ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1970

Seria: GÓRNICTWO z. 44 Nr kol. 292

MAŁGORZATA KOZDRÓJ

ANALIZA PRZYDATNOŚCI BUDOWANIA I UTRZYMANIA PRZEDZIAŁÓW DRABINOWYCH W SZYBACH KOPALŃ GŁĘBOKICH W ŚWIETLE TEORII KOLEJEK

Streszczenie. W artykule określono przy pomocy teorii kolejek, graniczne głębokości szybów, dla których przedział drabinowy spełnia swą rolę w przypadku ucieczki. Z badań wynika, że budowa przedziałów drabinowych nie spełnia swego celu, szczególnie w przypadku ucieczki większych grup górników.

Górnicze przepisy bezpiecznego prowadzenia kopalń nakazują, aby szyby pionowe i pochyłe służące do jazdy ludzi były wyposażone w przedziały drabinowe. Celem tych przepisów jest:

1) bezpieczne dojście do miejsca uszkodzeń w szybie oraz ich usuwanie,
2) umożliwienie załodze wydostania się na powierzchnię w razie awarii urządzenia wyciągowego,
3) umożliwienie załodze bezpiecznej ucieczki w przypadku różnego rodzaju zagrożeń.

Chcąc teraz określić przydatność lub nieprzydatność budowy przedziału drabinowego dla szybów kopalń głębokich należy przeanalizować czy cel dla jakiego przedziały drabinowe zostały zbudowane w istniejących szybach został osiągnięty.

Aby na to pytanie odpowiedzieć należy omówić kolejno wyżej wymienione wymogi, jakim przedział drabinowy powinien sprostać i tak:

Ad 1) Bezpieczne dojście do miejsca uszkodzeń w szybie czy urządzeń wyciągowych odbywa się w wielu krajach przez stosowanie niezależnych energetycznie wyciągów (wyciągarek), które są przewoźne i mogą obsługiwać wiele szybów w przypadku awarii.

Ad 2) Przedział drabinowy spełniający rolę dodatkowego wyjścia z kopalni w razie awarii urządzeń wyciągowych dawno już przestał spełniać swe zadanie. Nowe rozwiązania konstrukcyjne doprowadziły do tego, że niezawodność tych urządzeń wzrosła, a nawet w przypadku awarii można stosować wyciągarkę jak w punkcie 1.

Ad 3) Charakteryzacje przydatności przedziału drabinowego jako drogi bezpiecznej ucieczki w przypadku pożaru można przeprowadzić przez porównanie czasu działania środków indywidualnego ratownictwa z czasem jaki jest potrzebny na przejście danego odcinka szybu przez pojedynczego lub grupę górników.

Za kryterium obieram czas działania środków indywidualnego ratownictwa, a powyższa zależność przyjmuje następującą postać

$$T < T_0 ,$$

gdzie:

T - średni czas przejścia odcinka szybu przez grupę górników

T_0 - czas działania środków indywidualnego ratownictwa.

Aby praktycznie skorzystać z nierówności (1) należy obliczyć średni czas przejścia odcinka szybu przez grupę górników.
W tym celu można posłużyć się modelem probabilistycznym, dla którego przyjęto następujące założenia:

1. Przejście przedziałem drabinowym szybu grupy górników jest możliwa jedynie w pojedynkę poruszając się jeden za drugim bez możliwości wyprzedzania.
2. Podczas przejścia grupy górników przedziałem drabinowym minimalna odległość między dwoma poruszającymi się jeden za drugim górnikami wynosi "d". W rzeczywistości "d" jest pewną zmienną losową zależną od sprawności fizycznej poszczególnych górników.
3. Każdy górnik, gdy nie napotyka na przeszkody ze strony innych porusza się z pewną sobie właściwą prędkością, o której zakłada się, że jest stała na całej wysokości szybu. Jeśli przez τ_i oznaczymy czas, w jakim górnik przebywa i-ty odcinek drogi, to dla każdego górnika τ_i będzie stałe i niezależne od numeru odcinka i. Natomiast τ_i jest wielkością różną dla różnych górników. Dlatego w dalszym ciągu τ_i będzie traktowane jako zmienna losowa określona na zbiorze wszystkich górników pracujących w kopalni. Dystrybuantę zmiennej oznaczać będziemy:

$$F(t) = P\left\{\tau_i < t\right\}.$$

Z przyjętych założeń wynika, że dystrubuanta ta nie zależy od i.
4. Rozpatrywany szyb składa się z N odcinków o długości d, które ponumerowano zgodnie z kierunkiem ucieczki grupy górników.
5. Przyjęto, że w czasie ucieczki przedział drabinowy szybu jest maksymalnie wykorzystany, tzn., że gdy górnik, który dostał się do szybu i przebędzie pierwszy odcinek d to do przedziału drabinowego wchodzi następny uciekający.
Założenie to nie zawsze jest spełnione w rzeczywistości, a przyjęto je z tego względu, że ucieczka przy spełnieniu tego warunku charakteryzu-

je się największą liczbą kolizji między uciekającymi. Tym samym otrzymany przy tym założeniu czas ucieczki będzie większy niż przy mniejszej gęstości uciekających.

6. Górnik, który przebył N-ty odcinek szybu i opuścił go, nie ma już wpływu na ruch w szybie. Oznacza to, że po opuszczeniu rozpatrywanego szybu górnicy dostają się do podszybia wyższego poziomu lub nawet nadszybia, gdzie mogą poruszać się w mniejszych odległościach od siebie (np. obok siebie) lub z większą prędkością. W ten sposób górnik po opuszczeniu rozpatrywanego przedziału drabinowego szybu nie powoduje już ewentualnego ograniczenia prędkości uciekających za nim.

Na podstawie powyższych założeń można wyprowadzić ogólny wzór na wartość średnią czasu przejęcia k-tego odcinka, który ma postać:

$$T_k = \int_0^{\infty} t \, d\, G_k(t), \tag{2}$$

gdzie:

$G_k(t) = P\left\{Z_k < t\right\}$ dystrybuanta czasu Z_k przejścia przez k-ty odcinek jeśli wszystkie odcinki o numerach $i > k$ są zajęte i wskutek tego istnieje możliwość przeszkód w poruszaniu się po tym odcinku ze strony poprzedników.

Łatwo udowodnić, że: (Doc. dr inż. M. Kozdrój, mgr inż. J. Mola: Probabilistyczna metoda wyznaczania czasu ucieczki grup górników w zawężonych wyrobiskach Przegląd Górniczy nr 1 1966 - Katowice)

$$G_k(t) = \left[F(t)\right]^{N-k+1}.$$

Zastępując dystrybuantę $G_k(t)$ dystrybuantą $F(t)$ wzór (2) przyjmie następującą postać:

$$T_k = (N - k+1) \int_0^{\infty} t \; F(t)^{N-k} \; d\, F(t). \tag{3}$$

W ogólnym przypadku bardzo trudno byłoby wyznaczyć wartość oczekiwania T_k ze wzoru (3). W tym celu jest potrzebna znajomość rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej τ_k, który określa się na podstawie pomiarów czasu.

Dla orientacji założymy, że zmienna τ_k ma rozkład wykładniczy, którego dystrybuanta jest równa:

$$F(t) = \begin{cases} 0 & \text{dla} \quad t < 0 \\ 1-e^{-\lambda t} & \text{dla} \quad t \geq 0 \end{cases} \tag{4}$$

gdzie: $\frac{1}{\lambda}$ jest wartością oczekiwaną zmiennej T_k. Wtedy wartość oczekiwana czasu przebycia chodnika o długości Nd bez ograniczeń ze strony poprzedników jest równa $\frac{N}{\lambda}$.

