

Marek Rotkegel, Roman Daniłowicz

ZASTOSOWANIE KOTWI DO STABILIZACJI OBUDOWY ODGAŁĘZIENIA

Streszczenie

W artykule poruszono istotny problem właściwej stabilizacji portalowej obudowy odgałęzień wyrobisk korytarzowych. Obudowa ta najczęściej składa się z portalu rozpiętego nad łączącymi się wyrobiskami oraz wspornika usytuowanego w płaszczyźnie przenikania się brył wyrobisk. Obciążenia działające bezpośrednio na wspornik oraz pośrednio, przez odrzwia powodują wygenerowanie poziomych składowych obciążeń działających na portal. Działanie tych sił może powodować wychylenie portalu z pierwotnej płaszczyzny zabudowy, a przez to zaburzenie w przyjętym w obliczeniach schemacie podparcia i obciążenia konstrukcji. W ostateczności, prowadzi to do znacznych deformacji całej obudowy, a w skrajnym przypadku nawet do jej uszkodzenia. Znaczenia nabiera zatem zapewnienie warunków właściwej pracy obudowy, ze szczególnym uwzględnieniem jej stabilizacji. W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań modelowych uzasadniających stabilizowanie portalu oraz sposoby stabilizacji.

Use of bolts for the stabilisation of roadway junction support

Abstract

The article brings up the essential problem of appropriate stabilisation of portal support of roadway junctions. This support consists most often of a portal over joined mine workings and an abutment situated in the penetration plane of solids of these workings. Loads acting directly on the abutment and indirectly through frames cause the generation of horizontal component loads acting on the portal. Action of these forces can cause inclination of the portal from the original plane, and thus disturbance in the adopted support scheme and construction load. Finally this leads to considerable deformations of the entire support, and in extreme cases can even cause its damage. Thus it becomes important to ensure conditions for suitable support work, taking especially into consideration its stabilisation. The present publication shows the results of model tests justifying the stabilisation of the portal and stabilisation ways.

WPROWADZENIE

Obudowa odgałęzień wyrobisk korytarzowych najczęściej składa się z portalu rozpiętego ponad łączącymi się wyrobiskami oraz wspornika usytuowanego w płaszczyźnie przenikania się brył wyrobisk. Obciążenia działające bezpośrednio na wspornik oraz pośrednio, przez odrzwia, powodują wygenerowanie poziomych składowych obciążeń działających na portal. Działanie tych sił może powodować wychylenie portalu z pierwotnej płaszczyzny zabudowy, a w konsekwencji zaburzenie w przyjętym w obliczeniach schemacie podparcia i obciążenia konstrukcji. W ostateczności prowadzi to do znacznych deformacji całej obudowy,

a w skrajnym przypadku nawet do jej uszkodzenia. Znaczenia nabiera zatem zapewnienie warunków właściwej pracy obudowy, ze szczególnym uwzględnieniem jej stabilizacji.

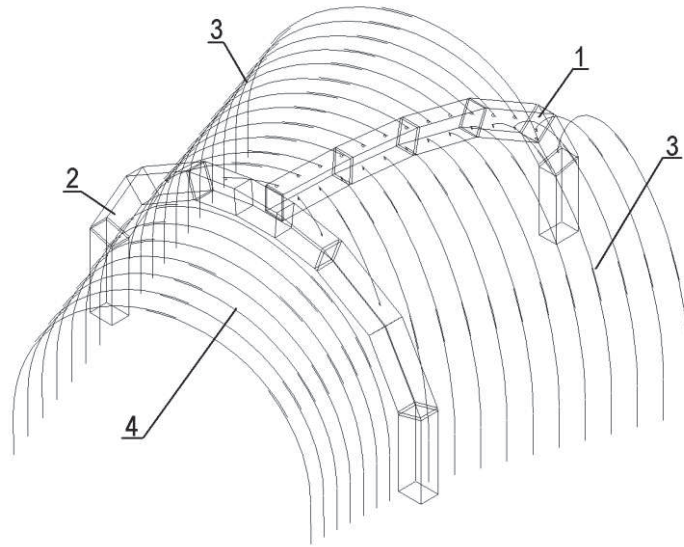
Spełnienie podstawowych zadań obudowy wyrobisk korytarzowych wymaga jej właściwego zastosowania, przez co rozumie się między innymi właściwe podparcie i obciążenie poszczególnych odrzwi. W przypadku typowej obudowy wyrobisk korytarzowych ważne jest zapewnienie jej pełnego kontaktu z otaczającymi skałami oraz właściwa stabilizacja odrzwi. Istnieją jednak obudowy, w przypadku których spełnienie powyższych wymagań jest warunkiem koniecznym, lecz niewystarczającym, do zapewnienia ich właściwej pracy. Przykładem mogą być szkieletowe obudowy połączeń wyrobisk korytarzowych.

