

# Analiza możliwości zwiększenia masy ładunku MW odpalanego w serii w zadanych warunkach geologiczno-górnicych

## Analysis of blasting explosive charge weight improvement in defining mining and geological conditions



*Dr inż. Józef Pyra<sup>\*)</sup>*



*Dr inż. Jan Winzer<sup>\*)</sup>*



*Dr inż. Anna Sołtys<sup>\*)</sup>*



*Mgr inż. Andrzej Biessikirski<sup>\*)</sup>*



*Mgr inż. Michał Dworzak<sup>\*)</sup>*

**Treść:** W artykule przedstawiono możliwości jakie daje nam wykonywanie robót strzałowych w oparciu o dokumentację na strzelanie doświadczalne. Głównym celem robót strzałowych doświadczalnych było zwiększenie całkowitej masy ładunku MW odpalanego w serii, z uwzględnieniem ochrony obiektów budowlanych. W wyniku przeprowadzonych strzelań określono możliwość zwiększenia ładunku  $Q_c$  o 50 %, który nie powoduje zwiększenia intensywności oddziaływania.

**Abstract:** The issue of conducting blasting works in accordance with the documentation of the experimental blasting is presented in this paper. The main purpose of the performed blasting works was to improve the explosive charge weight in one series. The issue of the protested structures which are situated in the close proximity to the open strip mine was taking into consideration during the analysis. According to the conducted blasting works it was possible to determine that the total explosive charge weight  $Q_c$  can be increase by 50 %. The increase of explosive mass by 50% will not cause any increase of ground vibration.

### **Słowa kluczowe:**

*roboty strzałowe, oddziaływanie na otoczenie, dopuszczalne ładunki MW*

### **Key words:**

*blasting works, impact on the environment, permissible charge weight*

<sup>\*)</sup> AGH w Krakowie

## 1. Wprowadzenie

Roboty strzałowe w dalszym ciągu są podstawową metodą pozyskiwania znacznej ilości surowca skalnego. Wynika to przede wszystkim z faktu, iż są relatywnie tanie w porównaniu do urabiania mechanicznego, zwłaszcza jeżeli weźmie się pod uwagę efektywność wykonywanych robót. Poza tym większość surowców skalnych można urabiać jedynie z użyciem materiałów wybuchowych (MW). Odkrywkowe zakłady górnicze dążą do obniżenia kosztów prowadzonej eksploatacji, aby produkt końcowy był jak najbardziej konkurencyjny na rynku. Jednym ze sposobów obniżenia ceny produktu końcowego jest obniżenie nakładów na wykonywanie robót wiertniczo-strzałowych, a to można osiągnąć między innymi poprzez zwiększenie masy ładunku całkowitego odpalanego w serii ( $Q_c$ ). Zwiększenie masy ładunku MW odpalanego w serii, zmniejsza częstość wykonywanych robót strzałowych, a tym samym zmniejsza się liczba serii oddziałujących na otaczającą zabudowę. Zwiększenie masy ładunku całkowitego MW nie zawsze jest możliwe ze względu na lokalne warunki geologiczno-górnice. Pierwszym krokiem w celu sprawdzenia tej możliwości jest dokładne przeanalizowanie budowy geologicznej w miejscu wykonywania robót strzałowych, oraz w miejscu posadowienia chronionych obiektów budowlanych. Mając wyniki pomiarów drgań w otoczeniu i zaopiniowaną dokumentację na strzelanie doświadczalne można podjąć próby, które dadzą odpowiedź co do możliwości zwiększenia  $Q_c$ . W tym celu w dalszej części artykułu przedstawiono sposób realizacji tego zadania w określonych warunkach geologiczno-górnicych i osiągnięte efekty.

## 2. Charakterystyka warunków geologiczno-górnicych

Złoże na przykładzie którego opisano możliwości zwiększenia masy  $Q_c$  eksploatowane jest dwoma poziomami wydobywczymi. Eksploatacja w poziomie I sięga do rzędnej około 175 m n.p.m., a drugi poziom do rzędnej 160 m n.p.m.

Złoże zlokalizowane jest w części mezozoicznego „pierścienia” Gór Świętokrzyskich. Obrzeżenie to w tej części graniczy z transgresywnie nasuniętymi utworami kredy górnej.

Samo złoże obejmuje swoją objętością utwory górnej jury o dużym zróżnicowaniu litologicznym. Zgodnie z dokumentacją geologiczną złoże wyróżnia się w nim trzy kompleksy o różnym wykształceniu litologiczno-facjalnym, i co istotne z punktu widzenia dalszego procesu produkcyjnego, odmiennym składzie chemicznym. Począwszy od najstarszego występują: kompleks wapienny, kompleks wapienno-marglisty, kompleks marglisto-wapienny.

Powyższy podział zbudowany został w oparciu o kryterium zawartości CaO.

