Artur Bęben*, Roman Biessikirski**, Antoni Łopata*, Andrzej Podsiadło*

BADANIA WPŁYWU ROBÓT STRZAŁOWYCH NA KONSTRUKCJĘ KOPARKI SCHRS 4000 PRACUJĄCEJ W NADKŁADZIE Z TWARDYMI PRZEROSTAMI WAPIENNYMI W KWB "BEŁCHATÓW"

1. Wstęp

Występujące w nadkładzie kopalni KWB "Bełchatów" twarde i liczne przerosty wapienne uniemożliwiają efektywną pracę koparek wielonaczyniowych, zachodzi więc potrzeba rozluzowania tych warstw za pomocą materiału wybuchowego. Prowadzone roboty strzałowe nie mają jednak typowego charakteru urabiającego. Większość serii długich otworów odpalana jest "z przytrzymanym urobkiem", stąd zasięg drgań wzbudzonych detonacją MW jest większy.

Wyznaczenie bezpiecznych (dopuszczalnych) ładunków MW ze względu na pracę koparek w sąsiedztwie wykonywanych robót jest utrudnione z powodu braku znormalizowanego kryterium szkodliwości dla tego rodzaju urządzeń. Kryterium to, warunkowo, może być ustalone doświadczalnie dla konkretnych warunków pracy koparki kołowej SchRs 4000 pracującej na poziomie +80 i prowadzonych robót strzałowych rozluzowujących przerosty wapienne w nakładzie.

W celu ustalenia wpływów robót strzałowych na konstrukcję koparki przeprowadzono odpowiednie badania i ustalono wielkość ładunków oraz minimalną bezpieczną odległość dla wykonywania robót strzałowych, przy których nie mają one szkodliwego wpływu na konstrukcję koparki.

2. Warunki prowadzenia robót strzałowych

Roboty strzałowe rozluzowujące warstwy trudno urabialne prowadzone są w wyższym lub tym samym piętrze poziomu urabianego przez koparkę. Ze względów technologicznych

^{*} Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

otwory strzałowe rozmieszczane są wieloszeregowo, często zależnie od konturu zalegania przerostów. Dla celów pomiarowych na poziomie + 80 m w kopalni "Bełchatów" odpalono trzy serie otworów. Ramowe parametry robót zestawiono w tabeli 1.

Seria	Ι	II	III
Piętro poziomu	+ 80 m	+ 80 m	+ 80 m
Rodzaj ładunku MW	ciągły	ciągły	ciągły
Średnica otworów d, m			
Długość otworu l _o , m	12,5	12,5	12,5
Odległość między otworami a, m	3,5÷4,5	3,5÷4,5	3,5÷4,5
Długość przybitki l _p , m	4,0÷4,7	4,0÷4,7	4,0÷4,7
Ilość MW w otworze Q_1 , kg	130	135	139
Ilość MW w serii Q _c , kg	3631	3098	2777
Ilość MW na opóźnienie Qz, kg	130	270	139
Liczba otworów <i>n</i> , szt.	28	23	20
Liczba szeregów, szt.	4	6	5

 TABELA 1

 Charakterystyczne parametry robót strzałowych

Materiał wybuchowy luzem stanowił saletrol. Otwory wypełnione MW inicjowano nieelektrycznym systemem Nonel. Szczegółowe schematy odpalania przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schematy odpalania MW

Do pomiarów intensywności drgań zastosowano aparaturę sejsmometryczną z zapisem cyfrowym, produkcji szwedzkiej, typu UVS 1608 DIN, UVS 1504:

- rejestrator przebiegu drgań UVS 1608,
- rejestrator przebiegu drgań z możliwością stałego monitoringu UVS 1504.

Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych w stosunku do miejsca wykonywania robót strzałowych przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia stanowisk pomiarowych

Drgania gruntu mierzono na trzech składowych, to jest na osi pionowej z i dwóch osiach poziomych x i y. Składowa pozioma x sejsmometru orientowana była równolegle do kierunku pomiarowego.

