

Kazimierz PODGÓRSKI, Henryk KLETA, Stanisław DUŻY
Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni
Politechniki Śląskiej

WPLYW ROBÓT STRZAŁOWYCH NA STATECZNOŚĆ OBUDOWY SZYBU

Streszczenie. Oddziaływanie robót strzałowych prowadzonych w niedużej odległości od szybu na jego obudowę powoduje powstanie złożonego stanu jej obciążenia, które trudne jest do opisanego w miarę prostymi formułami matematycznymi. Z tego względu przyjęto uproszczony model obliczeniowy, w którym założono, że obiektywne obliczenie rozkładu naprężeń w obudowie szybu można uzyskać w oparciu o rozwiązania stosowane w obowiązujących aktach normatywnych i wytycznych dotyczących projektowania obudowy wyrobisk górnictwowych.

INFLUENCE OF SHOOTING ON STABILITY OF SHAFT LINING

Summary. Influence of shooting conducted at small distance from shaft, on its lining results in arising of a complex load which is hard to describe by relatively simple mathematical formulas. A simplified calculation model was accepted. It was assumed that objective calculation of stress pattern in shaft lining can be obtained on the basis of a solution applied in obligatory normative files and instructions concerning designing of lining headings.

ВЛИЯНИЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ КРЕПИ ШАХТНОГО СТВОЛА

Резюме. Проведение взрывных работ вблизи шахтного ствола вызывает в его крепи сложное напряженное состояние, которые очень трудно описать более или менее простыми математическими формулами. Поэтому была принята упрощенная расчетная модель, в которой принимается, что объективный расчет распределения напряжений в крепи ствола можно получить, используя решения, предвиденные обязывающими нормами проектирования крепи горных выработок.

1. WPROWADZENIE

Szyby są wyrobiskami kopalni o bardzo długim okresie użytkowania. Bardzo często wykonane są przed uruchomieniem wydobywania w kopalni i użytkowane są praktycznie do końca istnienia kopalni. Stan taki powoduje, że w trakcie istnienia szybów bardzo często drażone są wyrobiska pomocnicze przechodzące w ich bezpośrednim sąsiedztwie, a czasami drażone są dodatkowe wyrobiska łączące szyb z innymi wyrobiskami. W takiej sytuacji nieunikniony jest fakt prowadzenia robót górniczych, w tym również robót strzałowych, w bezpośrednim sąsiedztwie szybu. Prowadzenie robót górniczych w górotworze powoduje, że zachwiana zostaje równowaga i tworzą się strefy zwiększonych lub pomniejszonych naprężeń i deformacji. Przyczyną zmian wielkości i rozkładu naprężeń w górotworze może być nie tylko wykonanie wyrobiska lub eksploatacja złoża kopaliny, ale również wstrząs lub drgania wywołane m.in. robotami strzałowymi. Zagadnienie wpływu robót strzałowych prowadzonych w niedużej odległości od istniejącego już wyrobiska na jego obudowę nie jest dostatecznie rozwiązane, stąd w pracy podjęto próbę określenia oddziaływania robót strzałowych prowadzonych w bezpośrednim sąsiedztwie szybu na jego obudowę opierając się na przyjętym rozkładzie drgań górotworu i obudowy.

2. CHARAKTERYSTYKA PROCESÓW TOWARZYSZĄCYCH POWSTAJĄCYCH W WYNIKU PROWADZENIA ROBÓT STRZAŁOWYCH

Stosowanie robót strzałowych do urabiania skał w przodku drażonego wyrobiska powoduje, że otaczający górotwór narażony jest na oddziaływanie wstrząsu i drgań powstałych w wyniku detonacji określonego ładunku materiałów wybuchowych. Praca wyzwolona w wyniku detonacji materiału wybuchowego powoduje w bezpośrednim otoczeniu otworu strzałowego powstanie strefy miażdżenia, strefy spękań i strefy odkształceń sprężystych. Skała znajdująca się w obrębie stref miażdżenia i spękań podlega głównie urabianiu tworząc wyłom wyrobiska.

W bezpośrednim sąsiedztwie wyłomu wyrobiska pozostaje część strefy spękań, która utrzymuje się razem ze skałami niespękanymi i przed opadnięciem do wyrobiska jest zabezpieczana za pomocą obudowy.