1. PORTALOWA OBUDOWA ODGAŁĘZIENÍ

Najbardziej rozpowszechnionym połączeniem wyrobisk korytarzowych jest odgałęzienie jednostronne pod ostrym kątem. W szczególnym przypadku połączenie wyrobisk prostoliniowych przyjmuje w rzucie pionowym kształt nieco zdeformowanej litery Y. Możliwe jest także połączenie wyrobisk zakrzywionych. Obudowa odgałęzienia, w wykonaniu tradycyjnym, składa się z wieloelementowych łukowych odrzwi podatnych, których szerokość zwiększa się w miarę zbliżania się do naroża odgałęzienia. Znaczne gabaryty odrzwi, a zatem mała ich nośność, szczególnie w miejscu największej szerokości i wysokości odgałęzienia, gdzie występuje największe obciążenie prowadzi do maksymalnego zagęszczenia odrzwi.

Alternatywnym rozwiązaniem jest obudowa portalowa, dokładnie dopasowana do gabarytów łączących się wyrobisk. Składa się ona ze szkieletowej konstrukcji zasadniczej oraz odrzwi przejściowych i uzupełniających. Konstrukcję zasadniczą tworzy portal rozpięty ponad strefą połączenia wyrobisk oraz połączony z nim wspornik. Składają się one z belek dwuteowych lub skrzynkowych łączonych śrubami. Do wspornika są przymocowane odrzwia uzupełniające, natomiast przestrzeń przed portalem zabezpieczają odrzwia przejściowe. Podstawowe zadania takiej obudowy spełnia konstrukcja zasadnicza, przenosząc przeważającą część obciążeń pochodzących od górotworu. Odrzwia natomiast stanowią ważne uzupełnienie konstrukcji, przenosząc obciążenia częściowo na wspornik, a częściowo na spąg (Rotkegel 2003; Stałęga 2001).

Obudowa taka skutecznie zabezpiecza wyrobiska korytarzowe w strefie ich połączenia. Właściwie zaprojektowana, w porównaniu z tradycyjną obudową typu palmowego, ma wiele zalet. Najważniejsze z nich to korzystne wymiary gabarytowe pozwalające na zminimalizowanie wysokości wyłomu w narożu odgałęzienia oraz zwiększona, w stosunku do tradycyjnej, nośność obudowy. Przykład takiej obudowy schematycznie przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przykładowa obudowa portalowa odgałęzienia wyrobisk korytarzowych:
1 – wspornik, 2 – portal, 3 – odrzwia uzupełniające, 4 – odrzwia przejściowe

Fig. 1. Exemplary portal support of roadway junction: 1 – bracket, 2 – portal,
3 – supplementary frames, 4 – transitional frames