Zmierzone drgania przedstawiono w postaci największych prędkości przemieszczeń na poszczególnych składowych u_z ; u_x ; u_y oraz odpowiadających im w czasie lokalnym częstotliwościach f_z ; f_x ; f_y , a także rzeczywistych wektorów drgań przestrzennych u_{zxy} i poziomych u_{xy} . Wyniki pomiarów podano w tabeli 2, gdzie oprócz nich zamieszczono dane dotyczące odległości stanowisk pomiarowych od miejsca wykonywanych robót strzałowych oraz charakterystyczne dane odpalanej serii według kolejności: ładunku serii, opóźnienia milisekundowego, numeru otworu, liczby otworów.

Depart	Q_c, Q_1 , Stano-		Odleg-	Prędkość drgań, mm/s			Częstotliwość, Hz			Wektor, mm/s	
Record	Q_z, n	Q_z, n wisko	łość	u_z	<i>u</i> _x	u_y	f_z	f_x	f_y	<i>u</i> _{zxy}	u_{xy}
1											
258.269	3631	wl	147	22,35	14,05	12,40	13,9	5,7	15,1	22,546	14,063
251.394	130	w2	197	10,35	11,35	8,60	4,4	12,5	17,9	13,025	12,802
048.406	28	w3	247	5,60	7,25	3,93	7,4	14,4	12,0	7,334	7,333
	poz. V	w4	297	4,85	4,63	4,95	9,9	6,2	5,8	5,873	5,653
2											
258.270	3098	w1	147	8,40	10,50	15,50	14,6	17,7	17,5	17,744	17,744
251.395	135	w2	197	9,15	20,60	8,20	13,9	15,5	13,4	20,692	20,692
048.407	23	w3	247	5,65	6,30	5,98	12,8	12,3	14,6	7,877	7,841
	poz. V	w4	297	3,40	4,63	4,00	13,2	12,5	13,0	5,760	5,281

Wyniki pomiarów intensywności drgań

TABELA 2

TABELA 2 cd.

Record $\begin{array}{c} Q_c, Q_1, \\ Q_z, n \end{array}$	$Q_c, Q_1,$ St	Stano-	Odleg-	Prędkość drgań, mm/s			Częstotliwość, Hz			Wektor, mm/s	
	wisko	łość	<i>u</i> _z	<i>u_x</i>	u_y	f_z	f_x	f_y	u _{zxy}	<i>u</i> _{xy}	
3											
258.271	2777	w1	147	16,95	10,20	13,60	11,1	13,6	15,5	18,540	15,094
251.397	139	w2	197	11,50	16,95	7,95	9,7	10,7	14,2	17,374	17,062
048.408	20	w3	247	6,60	9,45	4,83	8,6	9,0	9,7	10,126	10,104
	poz. V	w4	297	5,65	4,20	5,55	3,7	8,1	3,8	6,276	5,663

Określenie poziomu intensywności drgań w warunkach KWB "Bełchatów" przez przyjęty próg szkodliwości (prędkość krytyczna) jest punktem wyjścia do wyznaczania dopuszczalnych ładunków, z uwzględnieniem ich wpływu na otoczenie. W przypadku określania oddziaływania drgań na konstrukcję koparki, prędkość krytyczna może być wyznaczona w oparciu o pomiary naprężeń na konstrukcjach maszyn poparte obliczeniami konstrukcyjnymi. W omawianym przypadku próg szkodliwości przyjęto szacunkowo, stąd i wyznaczone ładunki będą szacunkowe.

Badania wpływu robót strzałowych na konstrukcję koparki SchRs 4000 pracującej w kopalni "Bełchatów" na poziomie + 80 obejmowały:

- pomiary przyspieszeń drgań w wybranych i wskazanych miejscach konstrukcji koparki przy wykonywanych robotach strzałowych i w trakcie normalnej pracy (tło);
- pomiary naprężeń w wybranych miejscach konstrukcji koparki przy wykonywanych robotach strzałowych i w trakcie normalnej pracy (tło);
- analizę wyników badań i wnioski.

3. Warunki prowadzenia pomiarów

Badania wpływu robót strzałowych na konstrukcję koparki SchRs 4000/2,5 37,5 prowadzono na poziomie + 80 m. W dniach wykonywanych pomiarów warunki atmosferyczne można określić jako sprzyjające ze względu na słoneczną i bezwietrzną pogodę, temperaturę + 5+8°C, a warunki gruntowe dobre dla tłumienia drgań, gdyż podłoże charakteryzowało się dużą wilgotnością — w dniach poprzedzających pomiary występowały opady.

