

Mirosław CHUDEK, Stanisław DUŻY, Grzegorz DYDUCH
Politechnika Śląska, Gliwice

WARUNKI OPTYMALNEJ WSPÓŁPRACY STALOWEJ OBUDOWY ODRZWIOWEJ PODATNEJ WZMOCNIONEJ WARSTWĄ BETONU NATRYSKOWEGO Z GÓROTWOREM

Streszczenie. Obudowa stalowa poddana oddziaływaniu środowiska agresywnego ulega korozji, która powoduje obniżenie jej nośności. W tej sytuacji, w celu uniknięcia konieczności przebudowy wyrobiska, często wykonuje się wzmocnienie obudowy przez jej otorkretowanie. W pracy przedstawiono sposób doboru parametrów podpornościowych stalowej obudowy odrzwiowej podatnej wzmocnionej warstwą betonu natryskowego. Sformułowano kryteria podporności, stateczności i podatności obudowy uwzględniające zmiany warunków jej współpracy z górotworem oraz charakterystyki pracy.

CONDITIONS OF BEST STEEL ARCH YIELDING SUPPORT, FORTIFIED WITH SHORTCRETE, CO-OPERATION WITH ROCK MASSIVE

Summary. A steel support exposed to the action of aggressive environment submits corrosion, which causes the decrease of its load capacity. In this situation, to prevent the rebuilding of the heading, a fortification of shortcrete is used. The paper presents a method of choosing load capacity parameters of steel arch yielding support fortified with shortcrete. Criteria of load capacity, stability and susceptibility of the support taking into consideration changes in the conditions of its co-operation with rock massive and work performance.

1. Wprowadzenie

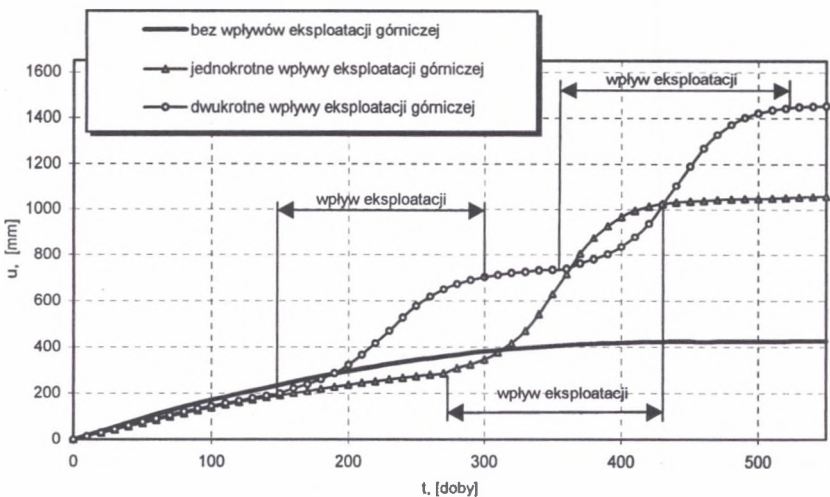
W kopalniach podziemnych wykonuje się i utrzymuje dużą liczbę wyrobisk korytarzowych. Wyrobiska te utrzymywane są niejednokrotnie przez wiele lat. Najdłużej użytkowanymi wyrobiskami korytarzowymi są wyrobiska przygotowawcze, takie jak przecznice, przekopy, wytyczne oraz wyrobiska specjalne, takie jak np. komory.

Wyrobiska korytarzowe i niektóre wyrobiska komorowe wykonywane są w obudowie stalowej podatnej. Obudowa ta w dłuższym okresie użytkowania w warunkach oddziaływania górotworu oraz atmosfery kopalnianej poddana jest procesom deformacji oraz korozji. W takiej sytuacji w pewnym okresie stan obudowy ŁP wymaga dodatkowego jej zabezpieczenia lub wzmocnienia. Jednym ze sposobów wzmocnienia obudowy ŁP może być jej otorkretowanie.

Wykonanie w istniejącym wyrobisku korytarzowym dodatkowej obudowy torkretowej powoduje, że z jednej strony wzmocniona zostaje obudowa odrzwiowa poprzez jej usztywnienie, zaś z drugiej strony torkret narzucany na ociosy wyrobiska powoduje utwardzenie wykładki kamiennej, wzmocnienie skał ociosowych w przypadku występowania ich spękania, przez co uzyskuje się lepsze warunki współpracy obudowy odrzwiowej z górotworem.