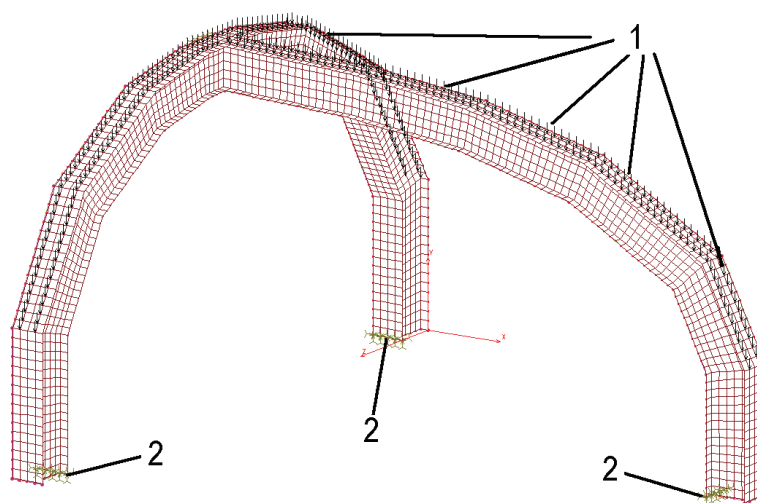
2. ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA PORTALOWEJ OBUDOWY ODGAŁĘZIENIA

Kształt obudowy odgałęzienia, wynikający z parametrów geometrycznych połączenia zabezpieczanych wyrobisk, jest zależny od obciążenia konstrukcji. Pionowe obciążenie, działające bezpośrednio na wspornik lub poprzez odrzwia uzupełniające powoduje wygenerowanie składowej normalnej do płaszczyzny portalu, w miejscu jego połączenia ze wspornikiem. Powoduje to znaczne oddziaływania na portal, których wynikiem może być jego „wypchnięcie” z pierwotnej płaszczyzny zabudowy. O wielkości dodatkowych obciążeń oraz ich skutków można się przekonać, analizując między innymi wyniki wytrzymałościowych obliczeń modelu konstrukcji zasadniczej obudowy odgałęzienia, wykonanych za pomocą metody elementów skończonych.

W celu wykonania takiej analizy zbudowano przestrzenny model składający się z czterowęzłowych elementów powłokowych typu SHELL4T. Model ten został podparty w miejscach styku ze spągami. Tak podpartą konstrukcję obciążono siłami odpowiadającymi ciśnieniu, z jakim górotwór oddziałuje na obudowę. Uwzględniono również fakt, że część obciążenia przenoszą odrzwia. Na rysunku 2 przedstawiono model konstrukcji zasadniczej wraz z zaznaczonym sposobem podparcia i obciążenia.

Analiza wytrzymałościowa konstrukcji zasadniczej obudowy odgałęzienia została przeprowadzona w dwóch etapach. W pierwszym etapie zostały wykonane badania w zakresie liniowym. Wykazały one, że w niektórych fragmentach konstrukcji pod

wpływem przewidywanych obciążeń ze strony górotworu mogą wystąpić naprężenia przekraczające granicę wytrzymałości materiału, przy jednoczesnym występowaniu znacznych obszarów obciążonych w niewielkim stopniu. Zatem celowe było rozszerzenie analizy o badania uwzględniające nieliniową charakterystykę materiału, a przez to redystrybucję naprężeń. Dzięki temu możliwe było uwzględnienie tzw. plastycznej rezerwy materiału oraz znaczne zwiększenie dopuszczalnych wartości naprężeń występujących w konstrukcji. W związku z powyższym podstawę analizy wytrzymałościowej konstrukcji powinny stanowić badania w zakresie nieliniowym, prowadzone metodami iteracyjnymi (MNR).

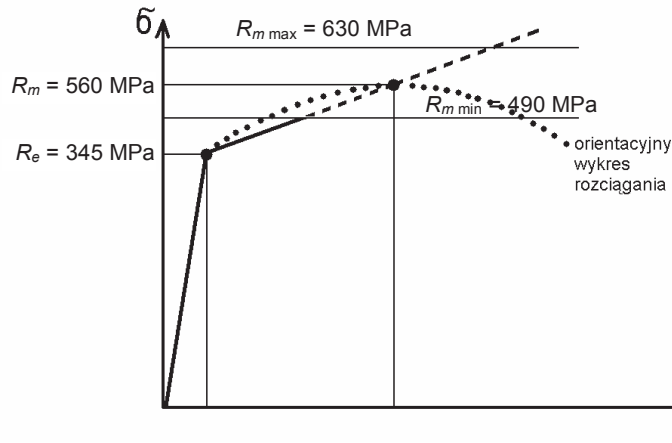


Rys. 2. Model konstrukcji zasadniczej obudowy odgałęzienia z zaznaczonym sposobem obciążenia (1) i podparcia (2)