W procesie powstawania strefy spękań pod wpływem działania materiału wybuchowego występuje fala odkształceń sprężystych, która rozchodzi się w górotworze i jest odczuwalna w postaci wstrząsów i drgań w miejscach zlokalizowanych do pewnej odległości od źródła wybuchu. Wielkość oraz zasięg drgań i wstrząsów powstałych w wyniku robót strzałowych zależy od energii wybuchu oraz od rodzaju i własności skał otaczających wykonywane wyrobisko, zaś energia wybuchu będzie zależała od rodzaju i ilości detonowanego materiału wybuchowego.

Powstająca w wyniku robót strzałowych fala rozprzestrzenia się w górotworze ulegając procesowi tłumienia, który zależy w głównej mierze od własności ośrodka. Drgania te przenoszone przez skały obejmują również wyrobiska znajdujące się w ich zasięgu narażając je na nowe jakościowo obciążenia i deformacje, które zwykle nie były uwzględniane na etapie projektowania danego wyrobiska.

3. OKREŚLENIE WPŁYWU WSTRZĄSÓW DRGAŃ GÓROTWORU W WYNIKU ROBÓT STRZAŁOWYCH NA OBUDOWĘ SZYBU

Oddziaływanie robót strzałowych prowadzonych w niedużej odległości od szybu na jego obudowę powodują powstanie złożonego stanu jej obciążenia, które trudne jest do opisania w miarę prostymi formułami matematycznymi możliwymi do powszechnego wykorzystywania. Z tego względu przyjęto uproszczony model obliczeniowy, w którym założono, że obiektywne obliczenie rozkładu naprężeń w obudowie szybu można uzyskać opierając się na rozwiązaniach stosowanych w obowiązujących aktach normatywnych i wytycznych dotyczących projektowania obudowy wyrobisk górniczych.

3.1. Określenie prawdopodobnej wielkości energii działającej na obudowę szybu

Aby określić prawdopodobną wielkość energii działającej na obudowę szybu w wyniku prowadzenia robót strzałowych w niedużej odległości od szybu, można rozpatrzyć działanie impulsu dynamicznego, który wywołuje powstanie ilości ruchu równej, zgodnie z II prawem Newtona, iloczynowi masy ośrodka i wektora prędkości. Wówczas składowe wektora przemieszczenia ośrodka przedstawiają równania:

$$\begin{aligned} u &= -\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{S}{\rho} \right) \\ v &= -\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{S}{\rho} \right) \\ w &= -\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{S}{\rho} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

Przyjmując, że pole prędkości przy wybuchu posiada potencjał równy:

$$\Phi = \frac{S}{\rho} \quad (2)$$

wówczas równanie (1) przyjmie postać:

$$\begin{aligned} u &= -\frac{\partial \Phi}{\partial x} \\ v &= -\frac{\partial \Phi}{\partial y} \\ w &= -\frac{\partial \Phi}{\partial z} \end{aligned} \quad (3)$$

Zakładając, że działanie wybuchu materiałów wybuchowych w ośrodku nieograniczonym rozprzestrzeni się w ograniczonym obszarze, a w nieskończenie dużej odległości od ośrodka wybuchu jego działanie jest nieskończenie małe, wówczas $\Phi = 0$.

Zakładając również warunek ciągłości ośrodka oraz dodatkowo, że całkowita energia kinetyczna ośrodka winna być równa energii wybuchu Q , można otrzymać:

$$Q = \frac{\rho}{2} \Phi \int \frac{\partial \Phi}{\partial n} dF \quad (4)$$

Rozpatrując wybuch sferycznego ładunku o promieniu R w ośrodku nieograniczonym, wektor prędkości jest skierowany po promieniu, a wielkość wektora prędkości jest funkcją odległości D od geometrycznego środka wybuchu.

Wykonując całkowanie po powierzchni otrzymujemy pole prędkości określone wzorem:

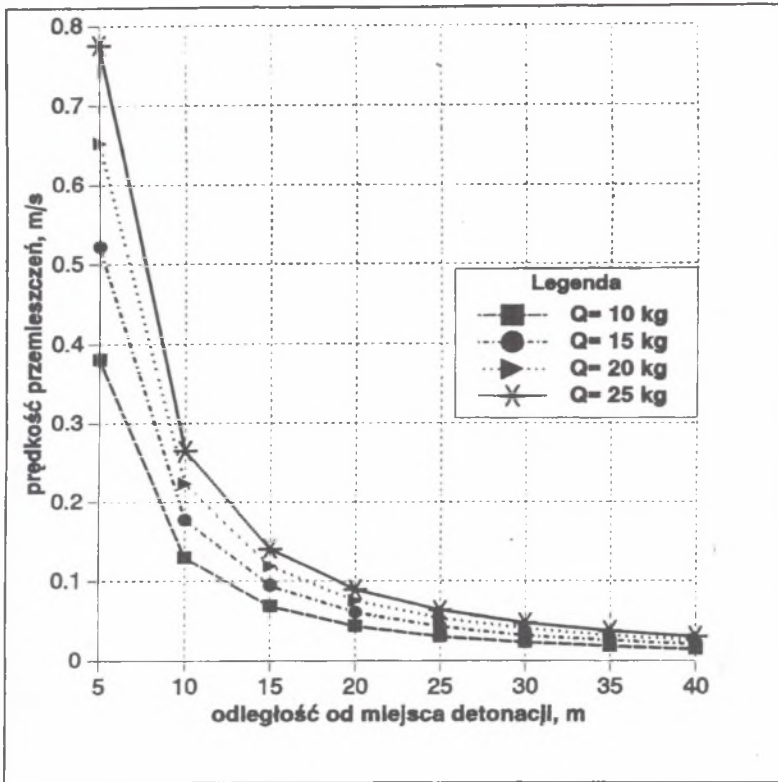
$$u = \frac{1}{r^2} \sqrt{\frac{RQ}{2\pi\rho}} \quad (5)$$

gdzie:

R - promień ogniska wybuchu.

Z przedstawionej powyżej zależności wynika, że prędkość przemieszczeń skał, spowodowana detonacją materiału wybuchowego, jest odwrotnie proporcjonalna do odległości od ogniska wybuchu, co przedstawia rys. 1.

Uwzględniając poczynione powyżej założenia oraz analizując szereg znanych z literatury zależności opisujących prędkość przemieszczeń skał w funkcji odległości od ogniska wybuchu można zauważyć, że zostały one określone dla przypadków większych odległości od otworów



Rys.1. Rozkład prędkości przemieszczeń masywu skalnego od wpływu robót strzałowych dla wybranych wielkości masy detonowanego materiału wybuchowego

Fig.1. Distribution of displacement velocities of the rock mass from the effect of the shooting operations for the selected quantities of detonated material

strzałowych. Z tych względów można się oprzeć na zależności przyjętej przez A. Kidybińskiego [3] w postaci:

$$v = 2.64 \left(\frac{3.27R}{\sqrt{2.2Q}} \right)^{-1.55} \quad (6)$$

gdzie:

- v - prędkość przemieszczeń skał,
- R - odległość od miejsca robót strzałowych,
- Q - masa MW do wykonania jednego zabioru.

Energię kinetyczną cząstek skał w otoczeniu przodka drążonego wyrobiska można obliczyć z zależności:

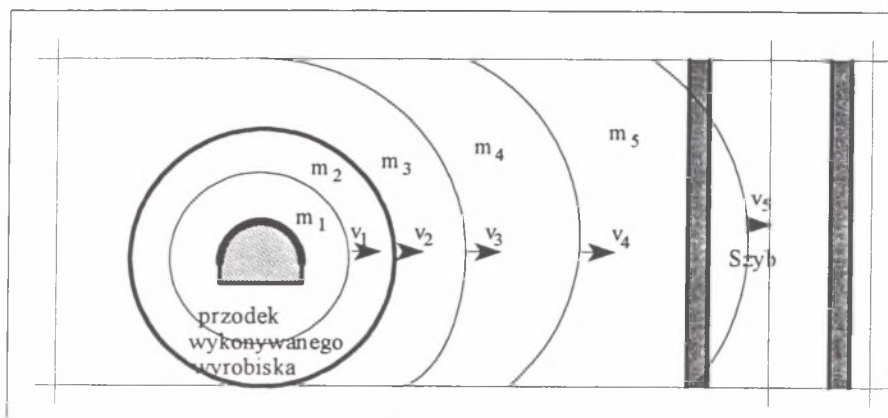
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (7)$$

gdzie:

m - masa ośrodka skalnego będąca w ruchu,

v - prędkość cząstek ośrodka skalnego.

Schemat obliczeniowy rozkładu prędkości i energii kinetycznej w rejonie przodka drążonego wyrobiska przedstawiono na rys. 2.