Złoże wykazuje dosyć regularną zmienność wykształcenia litologicznego oraz dużą zmienność składu chemicznego w kierunkach równoleżnikowych, a także wraz z głębokością.

Dość regularną zmienność wykształcenia litologicznego komplikują zjawiska krasowe, które tworzą formy szczelinowe, kieszeniowe, lub leje. Krasowienie objęło wszystkie kompleksy występujące w złożu. Zjawiska krasowe związane są z licznymi występującymi w tym terenie dyslokacjami tektonicznymi, w obrębie których uprzywilejowane były procesy erozji i wietrzenia. Wyerodowane partie osadów węglanowych zastąpione zostały przez osady trzeciorzędowe w postaci piasków kwarcowych i glaukonitowych, ilów lub glin, bądź też osady czwartorzędowe w postaci zwietrzliny marglisto-wapiennej [6].

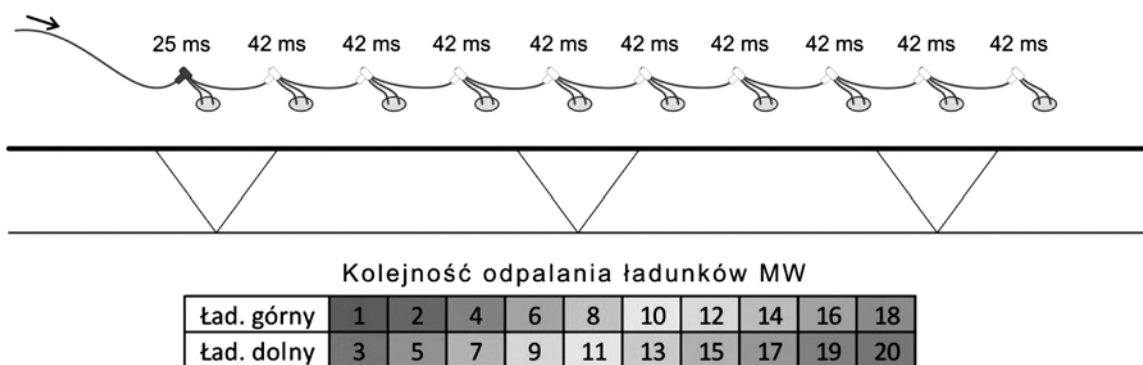
Jak można zauważyć budowa geologiczna jest skomplikowana, dlatego w celu zawężenia zmiennych zdecydowano się na wykonywanie serii doświadczalnych tylko w surowcu niskim w części południowej złoża. W celu określenia możliwości zwiększenia masy  $Q_c$ , przygotowano i odpalono sześć serii o parametrach przedstawionych w tabeli 1.

Jako materiał wybuchowy zastosowano MW emulsyjny luzem (serie I ÷ IV) i MW typu ANFO (serie V i VI). Naboje udarowe sporządzano z pobudzaczy trotylowych, które inicjowano zapalnikami nieelektrycznymi. Zwraca uwagę fakt, że MW typu ANFO jest materiałem o mniejszej gęstości, przez co w otworze o zbliżonych parametrach (długość, średnica), mieści się około 70 % masy MW emulsyjnego.

Ze względów technologicznych, część serii była odpalana z konstrukcją ładunku ciągłego w otworze, a część z konstrukcją

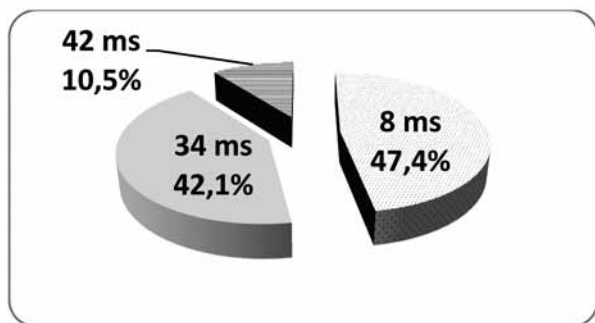
**Tablica 1. Zestawienie parametrów serii doświadczalnych**  
**Table 1. Blasting parameters**

Parametr	Oznaczenie	Seria I	Seria II	Seria III	Seria IV	Seria V	Seria VI
Długość otworu	L, m	16,8	12,5	12,4	16,4	13,0	17,5
Średnica otworu	d, mm	130	130	130	130	130	130
Rozmieszczenie otworów	1 - jednoszeregowe	1	1	1	1	1	1
Konstrukcja ładunku	c - ciągły, d - dzielony	d	c	c	d	c	d
Liczba otworów w serii	n, szt.	10	15	15	15	15	15
Zabój	z, m	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Odległość między otworami	a, m	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
Masa ładunku otworu	$Q_1$ , kg	143,0	138,5	149,8	161,0	103,3	104,3
Masa ładunku górnego	$Q_g$ , kg	71,5	-	-	80,5	-	52,15
Masa ładunku dolnego	$Q_d = Q_c$ , kg	71,5	-	-	80,5	-	52,15
Ładunek serii	$Q_c$ , kg	1430	2077,5	2247,5	2415	1550,0	1565,0
Rodzaj systemu inicjowania	N - nieelektryczny, T - czas zastosowanego konektora, ms	N, T = 42	N, T = 67	N, T = 33	N, T = 42	N, T = 42	N, T = 42