Fig. 2. Model of fundamental roadway junction support with marked load (1) and support (2)

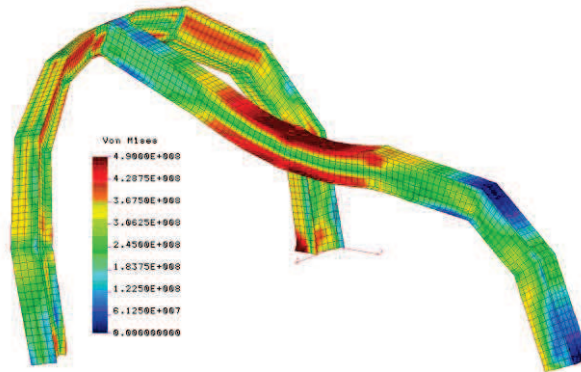
W związku z powyższym elementom nadano parametry materiałowe odpowiadające parametrom stali 18G2A, przy czym wykres rozciągania przybliżono dwiema liniami, tworząc model materiału sprężysto-plastycznego z umocnieniem liniowym (Bąk, Burczyński 2001). Krzywą materiałową przedstawiono na rysunku 3. Charakterystycznymi jej punktami są: granica plastyczności ($R_e = 345$ MPa) oraz wytrzymałość materiału na rozciąganie ($R_m = 560$ MPa), przyjęta jako wartość średnia z zakresu pomiędzy minimalną a maksymalną wytrzymałością ($R_{m18G2A} = 490\text{--}630$ MPa).

W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano rozkład naprężeń zredukowanych oraz zdeformowaną postać modelu obudowy odgałęzienia, przedstawione na rysunku 4. Wynika z niego, że maksymalne naprężenia, przekraczające minimalną granicę wytrzymałości $R_{m\ min}$, osiągnęły wartość 522,8 MPa i były głównie zlokalizowane w połowie rozpiętości wspornika. Tak duża wartość naprężeń mogła spowodować uszkodzenie konstrukcji. Ponadto, bardzo wyraźne było oddziaływanie wspornika na portal, powodujące jego znaczne odchylenie. Powstałe deformacje



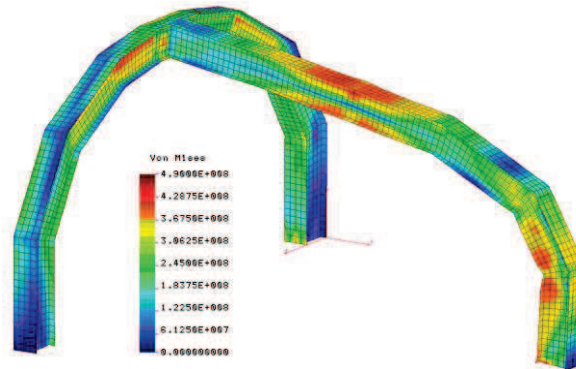
Rys. 3. Biliniowy model materiału

Fig. 3. Bilinear material model

Rys. 4. Rozkład naprężeń [Pa] i zdeformowana postać modelu: zakres naprężeń 0 – $R_{m \min}$, skala deformacji 1xFig. 4. Stress distribution [Pa] and deformed model form: stress range 0 – $R_{m \min}$, deformation scale 1x