2. Ocena przebiegu zaciskania wyrobiska korytarzowego z uwzględnieniem czasu jego istnienia

Dobrze dobrana konstrukcja obudowy dla wyrobiska korytarzowego winna charakteryzować się zgodnością charakterystyki pracy z przebiegiem procesu przemieszczeń masywu skalnego.



Rys. 1. Przykłady przemieszczeń konturu wyrobiska korytarzowego w czasie
Fig. 1. Examples of heading contour displacement in time

Na rys. 1. przedstawiono przykładowe wykresy kształtowania się przemieszczeń konturu wyrobiska korytarzowego w czasie.

Na przedstawionym wykresie uwzględniono trzy, najczęściej spotykane w praktyce, przypadki przebiegu i wielkości przemieszczeń konturu wyrobiska zlokalizowanego poza strefą wpływu czynnego frontu eksploatacyjnego, poddanego jednokrotnemu oddziaływaniu czynnego frontu eksploatacyjnego oraz wielokrotnego oddziaływania czynnego frontu eksploatacyjnego.

Porównując przedstawione powyżej przypadki należy stwierdzić, że w wyrobisku nie poddanym okresowym wpływom dodatkowych czynników zwiększających deformacje górotworu w otoczeniu wyrobiska, po upływie określonego – charakterystycznego dla danych warunków – czasu, przyrosty przemieszczeń osiągają stosunkowo nieduże wielkości. W takiej sytuacji zastosowanie obudowy sztywnej jest w pełni uzasadnione.

W przypadku, gdy na wyrobisko oddziałują okresowo dodatkowe czynniki – np. czynny front eksploatacyjny – powodujące duże przyrosty przemieszczeń obrysu wyłomu wyrobiska, obudowa podlega zmiennym w czasie obciążeniom i dla zachowania stateczności wyrobiska celowym jest stosowanie obudów podatnych, gdyż przy znacznych przemieszczeniach konturu wyrobiska nie zostanie spełniony warunek podatności obudowy. Przy dużych deformacjach obudowa sztywna może osiągnąć podporność szczytową, po przekroczeniu której zostanie zniszczona i straci swoją stateczność.

3. Warunki optymalnej współpracy stalowej obudowy odrzwiowej wzmocnionej przez otorkretowanie z górotworem

Wyrobisko wykonane w obudowie ŁP i obciążone deformującymi się skałami otaczającymi, ulega systematycznemu zaciskaniu, spowodowanemu charakterystyką pracy obudowy. Oddziaływanie górotworu na obudowę można w tym przypadku scharakteryzować dwoma wielkościami, a mianowicie:

- obciążenie statyczne obudowy,
- przemieszczenia konturu wyłomu wyrobiska.

Samodzielna obudowa stalowa odrzwiowa podatna dzięki swej charakterystyce współpracuje z deformującym się górotworem, umożliwiając jego przemieszczanie się, zachowując przy tym swoją nośność. W momencie wykonania na istniejącej obudowie ŁP obudowy powłokowej, zmienia się zasadniczo charakterystyka jej pracy, gdyż taka obudowa

kombinowana jest obudową sztywną. W przypadku, gdy zniszczeniu ulegnie powłoka torkretowa, obudowa może odzyskać częściową podatność.

Dobrze zaprojektowana obudowa odrzwiowa stalowa podatna wzmocniona przez otorkretowanie musi spełniać następujące warunki [2, 6]:

- warunek nośności granicznej

$$\frac{f_d}{d \cdot \left[\frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_0}{\varphi \cdot A} \right]} \cdot 1 \cdot m + \frac{g \cdot R_{bbz}}{0,5 \cdot r_0} \geq k \cdot q_c \quad (1)$$

gdzie

M_{\max} – wartość maksymalnego momentu zginającego na obwodzie odrzwi obudowy dla obciążenia wynoszącego 1 kPa dla odporu skał uwzględniającego otorkretowanie obrysu wyrobiska,

N_0 – wartość siły osiowej w miejscu maksymalnego momentu zginającego na obwodzie odrzwi obudowy dla obciążenia wynoszącego 1 kPa dla odporu skał uwzględniającego otorkretowanie obrysu wyrobiska,

W_x – wartość wskaźnika zginania przekroju kształtownika odrzwi obudowy,

φ – wartość współczynnika wybożenia,

A – wartość przekroju poprzecznego kształtownika odrzwi obudowy,

f_d – wartość wytrzymałości materiału obudowy,

d – odległość między odrzwiami obudowy ŁP,

R_{bbz} – wytrzymałość obliczeniowa betonu na rozciąganie dla konstrukcji betonowych,

r_0 – promień krzywizny powłoki torkretowej,

k – współczynnik bezpieczeństwa,

q_c – całkowite obciążenie obudowy wyrobiska.