Rys. 1. Schemat połączenia nieelektrycznej sieci strzałowej w serii I wraz z kolejnością odpalanych ładunków  
 Fig. 1. Blasting pattern with a charge firing sequence in the first series

cją ładunku dzielonego. W przypadku konstrukcji ładunku dzielonego poszczególne ładunki w otworze odpalane były z różnym opóźnieniem milisekundowym (ładunek górny 450 ms, ładunek dolny 500 ms). Zastosowano schemat połączeń przedstawiony na rysunku 1. W efekcie uzyskano rzeczywiste opóźnienia milisekundowe, których procentowy rozkład pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Rozkład procentowy rzeczywistych opóźnień milisekundowych dla połączenia przedstawionego na rys. 1

Fig. 2. Percentage distribution of individual millisecond time delay for the blasting pattern which was presented in fig 1

W czasie odpalanych serii wykonywane były pomiary intensywności drgań na najbliższych obiektach budowlanych. Przykładowe wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 2, w której oprócz wielkości ładunków i odległości stanowisk pomiarowych, podano parametry zarejestrowanych drgań (prędkości  $u_z, u_x, u_y$ , odpowiadające im częstotliwości  $f_z, f_x, f_y$  na poszczególnych składowych oraz wektor przestrzenny  $u_{zy}$ ).

### 3. Analiza wyników pomiarów terenowych

Dla zadanych warunków geologiczno-górniczego wyznaczone były zależności opisujące propagację drgań wzbudza-

nych robotami strzałowymi [1-5]. Wyprowadzone równania propagacji dla badanego surowca mają postać:

$$u_z = 4458 \cdot \rho^{2,261} \tag{1}$$

$$u_c = 123,6 \cdot \rho^{2,189} \tag{2}$$

Przyjmując próg szkodliwości (wartości krytyczne prędkości drgań) dla podłoża obliczono dopuszczalne wartości parametru  $r$  (ładunku względnego):

$$\rho_z = 0,0610 \tag{3}$$

$$\rho_c = 0,2863 \tag{4}$$

Graficznie analizę poziomu intensywności drgań dla poszczególnych serii przedstawiono na rysunkach 3 i 4, gdzie zestawiono wielkości parametrów  $\rho[7, 8]$  oznaczone:

- $\rho_{dop}$  - kolor czarny,
- $\rho_r$  - kolor szary,
- $\rho_k$  - kolor biały.

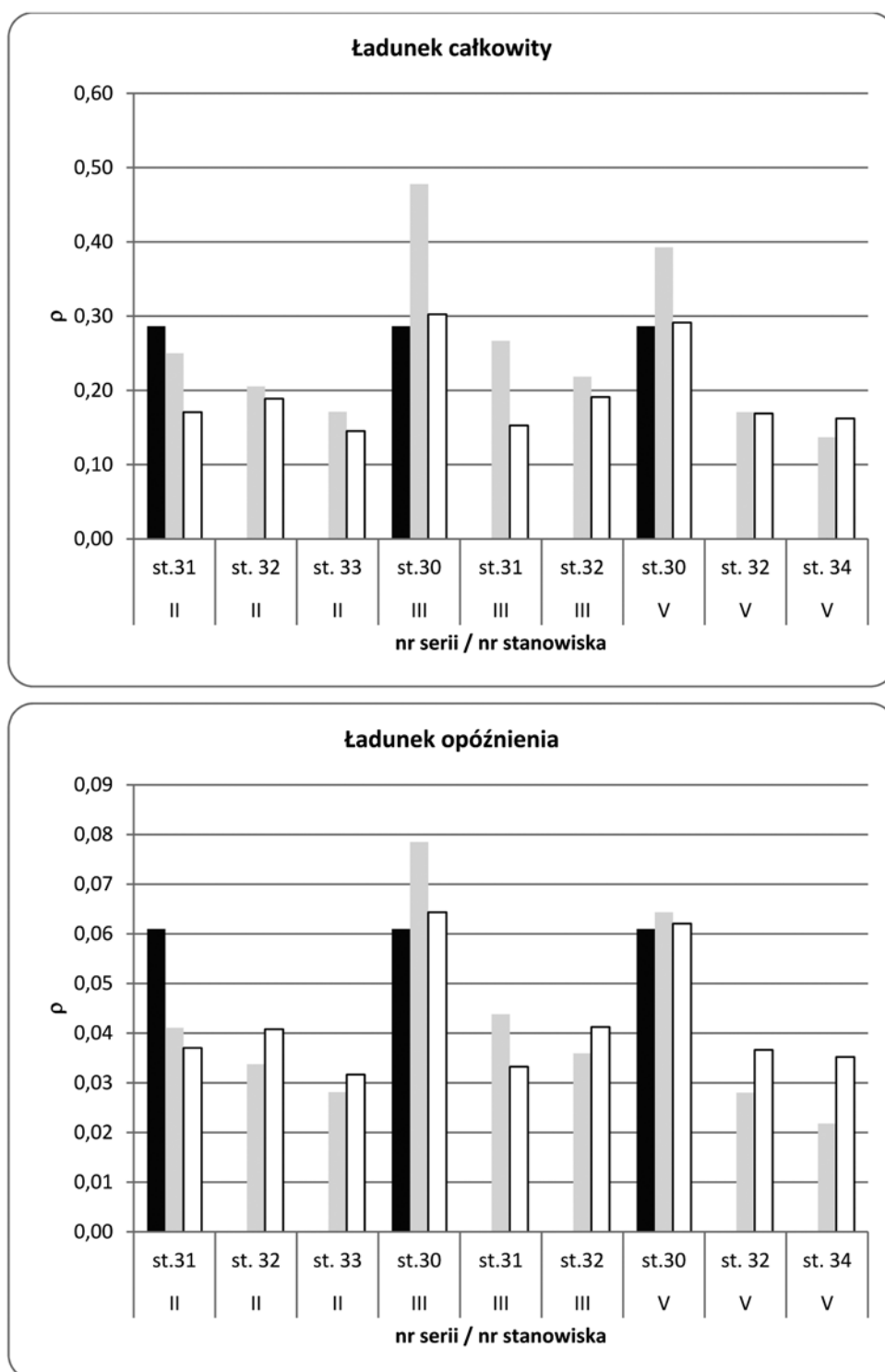
Dla lepszej orientacji serie na rysunkach zostały podzielone na rysunku 3 serie z ładunkiem ciągłym i na rysunku 4 z ładunkiem dzielonym.

