

*Marek Rotkegel**

METODA OKREŚLANIA OBCIĄŻENIA PORTALOWEJ OBUDOWY ODGAŁĘZIEN WYROBISK KORYTARZOWYCH NA PODSTAWIE JEJ DEFORMACJI

Streszczenie

Określenie obciążeń działających na portalową obudowę odgałęzień jest zagadnieniem skomplikowanym. Na etapie projektowania wykorzystywane są metody analityczne lub numeryczne. Bardzo ważna jest jednak weryfikacja obliczonych prognozowanych wartości obciążenia. Pomiar obciążeń w warunkach dołowych jest trudny. Problemy związane są przede wszystkim ze znacznymi gabarytami konstrukcji, dużymi powierzchniami zabezpieczanego górotworu i wynikającymi z tego wielkościami działających sił. W związku z tym zastosowanie mogą mieć metody pośrednie oparte na analizie wstecznej.

W artykule zaprezentowano metodę określania obciążeń działających na portalową obudowę odgałęzień wyrobisk korytarzowych, opartą na pomiarze deformacji konstrukcji zabudowanej w wyrobisku i porównaniu ich z deformacjami jej modelu numerycznego. Przeprowadzone badania pilotażowe wskazały na celowość rozwijania tej metody, a także na konieczność dokonywania pomiarów geometrii konstrukcji zarówno w trakcie montażu próbnego u producenta, jak i tuż po zabudowie w wyrobisku. Pozwoli to uzyskać bazę do późniejszych akcji pomiarowych, a także diagnostyki konstrukcji.

Method of determining the load of portal support of the splits of roadways on the basis of its deformation

Abstract

The determination of load influencing the portal support of the roadways junction has been regarded as a complicated issue. At the design stage, the analytical or numeric methods have been used. However, the verification of the calculated forecast load values has been treated as a very important problem. The measurement of load in the underground conditions has been regarded as a difficult matter. In this case the problems have been related primarily to the considerable size of construction, large surfaces of the secured rock mass and consequently sizes of the operating forces. As a result, the indirect methods based on the reverse analysis could be applied.

The article presents the method, for determining the load influencing the portal support of the splits of roadways, based on measurements of deformation of the construction in the mine working and on comparison of them to deformations of its numerical model. The carried out pilot studies have indicated the desirability of developing this method and, at the same time, the need for measuring the construction geometry in both the test assembly at manufacturer stage and just after the installation in mine workings. This would allow to obtain a database for the subsequent measurement actions and the construction diagnostics.

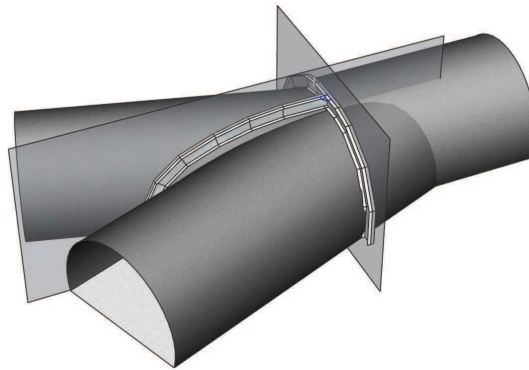
1. WPROWADZENIE

Portalowe obudowy połączeń wyrobisk korytarzowych stosowane są coraz częściej w polskich kopalniach węgla kamiennego. W ostatnich pięciu latach wyraźny jest wzrost liczby projektowanych i wykonywanych konstrukcji tego typu. Zwiększenie

* Główny Instytut Górnictwa

zapotrzebowania kopalń na konstrukcje portalowej obudowy odgałęzień i skrzyżowań jest powiązane z koniecznością zabezpieczenia połączeń wyrobisk wykonywanych w coraz trudniejszych warunkach geologiczno-górnich (większa głębokość, gabaryty i obciążenia obudowy oraz zaszczości eksploatacyjne). Istotne jest także znaczne zmniejszenie wysokości tak zabezpieczonego odgałęzienia w porównaniu do zabezpieczonego obudową tradycyjną typu palmowego, której wysokość w miejscu wlotu do wyrobiska dochodzącego, często przekracza 6,0 m. Eliminuje to konieczność zbędnego urabiania i odstawy dużych objętości skał stropowych. Ponadto ważną zaletą takich obudów jest ich indywidualne dopasowanie do wymagań odbiorcy, co ma duże znaczenie, zwłaszcza w przypadku skomplikowanych geometrycznie połączeń wyrobisk.

Najczęściej stosowana obudowa odgałęzień składa się z dwóch zasadniczych zespołów: **portalu** oraz **wspornika**. Wspornik wykonany jest z pięciu do siedmiu belek i usytuowany ponad linią przenikania konturów wyrobisk. Portal rozpięty jest ponad łączącymi się wyrobiskami i stanowi podparcie dla wspornika. W zdecydowanej większości przypadków jest on wykonany z pięciu belek. Zarówno portal, jak i wspornik są posadowione na spodku wyrobiska za pomocą dodatkowych elementów o specjalnej konstrukcji, stanowiących upodatkowanie szkieletu. Ważną częścią obudowy są także **odrzwia przejściowe**, zabezpieczające odcinek wyrobiska przed portalem oraz **odrzwia uzupełniające**, połączone przegubowo ze wspornikiem. Na rysunku 1 przedstawiono podstawowe założenia przyjmowane w projektowaniu obudowy odgałęzień, tzn. usytuowanie portalu i wspornika w przestrzeni połączenia wyrobisk.