Koparka pracowała systemem zabierkowym w przodku eksploatacyjnym, urabiając nadkład, w którym występowały twarde przerosty wapienne.

W celu ułatwienia urabiania nadkładu przez organ urabiający koparki prowadzone były roboty strzałowe w nadkładzie.

W czasie wykonywania pomiarów roboty strzałowe prowadzone były w odległości 147 m od osi symetrii koparki (I seria strzałowa), natomiast II i III seria strzałowa w odległości 130 m od osi symetrii koparki.

Do pierwszej serii strzałowej usytuowanie koparki w stosunku do przodku eksploatacyjnego przedstawiono schematycznie na rysunku 3.



Rys. 3. Usytuowanie koparki w przodku do I serii strzałowej

Do II i III serii strzałowej usytuowanie koparki w stosunku do przodku eksploatacyjnego przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Usytuowanie koparki w przodku do II i III serii strzałowej

Usytuowanie koparki do II i III serii strzałowej było podyktowane stworzeniem warunków najbardziej niekorzystnych dla koparki, mogących powstać w wyniku robót strzałowych, ze względu na odległość koparki od otworów strzałowych i skarpy ściany oraz na usytuowanie wysięgnika koparki w stosunku do korpusu maszyny. Podwozie koparki znajdowało się w przodku, w odległości 7 m od rozluzowanego urobku zalegającego warstwę o grubości około 0,5 m na spągu, pomiędzy skarpą a koparką. Koło czerpakowe znajdowało się na wysokości 5 m od spągu do krawędzi czerpaków, a wysięgnik z kołem czerpakowym usytuowany był prawie pod kątem prostym do kierunku jazdy koparki.

4. Rozmieszczenie czujników pomiarowych

Na konstrukcji koparki zainstalowano 8 czujników przyspieszeń oraz w pięciu punktach mierzono naprężenia przy wykorzystaniu czynników tensometrycznych połączonych w układach półmostkowych.

Doboru miejsca zainstalowania czynników dokonano po analizie konstrukcji, mając na uwadze możliwość wystąpienia niekorzystnych drgań i naprężeń w miejscach najbardziej niekorzystnych dla konstrukcji koparki. Brano również pod uwagę dostępność miejsca montowania czujników, uwzględniając technologię ich instalowania.

Celem pomiarów było określenie powstałych drgań i naprężeń występujących w określonych punktach konstrukcji koparki, powstałych w wyniku prac strzałowych w nadkładzie.

Dla porównania przeprowadzono również pomiary w tych samych punktach konstrukcji co przy pracy koparki w czasie urabiania skarpy ściany.

Na rysunku 5 przedstawiono schemat całościowy koparki SchRs 4000/2,5; 37,5, z zaznaczonymi miejscami rozmieszczenia czujników do pomiaru naprężeń i przyspieszeń, oznaczając je numerami l–13 (C-l, ..., C-13).



Rys. 5. Schemat koparki z zaznaczonymi miejscami umieszczenia czujników pomiarowych

Czujniki usytuowano na:

- ramie podwozia 6 (C-6);
- pierścieniu obrotnicy ramy nadwozia 2; 5 (C-2; C-5);
- ramie nadwozia osadzonej na pierścieniu obrotnicy l; 3 (C-1, C-3);
- konstrukcji nośnej ramy nadwozia 9; 10; 11; 12 (C-9; C-10; C-11; C-12);
- konstrukcji wysięgnika koła czerpakowego 7; 8 (C-7; C-8), w bliskiej odległości od koła czerpakowego;
- konstrukcji wysięgnika koła czerpakowego (drugie przęsło konstrukcji wysięgnika koła czerpakowego, licząc od przegubowego zamocowania wysięgnika do ramy nadwozia) 13 (C-13).

Do pomiaru naprężeń na elementach konstrukcyjnych koparki zastosowano tensometry oporowe typu PbKn 10-300.