Z analizy rysunku 3 wynika, że:

- roboty strzałowe zostały wykonane zgodnie z ograniczeniami oraz dokonanyymi założeniami, co do zwiększenia masy ładunku MW w serii i na opóźnienie milisekundowe, przekroczenia na najbliższym stanowisku wynikają ze zwiększonej masy ładunku MW,
- porównując wysokość słupków brązowego i zielonego należy stwierdzić, że w większości przypadków zachodzi zgodność wartości zmierzonych z prognozowanymi (z wyjątkiem serii V),
- wyraźnie przekroczenie masy ładunku całkowitego MW w serii otworów nie powoduje zwiększonego efektu sejsmicznego.

Tablica 2. Wyniki pomiarów intensywności drgań parasejsmicznych  
 Table 2. Results of the intensity of ground vibrations

Lp	Q <sub>c</sub> , Q <sub>z</sub>	Stano- wisko	Odleg- łość	Prędkość drgań, mm/s			Częstotliwość, Hz			Wektor, mm/s
				u <sub>z</sub>	u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub>	f <sub>z</sub>	f <sub>x</sub>	f <sub>y</sub>	
Record	n									u <sub>zy</sub>
v597.4159	1430,0	st.31	729	0,72	1,36	0,99	17,0	18,0	15,8	1,602
251.626	143,0	st. 32	822	1,09	1,14	0,81	27,0	18,6	27,6	1,334
v595.4129	71,5	st. 32'	820	0,61	0,49	0,76	12,5	13,5	15,1	0,963
v633.1537	10	st. 32''	820	1,00	0,65	0,77	20,1	7,1	7,1	1,022
v636.2340		st. 33	910	1,05	0,93	0,87	28,8	10,1	17,6	1,203