Rys. 1. Założenia w projektowaniu portalowej obudowy odgałęzienia

Fig. 1. Assumptions in the design of the portal support of the split

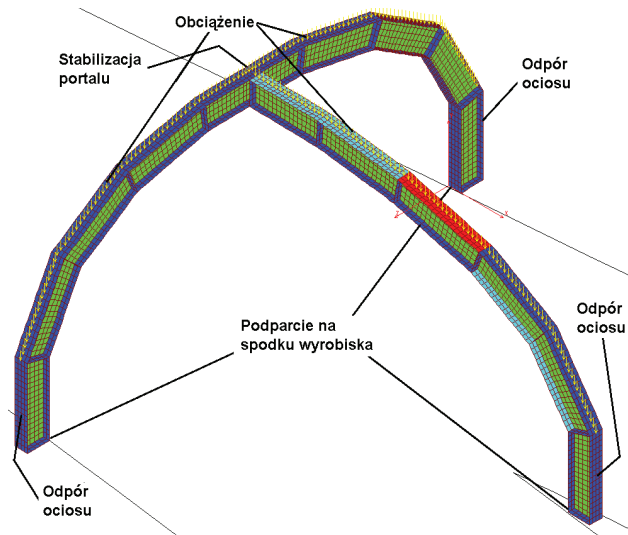
2. METODA OKREŚLANIA OBCIĄŻEŃ NA PODSTAWIE STANU DEFORMACJI KONSTRUKCJI

Poprawne zaprojektowanie każdej konstrukcji wymaga znajomości obciążeń, jakie będą na nią działały w całym zaplanowanym okresie jej użytkowania. Jest to szczególnie istotne w przypadku portalowej obudowy odgałęzień i skrzyżowań, gdzie silnie ograniczone są możliwości późniejszej ingerencji w konstrukcję i ewentualne jej

wzmocnienie. Na etapie projektowania do obliczania obciążeń są wykorzystywane metody analityczne, zawarte w metodach doboru obudowy lub metody numeryczne. Często jednak projektowane konstrukcje portalowych obudów połączeń wyrobisk korytarzowych, ze względu na znaczne gabaryty, są na granicy obowiązywania zasad, a nawet je przekraczają. Z tego względu ważna jest weryfikacja obliczeń już w warunkach dołowych. Jednak określenie obciążeń portalowej obudowy *in situ* nastęrcza szereg trudności. Najważniejsze z nich to duże wartości sił działających na obudowę, wynikające ze znacznych gabarytów wyrobisk, zwłaszcza w rejonie naroża odgałęzienia. Pomiar tych sił wymagałby zastosowania specjalnie konstruowanych dynamometrów, dopasowanych zakresem pomiarowym do konkretnej konstrukcji. Opracowane w ostatnich latach systemy monitoringu (Prusek 2008) mogłyby zostać wykorzystane jedynie w zakresie badania obciążenia odrzwi. Znacznie lepszym i tańszym sposobem szacowania tych sił są metody pośrednie, przykładowo oparte na analizie stanu deformacji zabudowanej konstrukcji.

Metoda określania obciążeń działających na obudowę przez pomiar jej deformacji, polega na poszukiwaniu takiego schematu i wartości obciążenia modelu numerycznego, przy którym odpowiedź modelu jest identyczna z odpowiedzią rzeczywistej konstrukcji zabudowanej w konkretnym wyrobisku. Przez porównanie ugięć elementów konstrukcji i modelu (porównanie przemieszczeń węzłów modelu z przemieszczeniami charakterystycznych punktów) możliwe jest określenie obciążeń wywołujących to ugięcie.