całego modelu groziły utratą stateczności całej konstrukcji. Konieczne było zatem jej dodatkowe podparcie tak, aby portal nie miał możliwości przemieszczenia się pod wpływem oddziaływania wspornika. Podobne obliczenia przeprowadzono dla nieco zmodyfikowanego modelu. Zastosowano w nim dodatkowe podpory uniemożliwiające przemieszczanie się portalu. Podobnie jak poprzednio uzyskano rozkład naprężeń zredukowanych oraz deformacje modelu. Wyniki, w identycznej skali jak wcześniej, przedstawiono na rysunku 5. Maksymalne naprężenia występowały, jak poprzednio, w połowie rozpiętości wspornika, lecz ich wartość została znacznie zredukowana i wynosiła 429,1 MPa. Warunkiem uzyskania takiego efektu było zastosowanie podpór działających w kierunku normalnym do płaszczyzny portalu. Sumaryczne obciążenie tych podpór wynosiło $\sim 535 \text{ kN}$. W związku z tym istniały obawy, że stabilizacja portalu za pomocą rozpór może okazać się niewystarczająca, a „powiąza-

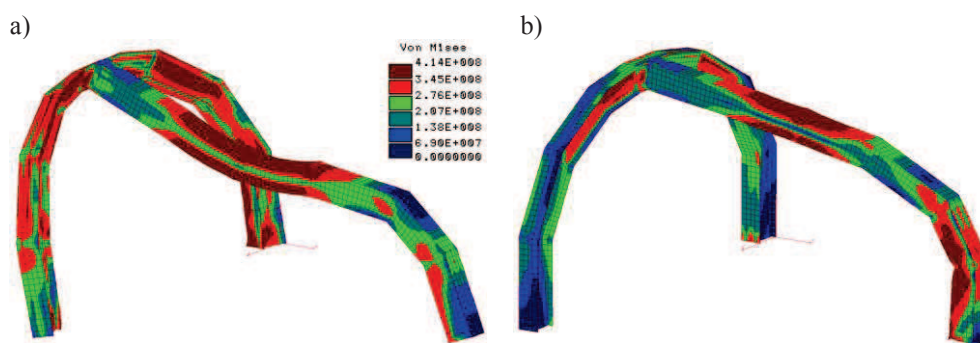
nie” portalu z górotworem nastąpi dopiero po pewnym czasie. W celu uzyskania stateczności obudowy bezpośrednio po jej zabudowie zastosowano zatem dodatkowe podpory w postaci dwóch kotwi linowych.



Rys. 5. Rozkład naprężeń [Pa] i zdeformowana postać modelu z dodatkowo podpartym portalem: zakres naprężeń 0 – $R_{m \min}$, skala deformacji 1x

Fig. 5. Stress distribution [Pa] and deformed model form with additionally supported portal: stress range 0 – $R_{m \min}$, deformation scale 1x

Dodatkowe podparcie obudowy spowodowało zmniejszenie deformacji oraz poprawę stanu wyężenia konstrukcji. Nastąpiło zmniejszenie wartości naprężeń zredukowanych σ_{red} oraz ograniczenie stref uplastycznienia materiału ($\sigma_{red} > 345$ MPa). Na rysunku 6 kolorem bordowym przedstawiono porównanie zasięgu stref uplastycznienia w obu modelach – bez dodatkowego podparcia oraz z dodatkowym podparciem stabilizującym portal. Należy jednak zaznaczyć, że mimo znacznej poprawy stanu wyężenia konstrukcji po podparciu portalu, wartości naprężeń w dalszym ciągu budziły niepokój. Dlatego miejsca konstrukcji najbardziej narażone na deformacje plastyczne ostatecznie wzmocniono przyspawanymi nakładkami z blachy. W celu zapewnienia właściwej pracy konstrukcji w określonych warunkach górnico-geologicznych konieczne było zastosowanie zarówno podparcia portalu, jak i wzmocnień.



Rys. 6. Porównanie uplastycznionych stref konstrukcji wyjściowej (a) oraz z dodatkowym podparciem portalu (b)

Fig. 6. Comparison of plasticised zones of initial construction (a) and with additional portal support (b)

3. STABILIZACJA PORTALU

Ważnym zagadnieniem w procesie projektowo-konstrukcyjnym jest wykorzystanie założeń przyjętych w badaniach modelowych, z uwzględnieniem warunków i możliwości technicznych. W analizowanym przypadku dotyczyło to przede wszystkim wykonania właściwego podparcia portalu.