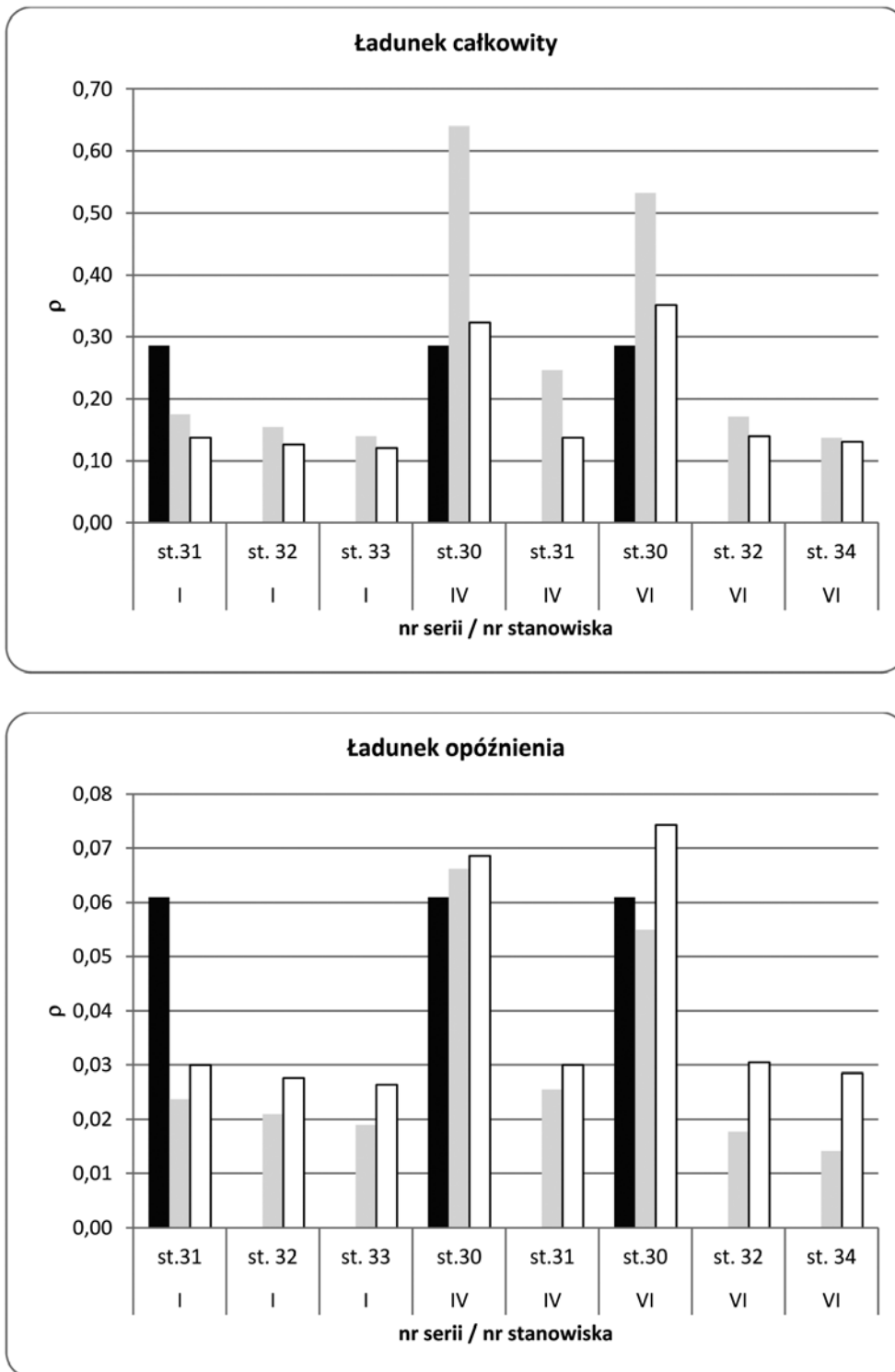


Rys. 3. Ocena intensywności drgań – serie II, III i V – ładunek ciągły

Fig. 3. Ground vibrations assessment – the 2nd, 3rd and 4th series – continuous charge

- Na podstawie analizy rysunku 4 można stwierdzić, że:
  - podobnie jak w przypadku serii z ładunkiem ciągłym roboty strzałowe zostały przeprowadzone zgodnie z ograniczeniami przy założeniu istotnego zwiększenia masy MW użytego w serii otworów,
  - mimo zwiększenia w seriach IV i VI masy MW o 50% nie stwierdzono istotnego podniesienia intensywności drgań,
  - w przypadku ładunku na opóźnienie widać wyraźnie, że wartości zmierzone (słupki zielony) są istotnie większe od

wartości prognozowanych (słupki brązowy). Wynika to z faktu, że ładunek w otworze został podzielony na dwie części odpalane w różnym czasie. Jest rzeczą zupełnie zrozumiałą, że inaczej pracuje MW w ciągłej kolumnie, a inaczej w kolumnie podzielonej. Dlatego też kontrolnie sprawdzono parametry  $r$  dla ładunku w otworze (rys. 5). Jak widać zachodzi silne zbliżenie wartości zmierzonych i prognozowanych.



Rys. 4. Ocena intensywności drgań – serie I, IV i VI – ładunek dzielony  
 Fig. 4. Ground vibrations assessment – the 1st, 4th and 6th series – divided charge