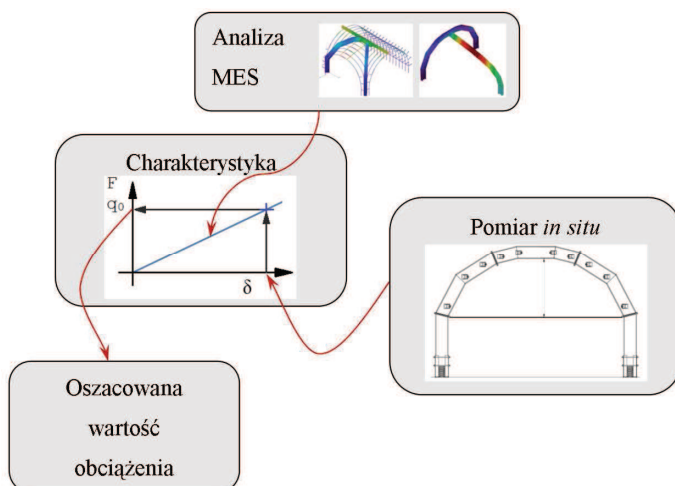
Podczas projektowania obudowy połączenia wyrobisk prowadzi się weryfikację wytrzymałościową nowo opracowanej konstrukcji (Prusek, Rotkegel, Skrzyński 2006; Rotkegel 2003). W tym celu najczęściej wykorzystywany jest program COSMOS/M v 2.5 (Rusiński 1994) oparty na metodzie elementów skończonych (MES, FEM, FEA) (Chmielewski, Nowak 1996; Rusiński 1994). Przeprowadzenie analizy wymusza budowę modelu numerycznego, odzwierciedlającego cechy geometryczne i fizyczne projektowanej konstrukcji. Następnie model zostaje podparty w miejscach analogicznych, tak jak w przypadku rzeczywistej obudowy. Podpory definiowane są w miejscu kontaktu obudowy ze spodkiem wyrobiska, a także w miejscu kontaktu elementów upodatniających z ociosami i narożem. Model obciąża się w taki sposób, aby uzyskać prognozowane wartości sił, jakimi górotwór będzie oddziaływał na obudowę. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy model konstrukcji zasadniczej (portalu i wspornika) przygotowany do obliczeń.



Rys. 2. Model obudowy portalowej przygotowany do obliczeń
Fig. 2. Portal support model prepared for calculations

Odpowiednio podparty i obciążony model poddawany jest obliczeniom. W ich wyniku uzyskuje się przemieszczenia poszczególnych węzłów konstrukcji oraz wartości sił wewnętrznych, co jest następnie przeliczane w sposób automatyczny na naprężenia.

Z uwagi na cel analizy, czyli wsteczne określenie obciążeń działających na obudowę, istotną rolę odgrywają deformacje modelu i przemieszczenia charakterystycznych węzłów. Dla konkretnej konstrukcji, o ustalonych gabarytach i materiałach oraz zastosowanych przekrojach poszczególnych elementów, można przypisać określoną wielkość obciążenia. W przypadku modelu sprężystego istnieje proporcjonalna zależność między obciążeniem modelu i jego deformacjami oraz naprężeniami. W przypadku modelu sprężysto-plastycznego, w momencie przekroczenia granicy plastyczności materiału i wystąpienia lokalnego uplastycznienia konstrukcji, zależności te zmieniają się nieproporcjonalnie. W takich sytuacjach możliwe jest także wyznaczenie charakterystyki odkształceniowej całej konstrukcji. Ideę oszacowania obciążenia obudowy, na podstawie pomiarów deformacji konstrukcji, zaprezentowano na rysunku 3.



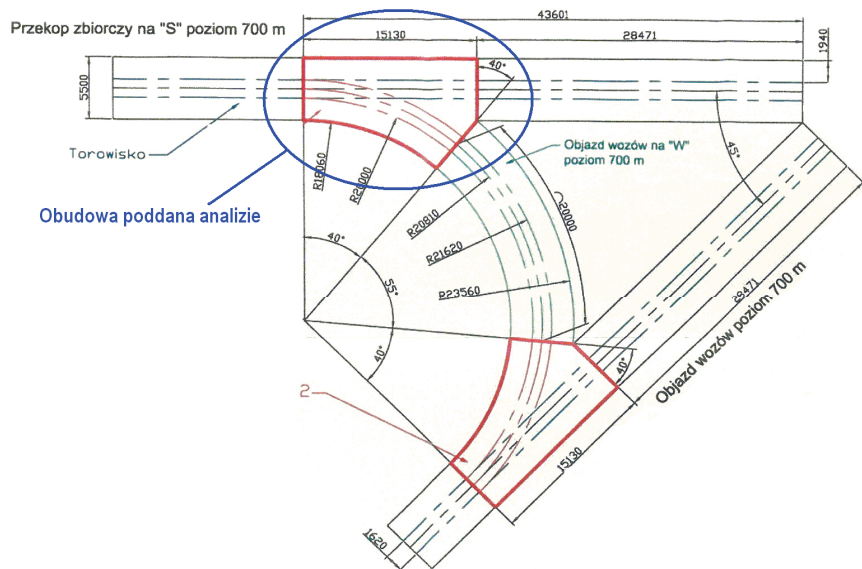
Rys. 3. Idea wyznaczenia obciążenia obudowy na podstawie jej deformacji

Fig. 3. Idea of determining the load of portal support on the basis of its deformation

Warunki kopalniane najczęściej nie stwarzają możliwości pomiarów deformacji całej obudowy, ze względu na zainstalowane w rejonie połączenia wyrobisk maszyny i urządzenia. Doświadczenie wskazuje, że w większości przypadków możliwe jest jedynie określenie ugięcia portalu przez pomiar położenia dolnego pasa belki głównej względem przyjętej bazy pomiarowej.

3. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA I WERYFIKACJI METODY

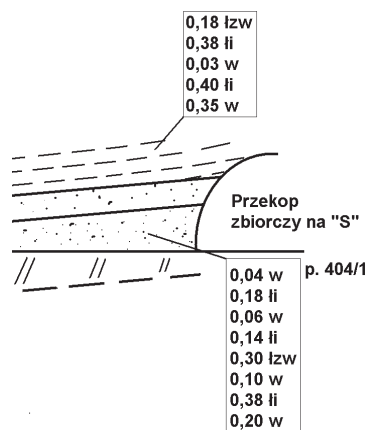
Przykładem zastosowania opracowanej metody jest analiza obudowy odgałęzienia wyrobisk, zabudowana w 2011 r. w kopalni „Chwałowice”. Zaprojektowana konstrukcja zabezpiecza połączenie przekopu zbiorczego na „S” poziom 700 m z objazdem wozów na „W”. Geometrię połączenia wyrobisk przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Odgańlenie przekopu zbiorczego na „S” poziom 700 m z objazdem wozów na „W” w kopalni „Chwałowice”

Fig. 4. A split of the cumulative cross-cut at the "S" level of 700 m with the car detour in "W" in the "Chwałowice" mine

Objazd wozów na „W” zlokalizowany jest na poziomie 700 m, w partii macierzystej, na zachodnim skrzydle niecki, w części A. W tym rejonie nie prowadzono eksploatacji, a także nie stwierdzono żadnych zaburzeń tektonicznych. Połączenie przekopu zbiorczego na „S” z objazdem wozów na „W” usytuowane w pokładzie 404/1, zbudowane jest w tych okolicach z naprzemianległych warstw węgla i łupku ilastego. W części stropowej natomiast zalega wyłącznie łupek ilasty. Przekrój podłużny przez przekop zbiorczy na „S” w rejonie połączenia przedstawiono na rysunku 5. Parametry skał według danych pochodzących z kopalni „Chwałowice” zestawiono w tabeli 1.



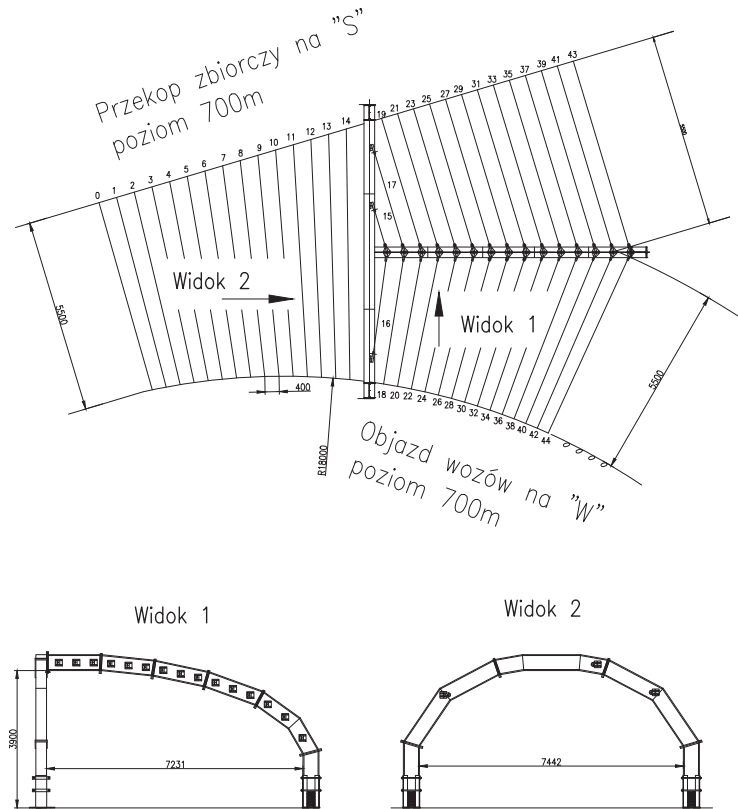
Rys. 5. Przekrój podłużny przez przekop zbiorczy na „S”

Fig. 5. Longitudinal cross section of the cumulative cross-cut "S"

Tabela 1. Parametry skał w rejonie połączenia wyrobisk

Litologia	R_c , MPa	Rozmakalność	RQD, %
Łupki ilaste (iłowce)	43,3	0,8–1,0	70,8
Łupki piaszczyste (mułowce)	62,9	1,0	–
Piaskowce	87,7	1,0	–
Węgla	24,3	–	–

Wstępne przyjęcie gatunków materiałów oraz kształtowników na poszczególne elementy obudowy wymaga obliczenia spodziewanych obciążeń działających na konstrukcję. W tym celu, w oparciu o *Uproszczone zasady doboru obudowy...* (Rułka i in. 2001) oraz przedstawione dane, określono wartości tego oddziaływania na poziomie $q_0 = 0,063$ MPa. Obliczenia zostały wykonane dla strefy odgałżenia o największych gabarytach przekroju poprzecznego. Uwzględniając zarys łączących się wyrobisk oraz obciążenia, przyjęto postać konstrukcyjną projektowanej obudowy, zaprezentowaną na rysunku 6.