Istotnymi wynikami obliczeń danego rodzaju obudowy są reakcje podporowe. Ich wartości wskazują możliwe do zastosowania sposoby stabilizacji konstrukcji.

Stalowa odrzwiowa obudowa podatna, najczęściej stosowana w polskim górnictwie węglowym, jest obudową pasywną, tzn. zaczyna współpracować z górotworem po wystąpieniu jego przemieszczeń. Do tego czasu jej stabilizacja jest uzyskiwana za pomocą dodatkowych elementów, akcesoriów itp. Ponadto, obciążenie na nią działające nie zawsze jest skierowane w płaszczyźnie prostopadłej do osi wyrobiska. Nachylenie warstw, zaburzenia tektoniczne i niewłaściwe wykonanie mogą być powodem jej wychylenia od pionu. Obudowa jest złożona ze znacznej liczby w zasadzie niezależnych elementów – odrzwi, często niepołączonych z górotworem, których pionowe ustawienie podtrzymują rozpory. Odpowiednie połączenie cierne górotworu z obudową poprzez wykonanie szczelnej wykładki, ze względu na wymagane postępy przodka, nie zawsze jest realizowane. W uzasadnionych przypadkach są stosowane dodatkowe przedsięwzięcia. Jednym z nich może być oklinowanie odrzwi obudowy. Powoduje ono ustalenie położenia odrzwi względem górotworu, lecz nie zastępuje szczelnej wykładki zapewniającej odpowiednią współpracę górotworu z obudową. Drewniana obudowa poligonowa wykonana w świetle obudowy stalowej, wzmacnia i stabilizuje obudowę, lecz ze względu na pracochłonność jest rzadko stosowana. Innym rozwiązaniem jest wykonanie betonowej „ławy”, obejmującej dolne odcinki łuków ociosowych odrzwi obudowy, która stanowi dodatkową stabilizację odrzwi (zwłaszcza przy obciążeniach ze strony ociosów) i izoluje obudowę przed agresywnym środowiskiem kopalnianym powodującym korozję. Całkowite zalanie betonem odrzwi, które stanowią w tym przypadku zbrojenie obudowy betonowej, oprócz zwiększenia nośności i stabilizacji, powoduje również ich usztywnienie. Ostatnio stosuje się specjalne worki wypełniane zaprawą betonową, układane bezpośrednio na odrzwiach obudowy. Z powodzeniem zastępują one wykładkę, lecz sama metoda jest pracochłonna. Narzucenie warstwy torkretu powoduje zestalanie poszczególnych elementów obudowy, przez wypełnienie części pustek między obudową a górotworem; jednak wadą jest usztywnienie obudowy. Inną metodą jest poprawa własności skał otaczających przez iniekcję zaprawy cementowej lub wprowadzenie kotwi do górotworu niepołączonych z obudową stalową. Metoda ta zmniejsza obciążenie stalowej obudowy podporowej (Daniłowicz, Rotkegel, Fraś, Najman 2004), lecz nie poprawia jej stabilizacji. Często jest stosowane przykottwanie odrzwi, czyli wprowadzanie dodatkowego elementu, łączącego odrzwia z otaczającymi skałami. Wzmacnia to obudowę i skały otaczające oraz powoduje ustalenie jej położenia.

Wymienione wyżej czynności na ogół zwiększają koszty drażenia i opóźniają postęp przodka. Podstawowym sposobem stabilizacji stalowej obudowy podatnej jest zastosowanie rozpór, w celu ustalenia i utrzymania stałych odległości między sąsiednimi odrzwiami.