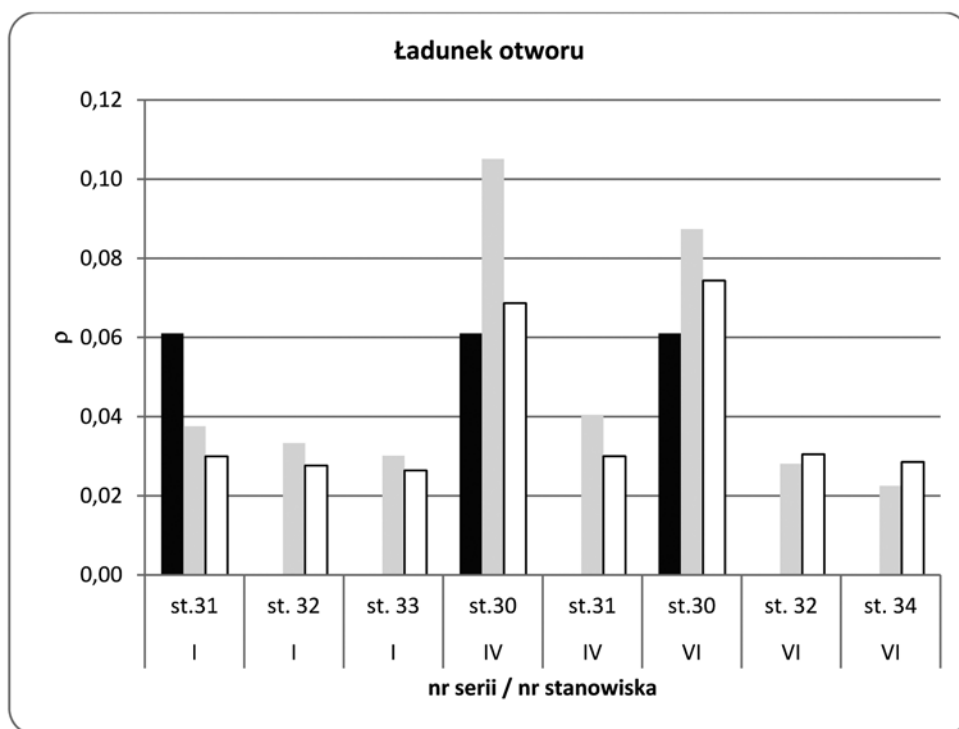
Z rysunków 3 i 4 wynika jednoznacznie, że zwiększenie masy MW ładunku całkowitego w serii (przez zwiększenie liczby otworów w serii) nie powoduje istotnego podniesienia intensywności wzbudzanych drgań.

Zwraca uwagę fakt, że porównywalny jest poziom intensywności drgań w seriach, w których zastosowano MW emulsyjny (serie I do IV) i MW ANFO (serie V i VI).

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono wyniki pomiarów dla poszczególnych serii na tle wcześniejszych pomiarów i wyprowadzonego równania propagacji. Linia przerywaną

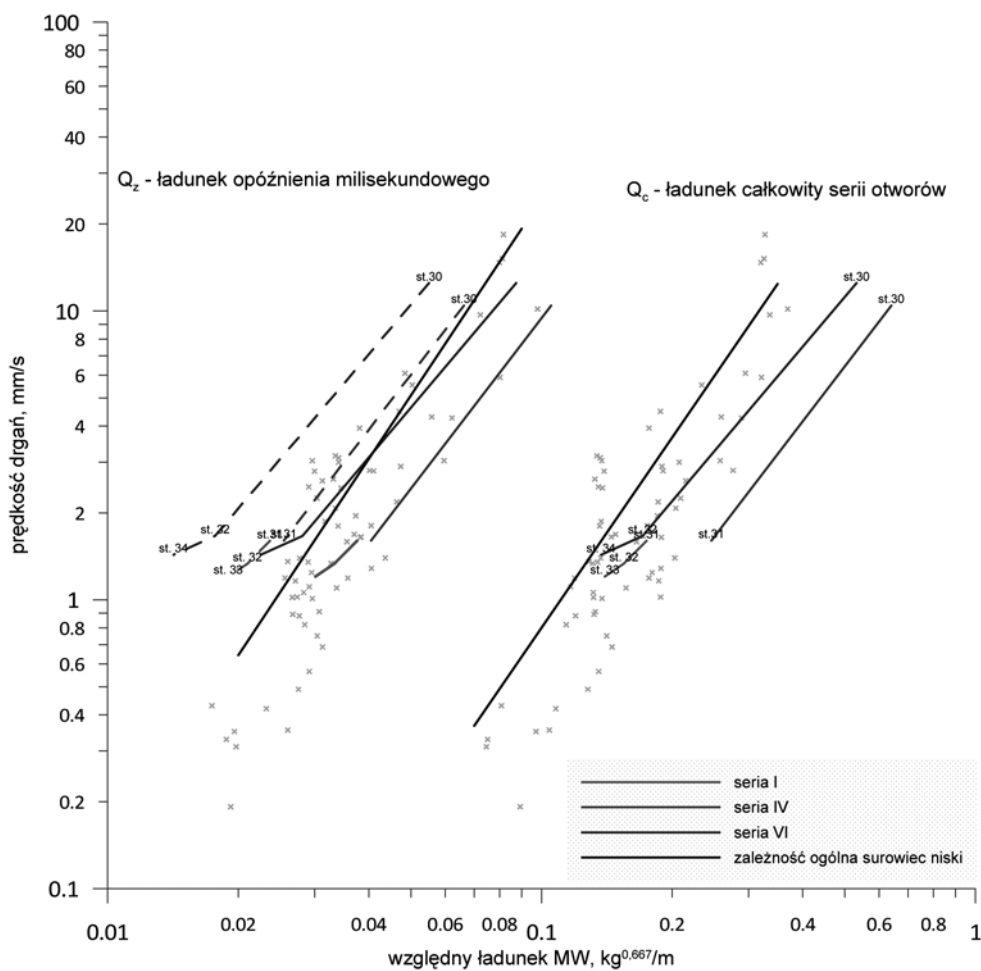
zaznaczono parametr  $r$  obliczany z uwzględnieniem masy ładunku opóźnienia milisekundowego, a linią ciągłą dla masy ładunku w otworze (suma ładunków górnego i dolnego).