Rys. 6. Zarys obudowy odgałęzienia portalowego przekopu zbiorczego na „S” poziom 700 m z objazdem wozów na „W” w kopalni „Chwałowice”

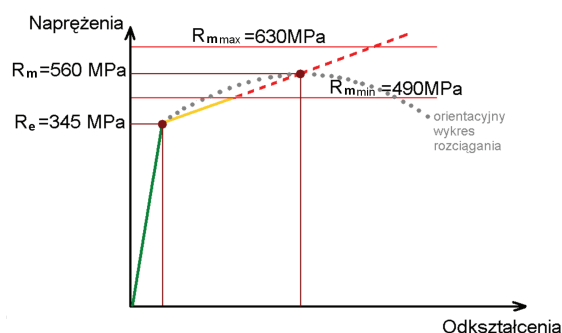
Fig. 6. An outline of the portal support split of the cumulative cross-cut at the "S" level of 700 m with the car detour in "W" in the "Chwałowice" mine

Obudowa omawianego odgałęzienia składa się z konstrukcji zasadniczej oraz z drzwi przejściowych i uzupełniających, wykonanych z kształtownika V32 ze stali zgodnie z wymaganiami PN-H-93441-1. Drzwi przejściowe (14 szt.), zabudowywane przed portalem, stanowią łagodne przejście z obudowy typowej ŁP10 (zabudowanej poza odgałęzieniem) na obudowę zasadniczej części odgałęzienia, natomiast drzwi uzupełniające (30 szt.), połączone z belkami wspornika, stanowią zabezpieczenie stropu i ociosów w głównej części odgałęzienia. Zasadniczą konstrukcją stanowi portal usytuowany ponad łączącymi się wyrobiskami oraz połączony z nim w pułapie wspornik, zabudowany w pobliżu linii przenikania zarysów wyrobisk. Nominalna szerokość portalu wynosi 7442 mm, a rozpiętość wspornika 7237 mm. Nominalna wysokość konstrukcji zasadniczej to 3900 mm. W analizowanej obudowie portal składa się z trzech belek, natomiast wspornik z pięciu. Cała konstrukcja zasadnicza jest posadowiona na spodku wyrobiska przez elementy upodatniające. Wszystkie belki wykonano z dwuteownika szerokostopowego IPB450 według PN-H-93452:2006 ze stali 18G2A.

Projektowaniu konstrukcji towarzyszyła analiza wytrzymałościowa, na podstawie której zweryfikowano przyjęte wstępnie podstawowe parametry przekrojowe i materiałowe konstrukcji. W pierwszym etapie obliczeń wytrzymałościowych portalu i wspornika zbudowano model z elementów typu SHELL (powłoka), odpowiadający geometrii zasadniczej konstrukcji obudowy odgałęzienia, na którą złożyło się 3060 czterowzłowych elementów powłokowych (SHELL), opisanych na 3048 węzłach. Elementy zostały ujęte w dwie grupy:

- pierwsza grupa to powłoki o grubości 26 mm, które modelowały półki belki portalu o przekroju dwuteowym (HEB450),
- druga grupa elementów to powłoki o grubości 14,0 mm modelujące środniki belek.

Kolejny etap obejmował ustalenie odpowiednich parametrów materiałowych. Przyjęto materiał nieliniowy przybliżony charakterystyką biliniową. Krzywa materiałowa została przedstawiona na rysunku 7. Założono dopuszczalny stan wyężenia równy 490 MPa (naprężenia zredukowane), odpowiadający minimalnej wytrzymałości materiału na rozciąganie.

