausfühnung üblicher Hochbauten.
- [7] EC-8: Design of structures for earthquake resistance, Draft No 6, CEN, January 2003.
- [8] ISO/DIS 3010, Basis for design of structures Seismic actions on structures, wersja z 2000 r.
- [9] SN 730036: Seizmicke Zatazenie Stavebnych Konstrukcjii, Bratislava 1995.
- [10] SNiP-II-7-81, Stroitielstwo w sejsmiczeskich rajonach, Moskwa 1982.