Z rysunków 6 i 7 można wnioskować, że wyniki pomiarów utrzymują się na ustalonym poziomie (punkty pomiarowe leżą w zakresie wcześniejszych pomiarów). Położenie punktów dla poszczególnych serii potwierdza spostrzeżenia z przedstawionej powyżej analizy kontrolnej. Zwiększenie masy całkowitej ładunku MW odpalanego w serii nie wpływa na podniesienie intensywności drgań.



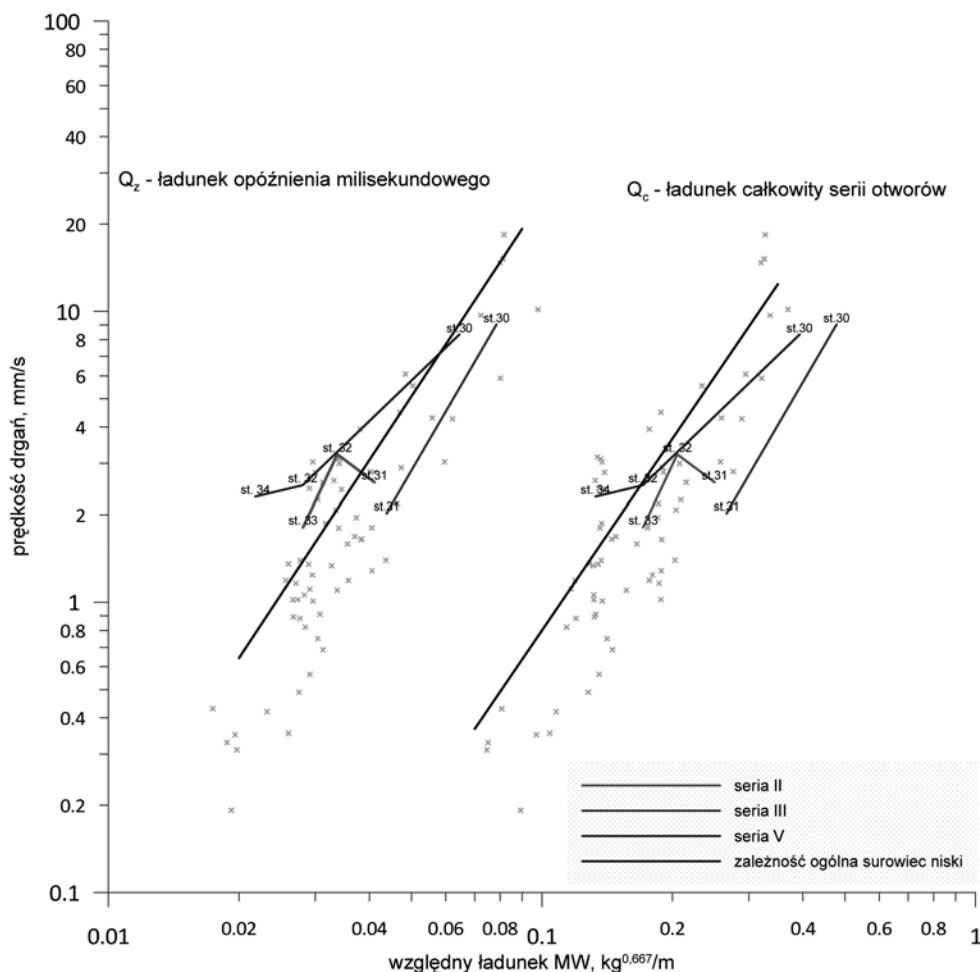
Rys. 5. Ocena intensywności drgań – serie I, IV i VI (ładunek dzielony)

Fig. 5. Ground vibrations assessment – the 1st, 4th and 6th series – divided charge



Rys. 6. Ocena intensywności drgań – serie I, IV i VI (ładunek dzielony)

Fig. 6. Ground vibrations assessment – the 1st, 4th and 6th series – divided charge



Rys. 7. Ocena intensywności drgań – serie II, III i V (ładunek ciągły)

Fig. 7. Ground vibrations assessment – the 2nd, 3rd and 4th series – continuous charge

Z porównania położenia linii łączącej wyniki pomiarów można wnioskować również, że najniższy poziom drgań prezentują serie III i IV.