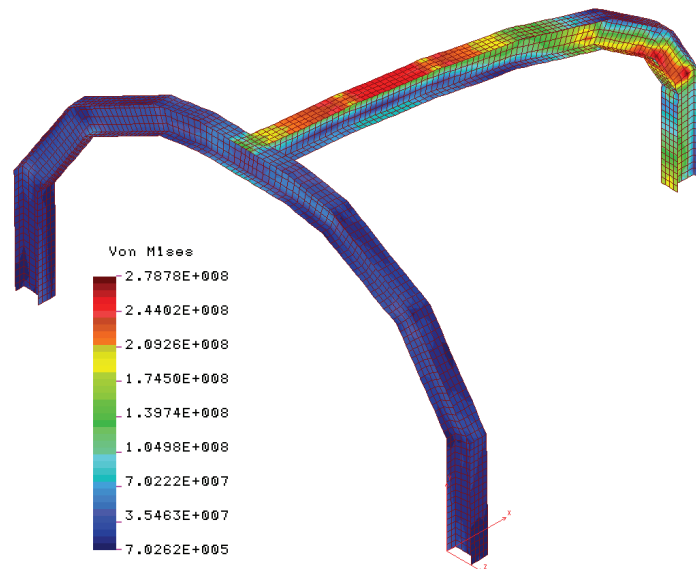


Rys. 7. Biliniowy model materiału

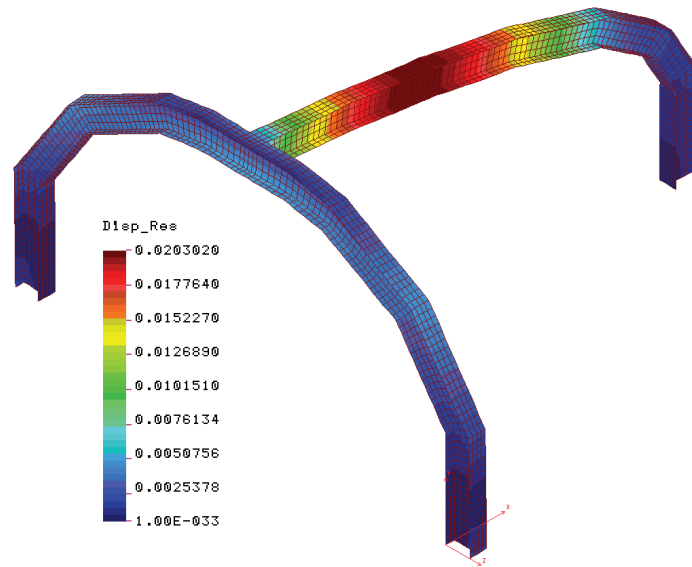
Fig. 7. Bilinear material model

Model obciążono w taki sposób, aby otrzymać obciążenie odpowiadające oddziaływaniu górotworu występującemu w miejscu zastosowania obudowy ($q_0 = 0,063$ MPa). Model został podparty podporami stałymi, które zlokalizowano w miejscu kontaktu ze spodkiem wyrobiska. Dodatkowo założono podparcie belek upodatniających tak, aby uniemożliwić zwiększenie rozpiętości portalu i wspornika.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano między innymi deformacje modelu, reakcje podporowe, składowe naprężenia oraz ich rozkład. Na rysunku 8 przedstawiono rozkład naprężeń zredukowanych, wyznaczony według hipotezy Hubera. Maksymalne wartości wywołane założonym obciążeniem ($\sigma_{red\ max} = 278,8$ MPa) są mniejsze od wytrzymałości materiału użytego na konstrukcję zasadniczą (stali 18G2A). Przy założonym obciążeniu konstrukcja ugina się o około 20,3 mm. Należy zaznaczyć, że maksymalne ugięcia występują w drugiej belce wspornika. Znacznie mniejsze wartości zaobserwowano natomiast w samym portalu. Deformacje modelu obrazuje rysunek 9.



Rys. 8. Rozkład naprężeń zredukowanych w konstrukcji (naprężenia [Pa], skala deformacji 10×)
Fig. 8. Distribution of stresses reduced in the construction (stress [Pa], deformation scale 10×)



Rys. 9. Deformacje konstrukcji (przemieszczenie [m], skala deformacji 10×)
Fig. 9. Deformation of the structure (displacement [m], deformation scale 10×)

Badana konstrukcja została zweryfikowana pozytywnie, co pozwoliło na podjęcie jej produkcji i zabudowę w wyrobisku. Na fotografii 1 przedstawiono obudowę podczas próbnego montażu u producenta, natomiast na fotografii 2 – zabudowaną już obudowę w rejonie odgałęzienia wyrobisk.



Fot. 1. Fragment obudowy odgałęzienia portalowego podczas próbnego montażu

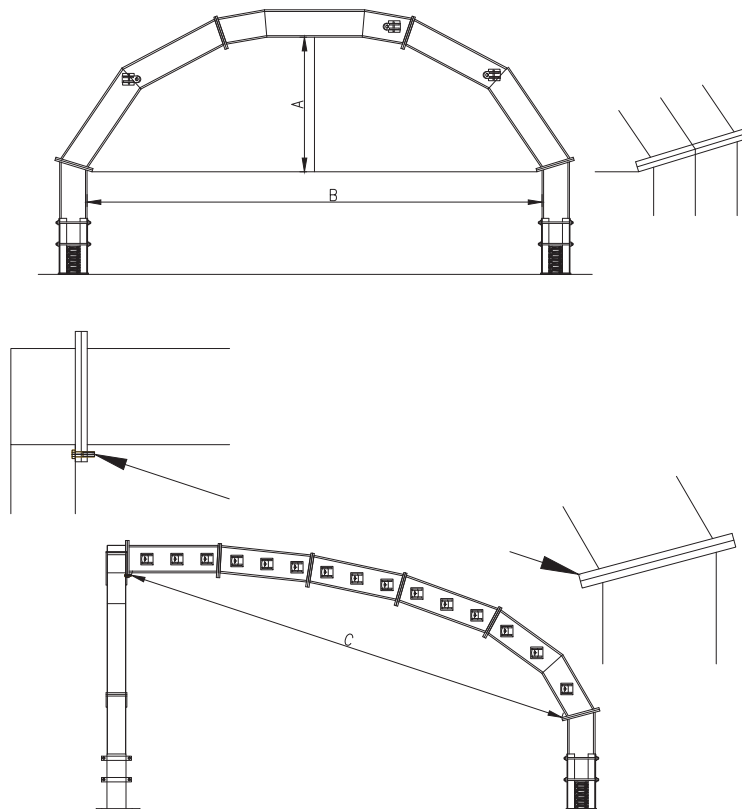
Photo. 1. A part of the portal support split during the trial assembly