Rys.2.Schemat obliczeniowy rozkładu energii kinetycznej w rejonie przodka drążonego wyrobiska

Fig.2.Calculation diagram of the kinetic energy distribution in the face region of the excavation driven

3.2. Określenie rozkładu naprężeń w obudowie szybu w warunkach oddziaływania robót strzałowych

Przyjmując, że energia kinetyczna fali sejsmicznej pochodzącej od wybuchu MW w przodku drążonego wyrobiska zostaje zamieniona na energię deformacji objętościowej pierścienia obudowy szybu, można napisać:

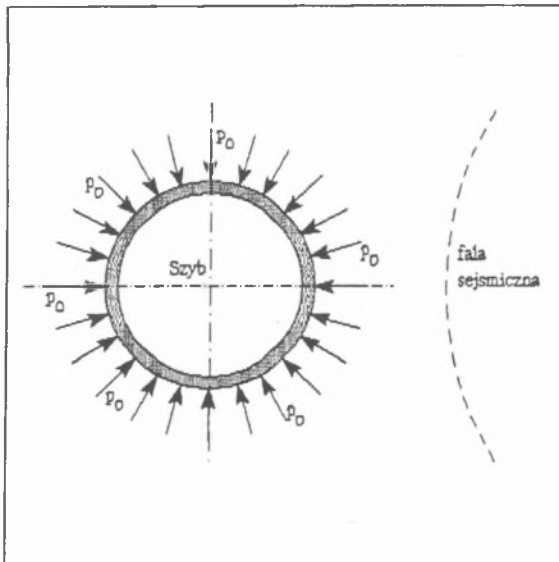
$$E_v = \frac{1-2\nu}{3E}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 \quad (8)$$

gdzie:

E_v - energia deformacji objętościowych pierścienia obudowy szybu,

- E_v - energia deformacji objętościowych pierścienia obudowy szybu,
 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - naprężenia w pierścieniu obudowy,
 E - moduł sprężystości obudowy,
 ν - współczynnik Poissona obudowy.

Przyrównując wartości obliczonych energii kinetycznych od robót strzałowych (równ. (7)) z energią odkształcenia objętościowego pierścienia obudowy szybu (równ. (8)) można uzyskać warunek współpracy pierścienia obudowy z górotworem, a tym samym ekwiwalentną wartość obciążenia obudowy szybu (rys. 3).



Rys.3. Schemat obliczeniowy współpracy obudowy szybu z górotworem w warunkach oddziaływania robót strzałowych

Fig.3. Calculation diagram of the cooperation of the shaft and orogen under shooting conditions

Wykorzystując zależności rozwiązania Lamé'a oraz określone wcześniej ekwiwalentne wartości obciążenia obudowy szybu od oddziaływania robót strzałowych można określić wielkości naprężeń obwodowych w obudowie szybu.

3.3. Ocena stateczności obudowy szybu w warunkach oddziaływania robót strzałowych

Stateczność obudowy szybu w przekroju znajdującym się na określonej głębokości w warunkach oddziaływania robót strzałowych można określić z warunku wyężeniowego w postaci [8]:

$$\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} = (\sigma_{\theta 1} + \sigma_{\theta 2})k \leq R_{cb} \quad (9)$$

gdzie:

$\sigma_{\theta 1}$ - napężenie obwodowe w obudowie szybu wynikające z głębokości zalegania przekroju szybu,

$\sigma_{\theta 2}$ - napężenie obwodowe w obudowie szybu wynikające z oddziaływania robót strzałowych,

R_{cb} - wytrzymałość na ściskanie materiału obudowy,

k - współczynnik bezpieczeństwa.

4. PRZYKŁAD ANALIZY WPŁYWU ROBÓT STRZAŁOWYCH PROWADZONYCH W PRZEKOPIE WENTYLACYJNYM NA OBUDOWĘ SZYBU

Zastosowanie podanego powyżej sposobu określania oddziaływania robót strzałowych prowadzonych w niedużej odległości od szybu na stateczność jego obudowy można przedstawić na następującym przykładzie:

W rejonie Szybów Głównych Kopalni na poziomie 650 m drążony jest przekop wentylacyjny przebiegający w przybliżeniu równolegle do linii szybów. Najmniejsza odległość drążonego przekopu od jednego z szybów wynosi 20 m.

Drążony przy wykorzystaniu robót strzałowych przekop wentylacyjny na poziomie 650 m wykonywany był w obudowie stalowej ŁP-9 wykonanej z profilu V29 z zastosowaniem okładzin żelbetowych układanych ażurowo. Odstęp pomiędzy odrzwiami obudowy wynosił 0.60 m.

Zlokalizowany w najmniejszej odległości od drążonego wyrobiska szyb w rejonie poziomu 650 m wykonany jest w warstwach mułowców i piaskowców należących do warstw rudzkich. Szyb posiada obudowę jednowarstwową z betonu klasy B-15 o grubości 0.40 m.