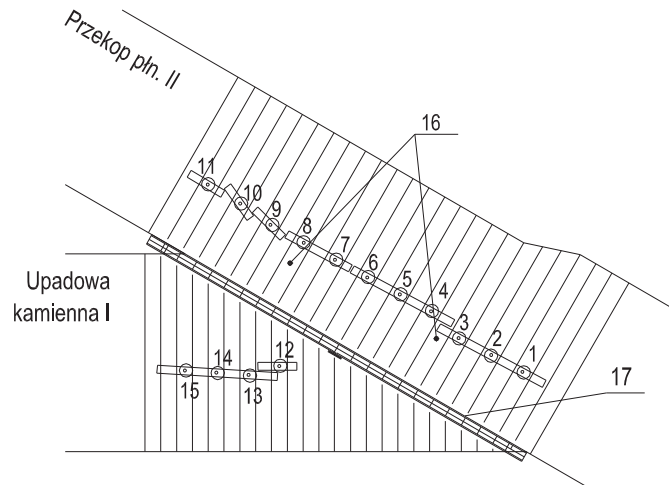
Obudowa portalowa jest projektowana najczęściej przy założeniu równomiernego obciążenia konstrukcji. Brak odpowiedniego oporu ze strony górotworu (powiązania z górotworem – pozostawienie pustek za obudową), może doprowadzić do obciążenia punktowego obudowy odgałęzienia i niekontrolowanych przemieszczeń konstrukcji. Ponadto, pionowe obciążenie wspornika generuje poziome obciążenie portalu. Dlatego tak ważne jest połączenie obudowy z górotworem i odrzwiami bezpośrednio współpracującymi z konstrukcją odgałęzienia. Istnieje możliwość zastosowania niektórych z wymienionych powyżej przedsięwzięć, sprawdzonych dla chodnikowych obudów podatnych, lecz w przypadku obudowy odgałęzień często jest to związane z znacznym zwiększeniem kosztów zabudowy.

Podstawowym problemem jest stabilizacja konstrukcji odgałęzienia. Rozwiązanie konstrukcyjne powinno stanowić więc odpowiednio zaprojektowane odgałęzienie wraz z wykonaniem szczelnej wykładki oraz zastosowaniem dodatkowych elementów stabilizujących konstrukcję odgałęzienia. Najprostszym, skutecznym i sprawdzonym sposobem w przypadku chodnikowych obudów podatnych jest kotwienie. Nie zawężając wolnej przestrzeni przekroju wyrobiska, pozwala ono na uzyskanie dodatkowych „podpór” stabilizujących konstrukcję. Zabudowanie oraz dobór odpowiednich kotwi nie stanowi aktualnie żadnego problemu. Konieczne jest jedynie, na etapie projektowania, odpowiednie przygotowanie konstrukcji do montażu kotwi.

Istnieją dwa sposoby wzmocnienia konstrukcji odgałęzienia. Jednym z nich jest zastosowanie podciągów podtrzymujących uzupełniające odrzwia obudowy, zabudowanych za pomocą kotwi. Rozwiązanie takie zastosowano do zabezpieczenia odgałęzienia upadowej kamiennej I od przekopu północnego II na poziomie 300 m w kopalni „Janina” (Daniłowicz, Rotkegel, Fraś, Najman 2004), gdzie kotwie zastosowano jako elementy dodatkowo stabilizujące całą konstrukcję oraz wzmacniające górotwór. Obudowę podporową tego odgałęzienia stanowiła stalowa konstrukcja portalowa – obudowa typu „Łabędy” 10-10-9II-550/V32-30° (szerokość portalu w świetle obudowy wynosi 11,18 m, a jego wysokość 4,5 m). Szkic odgałęzienia przedstawiono na rysunku 7, natomiast na zdjęciu 1 pokazano strop odgałęzienia wraz z przykotwionym podciągiem.

Portal wykonano z dwuteownika IPB550, odrzwia uzupełniające z kształtownika V32. Kotwie strunowe typu IR-4 długości 6,0 m, zabudowane w co drugim polu obudowy podporowej, mocują podciągi z prostych odcinków kształtownika V25 i KS/KO, wspomagając pracę obudowy podporowej i stabilizując dodatkowo całą konstrukcję.