- warunek stateczności

$$\sum_{i=1}^n F_{ws} + \sum_{i=1}^n F_{wr} + l_0 \cdot g \cdot R_{bbz} \geq 1,2 \cdot S_W \cdot \frac{f_d}{d \cdot \left[\frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_0}{\varphi \cdot A} \right]} \cdot 1 \cdot m \quad (2)$$

gdzie

S_W – szerokość wyrobiska w wyłomie,

M_{\max} – wartość maksymalnego momentu zginającego na obwodzie odrzwi obudowy dla obciążenia wynoszącego 1 kPa dla odporu skał uwzględniającego otorkretowanie obrysu wyrobiska,

N_0 – wartość siły osiowej w miejscu maksymalnego momentu zginającego na obwodzie odrzwi obudowy dla obciążenia wynoszącego 1 kPa dla odporu skał uwzględniającego otorkretowanie obrysu wyrobiska,

W_x – wartość wskaźnika zginania przekroju kształtownika odrzwi obudowy,

φ – wartość współczynnika wybożenia,

A – wartość przekroju poprzecznego kształtownika odrzwi obudowy,

f_d – wartość wytrzymałości materiału obudowy,

d – odległość między odrzwiami obudowy ŁP,

g – grubość powłoki torkretu,

R_{bbz} – wytrzymałość obliczeniowa betonu na rozciąganie dla konstrukcji betonowych,

l_0 – długość odcinka powłoki torkretowej na obwodzie wyrobiska.

F_{wr} – średnia nośność rozpory na rozciąganie,

F_{ws} – średnia nośność okładziny na rozciąganie.

– warunek podatności

$$0,003 \cdot r_0 \geq u_w \quad (3)$$

gdzie

u_w – prognozowane przemieszczenie konturu wyrobiska po wykonaniu obudowy torkretowej,

r_0 – promień krzywizny powłoki torkretowej.

Analizując przedstawione powyżej warunki, jakie powinna spełniać obudowa, należy podkreślić, że usztywnienie obudowy podatnej, np. przez jej otorkretowanie, przynosi znaczne efekty, gdy nie prognozuje się znaczących przemieszczeń konturu wyrobiska.

3. Określenie optymalnej grubości obudowy powłokowej w aspekcie poprawy współpracy obudowy odrzwiowej stalowej podatnej z otaczającym górotworem

Nośność obudowy stalowej podatnej z obudową powłokową z uwzględnieniem zmian parametrów wytrzymałościowych odrzwi z różnymi stanami jej korozji obliczyć można z warunku nośności granicznej w postaci:

$$P_{ob} = \frac{f_d}{d \cdot \left[\frac{M_{max}}{k_w \cdot W_x} + \frac{N_0}{k_A \cdot \varphi \cdot A} \right]} \cdot 1 \cdot m + \frac{g \cdot R_{bbz}}{0,5 \cdot r_0} \quad (4)$$

gdzie

M_{\max} – wartość maksymalnego momentu zginającego na obwodzie odrzwi obudowy dla obciążenia wynoszącego 1 kPa dla odporu skał uwzględniającego otorkretowanie obrysu wyrobiska,

N_0 – wartość siły osiowej w miejscu maksymalnego momentu zginającego na obwodzie odrzwi obudowy dla obciążenia wynoszącego 1 kPa dla odporu skał uwzględniającego otorkretowanie obrysu wyrobiska,

W_x – wartość wskaźnika zginania przekroju kształtownika odrzwi obudowy,

φ – wartość współczynnika wybożenia,

A – wartość przekroju poprzecznego kształtownika odrzwi obudowy,

f_d – wartość wytrzymałości materiału obudowy,

d – odległość między odrzwiami obudowy ŁP,

R_{bbz} – wytrzymałość obliczeniowa betonu na rozciąganie dla konstrukcji betonowych,

r_0 – promień krzywizny powłoki torkretowej,

k_w – współczynnik zmiany wskaźnika zginania zależny od wielkości i typu korozji,

k_A – współczynnik zmiany przekroju poprzecznego zależny od wielkości i typu korozji.