Fot. 2. Obudowa odgałęzienia przekopu zbiorczego na „S” poziom 700 m z objazdem wozów na „W”

Photo. 2. The portal support split of the cumulative cross-cut at the "S" level of 700 m with the car detour in "W"

W celu weryfikacji uzyskanych wartości obciążeń, jakimi górotwór oddziałuje na obudowę, przeprowadzono pomiary deformacji konstrukcji zabudowanej w wyrobisku. Kolejnym krokiem było odniesienie ich do obrysu nominalnego. Podczas prowadzonych badań mierzono przede wszystkim położenie belki głównej portalu względem przyjętej bazy pomiarowej. Sposób dokonywania pomiaru obrazuje rysunek 10, otrzymane wyniki zestawiono natomiast w tabeli 2.



Rys. 10. Mierzone wielkości i przyjęta baza pomiarowa

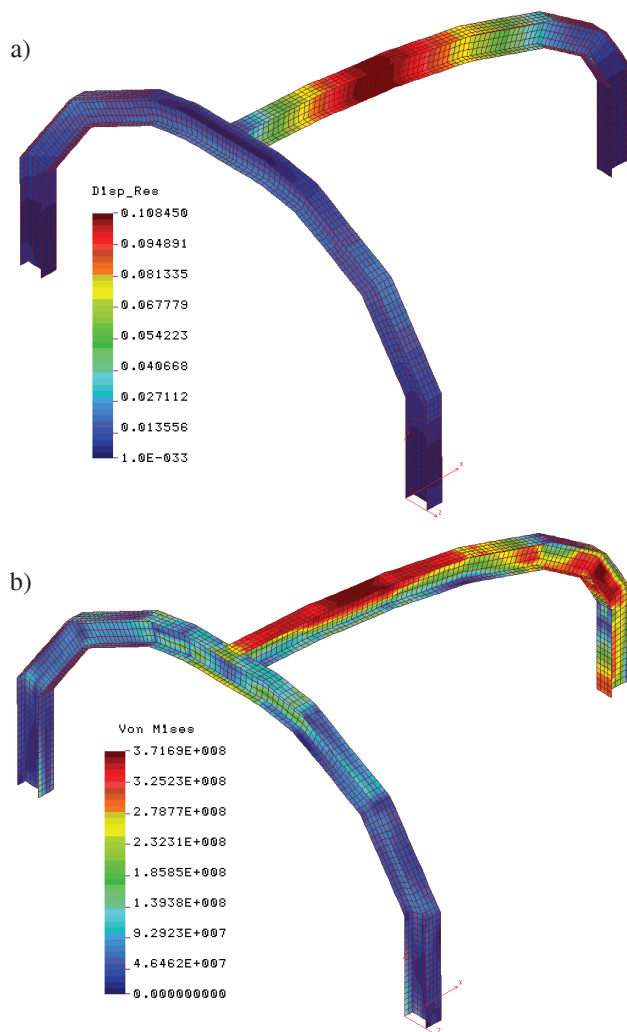
Fig. 10. Measured values and applied measuring base

Tabela 2. Wyniki pomiarów deformacji obudowy odgałęzienia portalowego przekopu zbiorczego na „S” poziom 700 m z objazdem wozów na „W” w kopalni „Chwałowice” (pomiaru wykonano 28.12.2011 r., czyli siedem miesięcy po zabudowie)

pomiar	A, mm		pomiar	B, mm		pomiar	C, mm	
	średnia z pomiarów	wymiar nominalny		średnia z pomiarów	wymiar nominalny		średnia z pomiarów	wymiar nominalny
2208	2208	2212	7443	7443	7442	7429	7430,5	7422
2208			7444			7432		
2208			7443					
2208			7442					
Różnica	-4,0		Różnica	+1,0		Różnica	+8,5	

Kolejnym etapem weryfikacji metody było znalezienie takiego obciążenia, przy którym model numeryczny obudowy odgałęzienia deformuje się (tzn. ugina) tak samo, jak rzeczywista konstrukcja zabudowana w wyrobisku. W tym celu w modelu numerycznym zwiększono obciążenie, aż do osiągnięcia ugięcia portalu 4,0 mm w miejscu prowadzenia pomiarów (wymiar A). W wyniku analizy otrzymano zdeformowaną postać modelu, a także odpowiadający jej rozkład naprężeń zredukowanych. Wyniki

tych obliczeń, tzn. deformacje oraz odpowiadające im naprężenia zredukowane przedstawiono na rysunku 11. Uzyskany w badaniach stan obudowy odpowiada obciążeniom górotworu na poziomie $q_0 = 0,107$ MPa.