Wstawiając wyrażenie (4) do wzoru (3) otrzymuje się

$$T_k = \lambda(N-k+1) \sum_{i=0}^{N-k} (-1)^i \binom{N-k}{i} \int_0^\infty t \cdot e^{-\lambda(i+1)\cdot t}\, dt,$$

a korzystając ze wzoru

$$\int_0^\infty t\, e^{-at}\, dt = \frac{1}{a^2}$$

otrzymuje się

$$T_k = \frac{N-k+1}{\lambda} \sum_{i=0}^{N-k} (-1)^i \binom{N-k}{i} \frac{1}{(i+1)^2}.$$

Wciągając $N-k+1$ pod znak sumy i rozpisując symbole Newtona, powyższy wzór przyjmuje postać

$$T_k = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^{N-k+1} \frac{(N-k+1)\ (N-k)\ (N-k-1)\ \ldots\ (N-k-i-1)}{1\cdot 2\cdot 3\ \ldots\ i(i+1)} \frac{1}{(i+1)}$$

co prowadzi do wzoru

$$T_k = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=0}^{N-k} (-1)^i \binom{N-k+1}{i+1} \frac{1}{i+1}$$

zmieniając wskaźnik sumacyjny na $j = i+1$, otrzymuje się

$$T_k = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^{N-k+1} \frac{(-1)^{j-1}}{j} \binom{N-k+1}{j}. \tag{5}$$

Korzystając ze wzoru (5) i wzoru

$$\sum_{k=1}^{n} \frac{(-1)^{k+1}}{k} \binom{n}{k} = \sum_{n=1}^{n} \frac{1}{n}$$

można napisać, że

$$T_k = \frac{1}{\lambda}\sum_{j=1}^{N-k+1}\frac{1}{j} = t_0\sum_{j=1}^{N-k+1}\frac{1}{j}, \tag{6}$$

gdzie:

$t_0 = \frac{1}{\lambda}$ – wartość oczekiwana czasu przejścia przez odcinek długości "d" przy ruchu bez przeszkód ze strony innych uciekających.

Znając T_k (wartość średniego czasu przejścia h-tego odcinka) można obliczyć średni czas T przejścia całego odcinka szybu który wyniesie

$$T = t_0\sum_{k=1}^{N}\sum_{j=1}^{k}\frac{1}{j} = t_0\sum_{j=1}^{N}\frac{N+1-j}{j}, \tag{7}$$

gdzie:

N – liczba odcinków o długości d na które został podzielony szyb

j – liczba górników wychodzących przedziałem drabinowym.

Wstawiając prawą stronę wzoru (7) do nierówności (1) otrzymujemy następującą postać