Określając wielkości sił wewnętrznych w stalowej obudowie odrzwiowej otorkretowanej należy uwzględnić nowe warunki współpracy z górotworem polegające m.in. na zmianie ścisłości wykładki kamiennej.

Na rys. 2 przedstawiono przykładowe kształtowanie się wzmocnienia obudowy stalowej podatnej w wyniku jej otorkretowania. Jako miernik wzmocnienia obudowy przyjęto współczynnik wzmocnienia wyrażony zależnością:

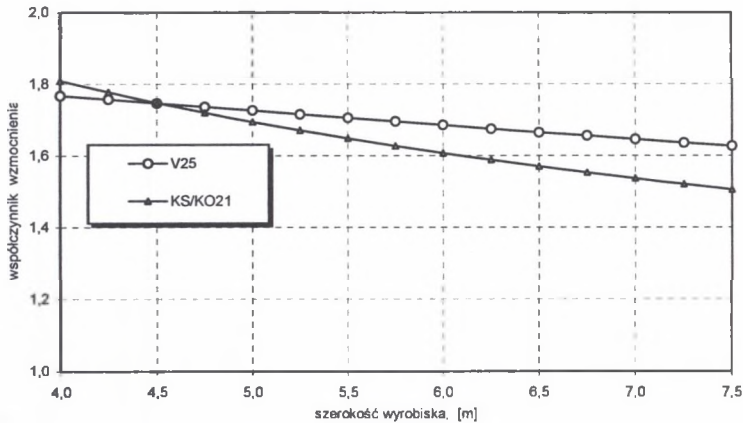
$$k_{wo} = \frac{P_{\max}}{P_0} \quad (5)$$

gdzie

k_{wo} – współczynnik wzmocnienia obudowy,

P_{\max} – nośność obudowy po otorkretowaniu,

P_0 – nośność obudowy przed otorkretowaniem.



Rys. 2. Wykres współczynnika wzmocnienia otorkretowanej obudowy ŁP
 Fig. 2. Graph of ŁP support sprayed with concrete strengthening coefficient

Grubość obudowy powłokowej w aspekcie poprawy współpracy obudowy odrzwiowej stalowej podatnej z otaczającym górotworem oblicza się stosując metodę nośności granicznej:

$$g = \left[k \cdot q_c - \frac{f_d}{d \cdot \left(\frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_0}{\varphi \cdot A} \right)} \cdot 1 \text{ m} \right] \cdot \frac{0,5 \cdot r_0}{R_{bbz}} \quad (6)$$

gdzie

M_{\max} – wartość maksymalnego momentu zginającego na obwodzie odrzwi obudowy dla obciążenia wynoszącego 1 kPa dla odporu skał uwzględniającego otorkretowanie obrysu wyrobiska,

N_0 – wartość siły osiowej w miejscu maksymalnego momentu zginającego na obwodzie odrzwi obudowy dla obciążenia wynoszącego 1 kPa dla odporu skał uwzględniającego otorkretowanie obrysu wyrobiska,

W_x – wartość wskaźnika zginania przekroju kształtownika odrzwi obudowy,

φ – wartość współczynnika wybożenia,

A – wartość przekroju poprzecznego kształtownika odrzwi obudowy,

f_d – wartość wytrzymałości materiału obudowy,

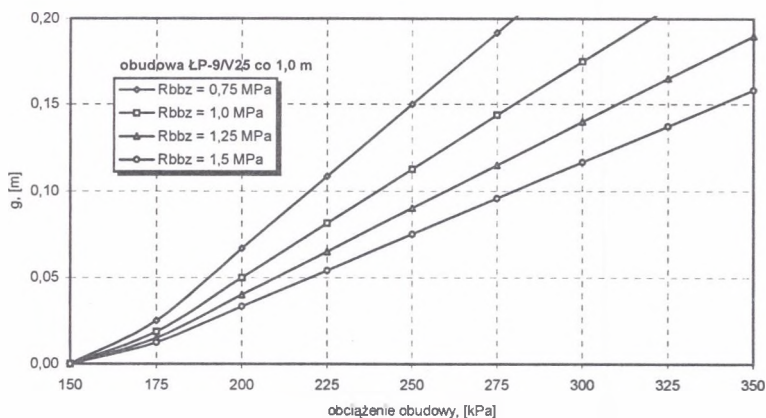
d – odległość między odrzwiami obudowy ŁP,

R_{bbz} – wytrzymałość obliczeniowa betonu na rozciąganie dla konstrukcji betonowych,

r_0 – promień krzywizny powłoki torkretowej,

k – współczynnik bezpieczeństwa,

q_c – całkowite obciążenie obudowy wyrobiska.