Do przeciwnych wniosków można dojść analizując położenie linii dla serii V (brązowa linia przerywana na rys. 6) – pozorny wzrost intensywności drgań. W tym przypadku użyto MW typu ANFO o znacznie mniejszej gęstości, stąd ładunek, który mieścił się w otworze stanowił około 70 % masy ładunku przy MW emulsyjnym. Obniżenie masy ładunku  $Q_z$ , przy tej samej odległości, powoduje zmniejszenie wartości ładunku zredukowanego  $r$ , a w konsekwencji przesunięcie wyników pomiarów w lewo wzdłuż osi poziomej, co sugeruje, że przy mniejszych ładunkach uzyskujemy tą samą intensywność drgań.

#### 4. Podsumowanie

Analiza wykonanych pomiarów wykazała, że drgania wzbudzone w czasie wykonanych doświadczalnych robót strzałowych nie stanowią zagrożenia dla obiektów budowlanych.

Stwierdzono jednoznacznie, że zwiększenie całkowitego ładunku MW w serii o 50 % nie powoduje istotnego podniesienia intensywności drgań. Oznacza to, że wydłużenie serii przez zwiększenie liczby otworów jest możliwe do stosowania w praktyce. Zastosowanie mechanicznego załadunku

w zdecydowanej mierze poprawia bezpieczeństwo i skraca czas ładowania otworów strzałowych. W niesprzyjających warunkach (duże zawornienie ośrodka skalnego) może dochodzić do zaciskania ładunków MW w otworze, co skutkuje brakiem ciągłości w kolumnie ładunku, a w konsekwencji nieprawidłowym procesem detonacji MW, co wpływa na efekty robót strzałowych.

Wykonywanie robót strzałowych na podstawie dokumentacji na strzelanie doświadczalne, daje możliwości korygowania parametrów wykonywanych robót strzałowych w szerszym zakresie, niż dopuszcza nam to plan ruchu, czy zwykła dokumentacja strzałowa. Dzięki temu istnieje możliwość poprawy efektywności robót strzałowych, przy jednoczesnej kontroli oddziaływania na otoczenie.

*Praca zrealizowana w ramach badań statutowych nr 11.11.100.597*

#### Literatura

1. Biessikirski R., Winzer J.: Działalność profilaktyczna w kopalniach odkrywkowych – Oddziaływanie robót strzałowych na otoczenie. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 10/98/2002.
2. Biessikirski R., Sieradzki J., Winzer J.: Strefa drgań parasejsmicznych wzbudzonych robotami strzałowymi prowadzonymi w odkrywkowych

- zakładach górniczych.. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 4/164/2008.
3. *Biessikirski R., Winzer J., Pyra J.*: O ocenie szkodliwego wpływu drgań wzbudzanych robotami strzałowymi na budynki w otoczeniu. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 5/165/2008.
  4. *Ciesielski R., Maciąg E., Ryncarz M., Tatara T.*: Ocena szkodliwości działania wstrząsów górniczych na niskie budynki. Wpływy sejsmiczne i parasejsmiczne na budowlę. Kraków, 1997.
  5. *Onderka Zb., Sieradzki J., Winzer J.*: Technika strzelnicza 2 - Wpływ robót strzelniczych na otoczenie kopalń odkrywkowych – UWN-DAGH Kraków 2003.
  6. *Pyra J., Cichocki Zb., Mazur I., Soltys A., Winzer J.*: Wpływ budowy geologicznej złoża na równanie propagacji na przykładzie kopalni Gliniany – Grupy Ożarów S.A. —Przeгляд Górnicy; ISSN 0033-216X. — 2014 t. 70 nr 10, s. 46÷51.
  7. *Winzer J., Sieradzki J., Soltys A.*: – Dokumentowanie oddziaływania robót strzałowych na otoczenie kopalń odkrywkowych. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 4/164/2008.
  8. *Winzer J.*: Przyczynek do dyskusji nad oddziaływaniem drgań na obiekty otoczenia kopalń odkrywkowych. Przeгляд Górnicy 2/2008.

---

## NACZELNY REDAKTOR

w zeszycie 1-2/2010 Przeglądu Górniczego, zwrócił się do kadr górniczych z zachętą do publikowania artykułów ukierunkowanych na wywołanie

## POLEMIKI – DYSKUSJI.

Trudnych problemów, które czekają na rzetelną, merytoryczną wymianę poglądów – jest wiele! Od niej – w znaczącej mierze – zależy skuteczność praktyki i nauki górniczej w działaniach na rzecz bezpieczeństwa górniczego oraz postępu technicznego i ekonomicznej efektywności eksploatacji złóż.

**Od naszego wysiłku w poszukiwaniu najlepszych rozwiązań  
– zależy przyszłość polskiego górnictwa!!!**