Do pomiarów i rejestracji sygnałów z mostków tensometrycznych wykorzystano dwa połączone poprzez port równoległy mikroprocesorowe wzmacniacze pomiarowe SPIDER 8 firmy Hottinger Baldwin Messtechnik. Uzyskano dzięki temu możliwość pomiaru sygnałów 3 z 16 kanałów. Jako komputer pomiarowy służył komputer przenośny typy notebook firmy Compaq z oprogramowaniem Control firmy Hottinger.

5. Wyniki badań i analiza

Dla wszystkich serii strzałowych oraz dla różnych warunków pracy koparki w nadkładzie zestawiono wyniki zbiorcze pomiarów naprężeń i przyspieszeń w wybranych miejscach konstrukcji koparki (tab. 3 i 4).

TABELA 3

Pomiary naprężeń w wybranych miejscach konstrukcji kopa	rki
przy trzech seriach strzałowych i różnych warunkach pracy	

Rodzaj	Numer	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13
pomiaru	czujnika	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1 aania atrochovya	odch. std	0,4356	0,3069	0,2137	0,2258	0,1806
i sella suzaiowa	wart. max.	3,3337	2,0091	1,2975	1,4958	1,3844
2 aaria atrzakowa	odch. std	0,4089	0,3019	0,2989	0,3203	0,1915
2 Sella Suzalowa	wart. max.	1,2389	0,9363	0,7144	0,8891	1,1736
2 goria strzekowa	odch. std	0,4061	0,4463	0,2313	0,2864	0,1711
5 Sella Suzalowa	wart. max.	1,9240	1,8108	0,8507	1,4226	1,0747
Praca norm. 1	odch. std	3,8371	2,8432	3,8909	3,8438	0,8555
	wart. max.	10,9650	8,4271	9,7729	9,5786	2,5885
Praca norm. 2	odch. std	3,4136	4,7831	3,7146	3,5529	0,7495
	wart. max.	10,4240	12,7691	10,7747	10,3880	2,5687
Dragg porm 2	odch. std	6,3804	4,4590	6,8600	6,3310	1,5435
Placa norm. 5	wart. max.	18,5782	13,3791	18,2096	16,5758	6,2730
Przejazd konerki	odch. std	8,2372	5,1251	8,9738	8,3891	1,3783
гігејага кораткі	wart. max.	20,4586	12,1894	22,2900	22,0495	4,2686
	odch. std	1,9081	1,3506	1,7293	2,4546	1,5176
Обгот корагкі	wart. max.	6,8620	5,7260	4,6720	10,8458	3,5074
Obr. koła bez u	odch. std	7,6312	5,3431	6,3790	5,8370	1,3728
Odr. koła dez u.	wart. max.	26,6952	18,0321	19,7720	16,1211	3,8058

TABELA 4 Pomiar przyspieszeń drgań koparki w wybranych miejscach przy trzech seriach strzałowych i różnych warunkach jej pracy

Rodzaj pomiaru	Numer	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8
	czujnika	m/s ²							
1 soria strzelowa	odch. std	0,0344	0,0332	0,0234	0,0901			0,0259	0,0178
1 sena suzaiowa	wart. max.	0,3269	0,2948	0,2946	0,2629			0,1878	0,1359
2 soria strzelowa	odch. std	0,0223	0,0212	0,0170	0,0765			0,0266	0,0222
2 Seria Strzałowa	wart. max.	0,2188	0,2164	0,1372	0,2467			0,1359	0,1210
3 seria strzałowa	odch. std	0,0263	0,0258	0,0209	0,0724	0,0293	0,0239	0,0241	0,0239
	wart. max.	0,3401	0,3508	0,2534	0,4114	0,4455	0,2050	0,1379	0,1320
D 1	odch. std	0,0272	0,0248	0,0196	0,2030			0,0747	0,0433
	wart. max.	0,0941	0,0809	0,0688	0,5164			0,3304	0,1517
Proce norm 2	odch. std	0,0208	0,0197	0,0203	0,2535	0,0194	0,0206	0,0768	0,0615
	wart. max.	0,0698	0,0677	0,0765	0,6915	0,0710	0,0885	0,2958	0,2489
Draga norm 2	odch. std	0,0272	0,0258	0,0228	0,2391	0,0240	0,0223	0,0857	0,0570
Flaca norm. 5	wart. max.	0,1509	0,1395	0,0852	1,1336	0,1316	0,1116	0,4268	0,2163
Przejazd konarki	odch. std	0,0494	0,0467	0,0610	0,6076	0,0428	0,0378	0,1084	0,1132
Fizejazu kopatki	wart. max.	0,1791	0,1803	0,2073	2,8595	0,1400	0,1408	0,3799	0,3459
Obrót koparki	odch. std	0,0060	0,0066	0,0117				0,0296	0,0450
	wart. max.	0,0268	0,0384	0,0473				0,1259	0,2291
Obr. kok bozu	odch. std	0,0356	0,0342	0,1210	0,3931			0,1197	0,1218
Odr. koja dez u.	wart. max.	0,1266	0,1204	0,4000	1,1051			0,3510	0,3748