Z uwagi na głębokość zalegania oraz rodzaj i własności skał otaczających szyb obciążenie obliczeniowe obudowy szybu na poziomie 650 m wg obowiązujących aktualnie norm [6] wynosiło:

$$p_o = 0.465 \text{ MPa}$$

Wykorzystując obliczone obciążenie obudowy szybu oraz dane charakteryzujące wykonaną obudowę szybu określono wielkość naprężeń obwodowych w obudowie szybu wykonanej z betonu B-15 o grubości 0.40 m, które wynoszą:

$$\sigma_{o1} = 5.358 \text{ MPa}$$

Przyjmując za dane wyjściowe wielkości materiału wybuchowego stosowanego do wykonania jednego zabioru w ilości 25 kg dla zabioru równego 1.3 m, 20 kg dla zabioru równego 0.8 m i 15 kg dla zabioru równego 0.6 m, wykonano obliczenia rozkładu prędkości przemieszczeń ośrodka skalnego, wielkości energii kinetycznej działającej na obudowę szybu, ekwiwalentnego obciążenia obudowy szybu oraz naprężeń obwodowych w obudowie szybu. Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Wyniki obliczeń wpływu robót strzałowych na obudowę szybu dla odległości przodka drążonego wyrobiska od szybu 20 m

| Wielkość zabioru | Prędkość przemieszcz. | Energia kinetyczna | Obciążenie obudowy | Naprężenia obwodowe |
|------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| [m] | v [m/s] | E_k [kJ/m] | p [MPa] | σ_{o2} [MPa] |
| 1.3 | 9.0 | 0.083 | 0.34 | 3.92 |
| 0.8 | 7.6 | 0.059 | 0.29 | 3.34 |
| 0.6 | 6.1 | 0.038 | 0.22 | 2.54 |

Uwzględniając naprężenia obwodowe w obudowie szybu pochodzące od robót strzałowych oraz wynikające z głębokości zalegania analizowanego przekroju szybu określa się sumaryczne wielkości naprężeń obwodowych ($\sigma_{o1} + \sigma_{o2}$), które wynoszą 9.28 MPa dla zabioru 1.3 m, 8.79 MPa dla zabioru 0.8 m oraz 7.92 MPa dla zabioru 0.6 m.

Przyjmując zaś warunek wytrzymałości w postaci (9) oraz wytrzymałość obudowy z betonu B-15 równą 7.3 MPa i współczynnik bezpieczeństwa można stwierdzić, że w przypadku

zabioru równego 1.3 m warunek stanu granicznego jest spełniony, co potwierdza nierówność:

$$7.39 \text{ MPa} > 7.3 \text{ MPa}$$

zaś w przypadku pozostałych zabiorów warunek stanu granicznego nie jest spełniony, co potwierdzają nierówności:

$$6.93 \text{ MPa} < 7.3 \text{ MPa} \text{ dla zabioru } 0.8 \text{ m}$$

oraz

$$6.31 \text{ MPa} < 7.3 \text{ MPa} \text{ dla zabioru } 0.6 \text{ m}.$$

Z przedstawionych obliczeń wynika, że w analizowanym przypadku, w celu minimalizacji oddziaływania robót strzałowych na obudowę szybu wskazane jest na odcinku drążonego wyrobiska w odległości około 20 m od szybu ograniczyć masę detonowanego materiału wybuchowego, co równoznaczne jest ze zmniejszeniem zabioru do co najmniej 0.8 m.

5. PODSUMOWANIE

Zagadnienie wpływu robót strzałowych na obudowę szybu nie jest dostatecznie rozwiązane. Pociąga to za sobą trudności w określeniu bezpiecznej odległości prowadzenia robót strzałowych od szybu, a co za tym idzie – ryzyko spowodowania uszkodzenia obudowy i utraty jej stateczności.

Charakter procesu rozchodzenia się wstrząsów i drgań górotworu w wyniku detonacji materiału wybuchowego zależy od wielu czynników zarówno naturalnych, jak i technicznych. Złożoność procesu rozchodzenia się fali sejsmicznej w ośrodku niejednorodnym, jakim jest górotwór, stanowi podstawową trudność w teoretycznym ujęciu tego zagadnienia.