Rys. 3. Wykres grubości powłoki z betonu natryskowego dla obudowy ŁP-9/V25
 Fig. 3. Graph of shotcrete coat thickness for ŁP-9/V25 support

4. Podsumowanie

Wzmocnienie stalowej obudowy łukowej następuje w wyniku działania wielu czynników, z których najważniejsze to:

- poprawienie warunków podparcia odrzwi i związana z tym zmiana rozkładu działającego obciążenia,
- częściowe scalenie wykładki kamiennej oraz odizolowanie górotworu od wpływów atmosfery kopalnianej,
- usztywnienie odrzwi w kierunku poprzecznym i ich ochrona przed wybočeniem,
- nośność warstwy betonowej.

Przeprowadzona analiza wyników obliczeń symulacyjnych wykazała, że dla wyrobisk zlokalizowanych w przeciętnych warunkach geologiczno-górnicych konieczność stosowania torkretu jako elementu nośnego obudowy występuje w przypadku obciążenia obudowy znacznie przekraczającego 150 kPa.

W większości wyrobisk korytarzowych wykonanych i utrzymywanych w kopalniach węgla kamiennego nośność stosowanej obudowy ŁP wynosi od 80 kPa do 200 kPa. Jeżeli w tych wyrobiskach nie występują znaczne deformacje świadczące o wyraźnym przekroczeniu nośności obudowy, zastosowanie torkretu może być uzasadnione w celu:

- wzmocnienia obudowy w celu likwidacji jej osłabienia przez korozję materiału odrzwi obudowy,
- poprawy warunków współpracy obudowy z górotworem poprzez scalenie wykładki kamiennej lub spękań skał na obrysie wyrobiska,
- odizolowania odrzwi od niekorzystnych wpływów atmosfery kopalnianej,
- wzmocnienia obudowy w związku z zmianą stanu naprężenia w otoczeniu wyrobiska powodującego wzrost obciążenia obudowy,

W takich przypadkach do wykonania torkretu można wykorzystać materiał o wartościach własności wytrzymałościowych odpowiadających betonom klas B-15 lub B-20.

W przypadku spodziewanego znacznego wzrostu obciążenia obudowy w wyniku oddziaływania nowych czynników górniczych może okazać się celowym wykonanie torkretu z materiału o dobrych parametrach wytrzymałościowych. Jednak dla takiego przypadku musi być przeprowadzona indywidualna analiza, obejmująca przedstawione w pracy kryteria nośności granicznej, stateczności obudowy oraz jej podatności.

LITERATURA

1. Chudek M.: Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu. Wyd. Pol. Śl., Gliwice., 2002.
2. Chudek M.: Obudowa wyrobisk górniczych. Cz. I. Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wyd. Śląsk, Katowice, 1986.
3. Chudek M., Duży S., Kleta H., Stoiński K., Zorychta A.: Zasady doboru i projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych i ich połączeń w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. Wyd. KGBPiOP Pol. Śl., Gliwice–Kraków–Katowice, 2000.
4. Chudek M., Duży S., Kleta H.: Praktyczne aspekty projektowania stalowej obudowy łukowej podatnej. Budownictwo Górnicze i Tunelowe, nr 4, 1999.
5. Chudek M., Rułka K., Mateja J.: Podstawy teoretyczne oraz nowe zasady doboru, ustalenia obciążeń i wymiarowania obudów długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych. ZN Pol. Śl., seria Górnictwo, z. 124, Gliwice, 1985.
6. Praca zbiorowa: Optymalizacja stateczności (podporność obudowy) wyrobisk korytarzowych, wykonywanych i utrzymywanych w obudowie podatnej odrzwiowej stalowej z powłoką torkretową przy zmiennych odległościach jej odrzwi w warunkach górniczo-geologicznych KWK „Wieczorek” w zakresie współpracy tej obudowy z górotworem w aspekcie ochrony środowiska górniczego i efektów ekonomicznych. Katowice, 2005 (praca niepublikowana).