$$t_0\sum_{j=1}^{N}\frac{N+1-j}{j} \leq T_0$$

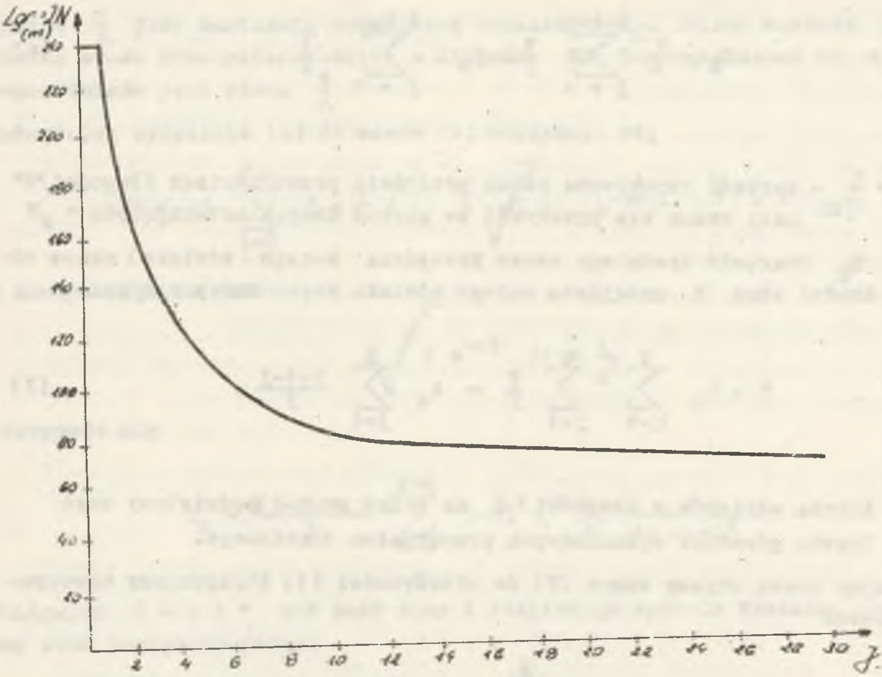
po przekształceniu

$$\sum_{j=1}^{N}\frac{N+1-j}{j} \leq \frac{T_0}{t_0}. \tag{8}$$

Zamieniając nierówność (8) na równanie oraz przyjmując, że czas działania środków indywidualnego ratownictwa T_0 = 60 minut a wartość oczekiwana czasu przejścia przez odcinek o długości d = 2 m przy ruchu bez przeszkód ze strony innych uciekających t_0 = 0,5 min. można sporządzić wykres granicznej głębokości szybu dla której przedział drabinowy spełnia jeszcze swoje zadanie w zależności od liczby "j" górników znajdujących się w uciekającej grupie (rys. 1).

Z powyższego wykresu wynika, że graniczna głębokość szybu dla której przedział drabinowy spełnia jeszcze swą rolę w przypadku ucieczki pojedynczego górnika wynosi 240 m.

Wraz ze wzrostem liczebności wychodzących górników graniczna głębokość szybu gwałtownie maleje co wynika z załączonego wykresu.



Rys. 1. Wykres długości granicznej szybu jako funkcji liczebności grupy górników

Wniosek

Reasumując przeprowadzone wywody odnośnie omówionych wymogów jakie stawia się przedziałowi drabinowemu należy stwierdzić, że budowa przedziałów drabinowych nie spełnia swego celu. Dlatego też jest wskazane ażeby dla nowo budowanych szybów skorzystać z ulg, które obejmują górnicze przepisy bezpiecznego prowadzenia kopalń w myśl których w szybach posiadających dwa niezależne energetycznie wyciągi do przewozu ludzi nie instalować przedziału drabinowego, a szyby o jednym urządzeniu wyciągowym do przewozu ludzi wyposażyć dodatkowo w wyciągarkę bezpieczeństwa. Przy takim rozwiązaniu nieodzownym jest wyposażyć podszybia w zależności od liczby załogi na danym poziomie w zapasowe środki indywidualnego ratownictwa (np. regały z pochłaniaczami CO) lub też przy większej liczbie załogi zbudować na podszybiach nadścianowe bazy wymiany środków ratownictwa indywidualnego.

АНАЛИЗ ПРИГОДНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ
ЛЕСТИЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ СТВОЛА В СТВОЛАХ ГЛУБОКИХ ШАХТ
СОГЛАСНО ТЕОРИИ УЗКОЛИНЕЙНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Р е з ю м е

В статье определены при помощи теории узколинейных железных дорог предельные глубины стволов, для которых лестичное отделение ствола исполняет свою роль в случае бегства. Из исследований вытекает, что построение лестичных отделений ствола не выполняет своей задачи, особенно в случае бегства больших групп шахтёров.

AN ANALYSIS OF CONSTRUCTION AND MAINTAINING LADDER COMPARTMENTS
IN SHAFTS OF DEEP COLLIERIES IN THE LIGHT OF QUEUENS THEORY

S u m m a r y

In the paper by means of queues theory the limiting depths of shafts for which the ladder compartment has been useful in case of emergency - have been determined. It fellows from the examinations that the ladder compartments construction does not fulfil its purpose, particularly in case, when a large group of miners tries to escape.