Najkorzystniejszym rozwiązaniem zagadnienia byłoby prowadzenie monitoringu rozchodzenia się wstrząsów i drgań górotworu od ogniska wybuchu i na jego podstawie określenie zasięgu szkodliwych wpływów robót strzałowych na szyb. Nie jest to jednak zawsze możliwe ze względu na lokalizację istniejących wyrobisk względem drążonego przodka, jak również ze względu na realizację zadań transportowych w szybie, którym prawie zawsze towarzyszą drgania powstające w wyniku ruchów poziomych naczynia wyciągowego. W sytuacji kiedy nie jest możliwe określenie zasięgu robót strzałowych na szyb na podstawie pomiarów, prawdopodobny wpływ robót strzałowych na szyb można określić, z wystarczającą dla celów praktycznych dokładnością, przy wykorzystaniu podanego w pracy sposobu.

LITERATURA

- [1] Botko P., Lewicki J., Morawy R., Ślązak J.: Górnictwo i wydobycie. Wyd. "Śląsk", Katowice 1993.
- [2] Hobler M.: Projektowanie i wykonywanie robót strzałowych w górnictwie podziemnym. Wyd. "Śląsk", Katowice 1982.
- [3] Kidybiński A.: Obciążenie obudowy chodnikowej w czasie tupań. Zeszyty Naukowe AGH, seria Górnictwo, zeszyt 2, Kraków 1986.
- [4] Kleta H., Duży S.: Modelowanie wspomaganie komputerowo stanów energetycznych w dużych obszarach górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo (w druku).
- [5] Kleta H., Duży S.: Modelowanie wspomaganie komputerowo stanów energetycznych w dużych obszarach górotworu. Prace Instytutu Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni, Praca własna, Gliwice, 1992 (praca nie publikowana).
- [6] Norma Branżowa BN-83/0434-02. Szyby górnicze. Obudowa. Obciążenia. (Aktualizacja z 1989 r.).
- [7] Norma Branżowa BN-79/0434-03. Szyby Górnicze. Obudowa. Zasady Projektowania.
- [8] Podgórski K., Kleta H., Duży S.: Opracowanie systemu Komputerowego do oceny warunków geomechanicznych trzymania kapitałnych wyrobisk górniczych. Prace Instytutu Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej w Gliwicach., Gliwice 1992 (praca nie publikowana).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Alfred BILIŃSKI

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1994r.

Abstract

Shafts are mine excavations used for a very long time, therefore sometimes in the course of their services, auxiliary headings must be driven in their immediate vicinity, or additional headings are driven connecting the shaft with other newly driven ones. In such a situation it is

indispensable that mining activities, including shooting, must be carried out quite near the shaft.

The application of shooting for the purpose of rock winning at the workface results in the fact that the adjacent orogen is exposed to the effects of concussions and vibrations resulting from the detonation of a given charge of explosives. The degree and range of vibrations and shocks due to blasting depend on the energy of explosion as well as on the kind and properties of the rock surrounding the heading. The energy of explosion, again, depends on the kind and amount of applied explosives.

The wave propagation resulting from blasting is attenuated in the orogen. Vibrations propagated through the rock comprise also the lining of headings situated in their scope, exposing them to qualitatively new loads and deformations, which normally had not been taken into account when the given heading was being designed.

The effect of shooting carried out rather near the shaft, upon its lining, creates a complex state of loading which is difficult to be described by means of simple mathematical formulae.

For this reason, a simplified model of calculation has been applied, in which it could be assumed that the distribution of stresses in the lining of the shaft can be calculated objectively basing on solutions provided in operative standards and guidelines concerning the design of linings and supports of mining excavations.

In order to determine the probable degree of energy affecting the lining of a shaft in the course of blasting operations carried out in the vicinity of the shaft, the effect of the dynamic impulse has been considered which brings about a tremor equal to the product of the mass of the medium and the velocity vector. It has been assumed that the effects of the blasting of explosives in a boundless medium propagate in a limited area and that in an indefinitely large distance from the centre of blasting its effects are extremely small.

Taking into consideration the aforesaid assumptions and analysing several dependences provided in literature and describing the rate of the displacement of rocks versus the distance from the point of blasting, we based on the relation accepted by A. Kidybinski.

Assuming that the kinetic energy of a seismic wave resulting from blasting at the face of the driven heading is changed into the energy of volumetric deformation of the ring of lining, the determination of the stability of the shaft lining in the course of blasting has been condition of effort for the given lining material.

The application of the way of determining the effects of shooting carried out in the vicinity of a shaft upon the stability of its lining, discussed in this paper, has been illustrated on the example of a ventilation cross-cut running at a distance of about 20 m from the shaft.