Rys. 11. Ogólna postać zdeformowanego modelu (a) i rozkład naprężeń zredukowanych (b) przy obniżeniu belki głównej portalu 4,0 mm (przesunięcia [m], skala deformacji 1×)

Fig. 11. The general form of the deformed model (a) and the distribution of the reduced stresses (b) at the lower main portal beam 4.0 mm (displacement [m], deformation scale 1×)

Jak wynika z rysunku, uzyskanie ugięcia belek portalu na poziomie 4 mm związane jest z obciążeniem modelu o wartości $q_0 = 0,107$ MPa. Sytuacja ta powoduje wygenerowanie naprężeń zredukowanych w drugiej belce wspornika (najbardziej wyężonym miejscu konstrukcji) na poziomie 371,7 MPa oraz ugięcia wspornika, w tym miejscu wynoszącego 108 mm. Pozwala to zauważyć, że uzyskane w wyniku

badan dołowych i analizy numerycznej obciążenia obudowy są nieco większe od wyznaczonych za pomocą *Uproszczonych zasad doboru obudowy...* (Rułka i in. 2001). Należy jednak podkreślić, stosunkowo dużą niepewność analizy, ze względu na brak danych dotyczących gabarytów rzeczywistej konstrukcji zabudowanej w wyrobisku. Wynika ona z tolerancji wykonania poszczególnych elementów, a także ze sposobu montażu konstrukcji na dole kopalni.

Powyższe uwagi pozwalają zauważyć, że określenie obciążeń działających na portalową obudowę odgałęzień, oprócz pomiarów podczas próbnego montażu u producenta, wymaga dokonania dokładnych pomiarów geometrii konstrukcji tuż po zakończeniu jej zabudowy w wyrobisku. Pozwoli to stworzyć bazę dla późniejszej oceny deformacji konstrukcji.

4. PODSUMOWANIE

Określenie obciążeń działających na obudowę przez pomiar ugięć konstrukcji jest zagadnieniem bardzo złożonym, w wielu sytuacjach trudnym do realizacji, a w niektórych nawet niemożliwym. Metodę weryfikowano na sześciu konstrukcjach portalowych obudów odgałęzień. W dwóch przypadkach rozmieszczenie maszyn i urządzeń w wyrobisku uniemożliwiło dokonanie pomiarów, natomiast w trzech pomiary wskazywały na zbyt duże różnice między gabarytami nominalnymi (wynikającymi z projektu) a rzeczywistymi. Wyłącznie w jednym przypadku uzyskano zadowalające wyniki. Pomimo tych utrudnień przeprowadzone badania przyczyniły się do uściślenia metodyki pomiarów. W celu uzyskania właściwej bazy pomiarowej konieczne jest wykonanie pomiarów konstrukcji podczas montażu próbnego u producenta, a także w początkowym okresie jej użytkowania, tzn. już po zabudowie. Odniesienie późniejszych pomiarów do takich baz wyraźnie poprawi dokładność metody.

Przeprowadzone analizy modelowe potwierdziły także, że ważne zagadnienie stanowi wybór miejsca wykonania pomiaru deformacji. Najwygodniejszy w warunkach dołowych jest pomiar ugięcia portalu, natomiast zdecydowanie lepsze rezultaty i większą dokładność można osiągnąć, dokonując pomiarów przemieszczenia drugiej lub trzeciej belki wspornika, licząc od portalu, gdzie przemieszczenia te są kilkakrotnie większe. Niestety pomiar ten jest znacznie trudniejszy, a dodatkowo często niemożliwy do przeprowadzenia, ze względu na zainstalowane urządzenia.

Literatura

1. Chmielewski T., Nowak H. (1996): *Mechanika budowli. Metoda przemieszczeń. Metoda Crossa. Metoda elementów skończonych*. Warszawa, Wydaw. Naukowo-Techniczne.
2. COSMOS/M v 2.5. User's Guide. Structural Research & Analysis Corporation, 1999.
3. Prusek S., Rotkegel M., Skrzyński K. (2006): *Komputerowe wspomaganie projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych i ich połączeń*. Przegląd Górniczy nr 3.
4. Prusek S. (2008): *Rozwinięty system monitoringu obudowy wyrobisk korytarzowych*. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko nr 3.
5. Rotkegel M. (2003): *Przykładowy przebieg wytwarzania obudowy połączeń wyrobisk korytarzowych*. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko nr 4.

6. Rotkegel M. i inni (2011): Badania obciążeń obudowy połączeń wyrobisk korytarzowych w warunkach dołowych. Dokumentacja pracy statutowej GIG nr 111 10301-151. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (niepublikowana).
7. Rułka K. i inni (2001): Uproszczone zasady doboru obudowy odrzwiowej wyrobisk korytarzowych w zakładach wydobywających węgiel kamienny. Katowice, Główny Instytut Górnictwa, Seria Instrukcje nr 15.
8. Rusiński E. (1994): Metoda elementów skończonych. System COSMOS/M. Warszawa, Wydaw. Komunikacji i Łączności.