Przez pracę normalną koparki należy rozumieć urabianie nadkładu przy stałej wysokości półki około 0,4 *D* koła czerpakowego pracy nadsiębiernej oraz zmienianej grubości skrawu i zmiennej prędkości obrotu nadwozia w zakresie zmian, jakie stosuje operator podczas urabiania koparką.

Ponadto dokonano pomiarów naprężeń i przyspieszeń w tych samych punktach co poprzednio dla porównania wartości i charakteru naprężeń i przemieszczeń w czasie przejazdu (zmiany miejsca urabiania) koparki z unieruchomionym kołem czerpakowym, w czasie obrotu nadwozia koparki z unieruchomionym kołem i wysięgnikiem oraz w czasie obrotu koła czerpakowego bez urobku. W tabeli podano także odchylenie standardowe w poszczególnych punktach pomiarowych oraz maksymalne wartości bezwzględne z całego cyklu pomiarowego.

5. l. Wyniki badań dla 3 serii strzałowych

Wyniki badań naprężeń w punktach C-9, C-10, C-13, C-11, C-12 przedstawiono dla przebiegu przyspieszeń o największych wartościach uzyskanych w punkcie C-1 dla całej pierwszej serii strzałowej w tym samym czasie (rys. 6).





91

a)

b)

c)

Na rysunku 6a przedstawiono wartości przyspieszeń w punkcie C-l oraz naprężeń w punktach C-9 i C-10. Na podstawie wyników i przebiegu pomiarów stwierdzono identyczny charakter i wartości naprężeń z obydwu stron belki, co wskazuje na niewystępowanie znaczących sił zginających.

Z rysunku 6b wynika, że w punkcie C-13 występują największe naprężenia o takim samym charakterze jak przyspieszenia w punkcie C-l, powstałe w wyniku odstrzelenia pierwszej serii strzałowej, o wartości znacznie mniejszej niż przy normalnej pracy koparki.

Na rysunku 6c pokazano przebieg przyspieszeń w punkcie C-l i porównawczo naprężenia w punktach C-l i C-12 na zastrzale konstrukcji nośnej ramy nadwozia. Uzyskano małe wartości naprężeń w porównaniu z punktami C-9 i C-10.

Ze względu na to, że w drugiej serii strzałowej otrzymano wyniki znaczne niższe niż z serii pierwsze i trzeciej, wyniki podano w tabelach 3 i 4.

Rezultaty uzyskane w trzeciej serii strzałowej wskazują, że najwyższe amplitudy przyspieszeń drgań pionowych wystąpiły w podparciu kulistym pierścienia ramy nadwozia w punkcie 1 (C-1) oraz na ramie podwozia w punkcie 6 (C-6) i na wysięgniku w pobliżu koła czerpakowego w punkcie 7 (C-7)

Największe amplitudy przyspieszeń wystąpiły w punkcie 7 (C-7) dla wszystkich serii strzałowych, a maksymalne dla pierwszej serii strzałowej.

Na rysunku 7 przedstawiono pomiary największych naprężeń, które wystąpiły w wybranych trzech elementach konstrukcji w punkcie C-9, C-11 i C-13. Wartość naprężeń jest nieznacząca dla wytrzymałości konstrukcji.