Drugi sposób dodatkowej stabilizacji obudowy odgałęzienia to przykotwianie portalu. Rozwiązanie takie zastosowano w kopalni „Budryk” do zabezpieczenia połączenia przekopu pochyłego 1z z przekopem łączącym. W celu wyeliminowania możliwości wychylenia się portalu z pierwotnej płaszczyzny zabudowy, przykotwiono go do stropu przez dwa przystosowane do tego celu ucha na belce głównej (fot. 2), za pomocą dwóch kotwi linowych długości 4,5 m, wprowadzonych przez dwa ucha przedstawione na zdjęciu 2. Kotwie zostały wklejone na całej długości w otworach odchylonych od pionu o kąt 30° (Kompleksowe opracowanie... 2004).



Rys. 7. Szkic odgałężenia: 1–15 – kotwie, 16 – rozwarstwiomierze, 17 – portal
Fig. 7. Sketch of roadway junction: 1-15 – bolts, 16 – separation meters, 17 – portal



Fot. 1. Podciąg mocowany kotwiami strunowymi (fot. R. Daniłowicz)
Photo 1. Stringer fastened by means of string bolts (photo R. Daniłowicz)



Fot. 2. Fragment konstrukcji obudowy odgałężenia z zaznaczonymi uchami do przykotwienia (fot. T. Dragon)
Photo 2. Fragment of construction of roadway junction support with marked lugs for fastening (photo T. Dragon)

PODSUMOWANIE

Zastosowanie szkieletowej obudowy do zabezpieczenia odgałęzienia wyrobisk korytarzowych wiąże się z koniecznością zabezpieczenia portalu przed jego przemieszczeniem z pierwotnej, pionowej płaszczyzny zabudowy. Obciążenie działające na wspornik powoduje wygenerowanie poziomej składowej oddziałującej na portal. W prezentowanych rozwiązaniach składowa ta jest przenoszona przez rozpory na dalszą część obudowy oraz przez kotwie na górotwór. Przyjęcie takiego schematu podparcia konstrukcji pozwala na znaczną poprawę stanu jej wyteżenia. Świadczą o tym przedstawione wyniki badań modelowych oraz pozytywne efekty praktycznych zastosowań.

Literatura

1. Bąk R., Burczyński T. (2001): *Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego*. Warszawa, WNT.
2. Chmielewski T., Nowak H. (1996): *Mechanika budowli. Metoda przemieszczeń. Metoda Crossa. Metoda elementów skończonych*. Warszawa, WNT.
3. Cook R.D., Malkus D.S., Plesha M.E., Witt R.J. (2002): *Concepts and applications of finite element analysis*. USA, John Wiley & Sons.
4. Daniłowicz R., Rotkegel M., Fraś A., Najman W. (2004): *Obudowa szkieletowa odgałęzień chodników*. Przegląd Górniczy nr 6.
5. Kompleksowe opracowanie optymalizacji zabezpieczenia połączeń wyrobisk korytarzowych dla KWK „Budryk” S.A. połączenia przekopu pochylego 1z z przekopem łączącym (2004). Dokumentacja pracy badawczo-usługowej – symb. komp. 411 40664-151. Katowice, GIG październik 2004.
6. Rakowski G., Kacprzyk Z. (1993): *Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji*. Warszawa, Oficyna Wydaw. Politechniki Warszawskiej.
7. Rotkegel M. (2003): *Przykładowy przebieg wytwarzania obudowy połączeń wyrobisk korytarzowych*. Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko nr 4.
8. Rusiński E. (1994): *Metoda elementów skończonych. System COSMOS/M*. Warszawa, Wydaw. Komunikacji i Łączności.
9. Stałęga S. (2001): *Podstawy teoretyczno-badawcze projektowania szkieletowych konstrukcji obudowy skrzyżowań i odgałęzień wyrobisk korytarzowych*. Prace Naukowe GIG nr 845.
10. Structural Research and Analysis Corporation (1999): *COSMOS/M User's Guide*. Los Angeles.

Recenzent: dr inż. Krzysztof Pacześniowski