Rys. 7. Przebieg największych naprężeń w punktach C-9, C-11 i C-13

92

Na rysunku 8 przedstawiono maksymalne wartości przyspieszeń pionowych w najbardziej newralgicznym punkcie konstrukcji koparki, ramy nadwozia osadzonej na pierścieniu obrotnicy 1 (C-1).



Rys. 8. Maksymalne wartości przyspieszeń pionowych w konstrukcji ramy nadwozia osadzonej na pierścieniu obrotnicy 1 (C-1)

Natomiast na rysunku 9 przedstawiono poziom naprężeń w konstrukcji ramy nośnej nadwozia 2 (C-2).



Rys. 9. Poziom naprężeń w konstrukcji ramy nośnej nadwozia 2 (C-2)

Wnioski

Na podstawie analizy wyników badań stwierdzono:

- Maksymalne wartości przyspieszeń drgań w wybranych punktach pomiarowych są zgodne z badaniami rozchodzenia się fali sejsmicznej (tab. 2).
- Maksymalne wartości przyspieszeń pionowych uzyskane z prac strzałowych są około dwukrotnie wyższe od stanu normalnej pracy koparki. Ze wzglądu na krótki czas trwania impulsu drganiowego i wartości tego impulsu nie ma to istotnego wpływu na obciążenia konstrukcji dla panujących w tym czasie warunków górniczo-klimatycznych. Powyższy wniosek potwierdza uzyskany w badaniach bardzo niski poziom naprężeń konstrukcji w wybranych punktach pomiarowych, które to naprężenia były prawie 10--krotnie niższe niż przy normalnej pracy i pracach pomocniczych koparki (rys. 8 i 9 oraz tab. 3 i 4).
- W czasie prac strzałowych nie występują różnice w pomiarze przyspieszeń drgań w pierścieniu obrotnicy ramy nadwozia, co świadczy o niewystępowaniu luzów pomiędzy tymi elementami.
- Identyczny charakter wartości naprężeń z obydwu stron belki (rys. 6) wskazuje na niewystępowanie w tej belce sił zginających.
- Badania wykazały brak szkodliwego wpływu robót strzałowych na konstrukcję koparki przy wielkości ładunków i odległościach jak w trakcie strzelań doświadczalnych. Dlatego dopuszcza się jako bezpieczny dopuszczalny ładunek MW odpalanej serii $Q_c = 3650$ kg, a minimalną bezpieczną odległość dla wykonywanych robót strzałowych 150 m.
- Badania nie wykazały zagrożenia pochodzącego od robót strzałowych przeprowadzonych zgodnie z programem badań. Należy jednak stwierdzić, że warunki propagacji fali sejsmicznej w okresie prowadzonych badań (duże nawilżenie podłoża) były niekorzystne. Ze względu na brak normatywnych kryteriów wpływu drgań na pracujące koparki dopuszczalne wielkości ładunków MW dla wykonywanych robót strzałowych należy poddać weryfikacji w innych warunkach propagacji drgań, na przykład w warunkach suchego i zmarzniętego podłoża.

LITERATURA

- Lopata H., Lopata A.: Analiza dynamiczna wysięgnika roboczego koparki SRs 470 k w aspekcie bezpiecznej pracy maszyn. Materiały IV konferencji naukowo-technicznej PAN. Sekcja Mechaniki Górnictwa Komitetu Górnictwa PAN, 1984
- [2] Beben A., Lopata H., Lopata A.: Dynamic Analysus of a BWE Load Boom. Continous Surface Mining Trans Tech Publications, 1987
- [3] Lopata A.: Określenie procesów stacjonarnych stochastycznych w szerszym sensie jako wektorów przedziałowych na przykładzie analizy obciążeń zewnętrznych koparki kołowej, Mechanika, t. 19, z. 3, 2000
- Badanie bezpieczeństwa maszyn podstawowych w czasie prowadzenia robót strzałowych. Prace badawcze KGO, Kraków 2002
- [5] Optymalizacja parametrów robót strzelniczych w KWB Bełchatów z uwzględnieniem ochrony wskazanych obiektów. Prace badawcze KGO, Kraków 1999
- [6] PN-85/B-02170

Zatwierdzono do druku: 17.09.2004 r.