

Kompozytowa stopa podporowa obudowy stalowej - projektowanie i badania

Composite base for steel arch support – designing and lab testing process



Mgr inż. Łukasz Szot^{*)}



Mgr inż. Dagmara Sobczak^{*)}

Treść: W artykule przedstawiono przebieg procesu projektowania kompozytowej stopy podporowej do posadowienia odrzwi obudowy, przy wykorzystaniu nowoczesnych narzędzi inżynierskich. W wyniku tych działań m.in. przygotowano komputerowy model przestrzenny na potrzeby druku 3D i analiz wytrzymałościowych, sporządzono formy i dobrano skład materiału kompozytowego (polimerobetonu) oraz wykonano szereg badań stanowiących, prowadzących do optymalizacji ostatecznego produktu. Projekt kompozytowej stopy podporowej powstał w wyniku realizacji zadania cząstkowego pracy pt. „Kompozytowe akcesoria obudowy wyrobisk korytarzowych”, realizowanej w ramach działalności statutowej Głównego Instytutu Górnicztwa w Katowicach.

Abstract: This paper presents the process of designing a new supporting base (from a concept to the finished product) using modern engineering tools. During the process a 3D model was created, forms were made in 3D printing technology, composite material was cautiously selected and strength test, leading to the optimization of the final product, were conducted. The design of the polymer concrete supporting base came as a result of the task of work titled „Composite housing accessories” carried out as part of statutory activities of the Central Mining Institute in Katowice.

Słowa kluczowe:

akcesoria obudowy, wyrobiska korytarzowe, stopa podporowa, materiały kompozytowe

Keywords:

steel arch support accessories, mine workings, base support, composite materials

1. Wprowadzenie

Rzeczywistość technologiczna górnictwa jest od dawna na poprawę bezpieczeństwa pracy przy jednoczesnej redukcji kosztów wydobycia surowca. Nowoczesne trendy projektowe w branży górniczej, obok nieustannego rozwoju stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych, coraz częściej skupiają się na wykorzystaniu nowatorskich osiągnięć inżynierii materiałowej. Przykładem takiego stanu rzeczy jest coraz powszechniejsze zastosowanie materiałów kompozytowych na wyroby dla górnictwa podziemnego, np. na opinkę obudowy chodnikowej (siatki kompozytowe z włókien szklanych lub bazaltowych) czy też kotwy wklejane z włókna szklanego ([Źródło internetowe](#)).

Kompozytem nazywa się materiał inżynierski o niejednorodnej strukturze, stanowiący kombinację dwóch lub więcej faz, o różnych (zazwyczaj diametralnie) własnościach fizykochemicznych i parametrach wytrzymałościowych. Przeważnie jeden z komponentów (cząstka, włókno, tkanina) odpowiada za podstawowe własności materiału kompozytowego (np.

wytrzymałość na rozciąganie, zużycie ściernie itp.), drugi natomiast (polimer, metal, materiał ceramiczny) jest lepiszczem, stanowiącym jego osnowę. Własności kompozytu stanowią swoistą wypadkową własności każdego z komponentów składowych. Możliwość łączenia „składników” bez zmiany ich tożsamości (w kompozycie nie rozpuszczają się one w sobie) stanowi o sposobności uzyskania materiału o własnościach niemożliwych do uzyskania oddzielnie przez żadną z faz ([Dobrzański 2006](#)).

Materiały kompozytowe wykorzystywane są w wielu gałęziach przemysłu m.in. w budownictwie, przemyśle wysokiej technologii, transporcie kolejowym, lotniczym i samochodowym, czy w stomatologii, a więc wszędzie tam, gdzie ich właściwości sprawdzają się lepiej, niż właściwości materiałów jednorodnych. Ze względu na szerokie możliwości modyfikacji własności kompozytów (takich jak palność czy antystatyczność), materiały tego typu coraz częściej znajdują swoje miejsce w górnictwie podziemnym. Prace prowadzone obecnie w Głównym Instytucie Górnicztwa sprawdzają przydatność różnych grup kompozytów, jako materiałów do produkcji akcesoriów obudowy wyrobisk korytarzowych: stóp podporowych, rozpór oraz okładzin. Jednym z obszarów badań jest określenie możliwości wykorzystania polimero-

^{*)} Główny Instytut Górnicztwa, Katowice

betonów do wytworzenia stóp podporowych dla stalowej obudowy chodnikowej.

Polimerobeton, będący kompozytem kruszywa i żywic syntetycznych, wyróżnia się od betonów i stali zwiększoną odpornością na działanie agresywnego środowiska chemicznego. Wśród innych zalet tego materiału można wymienić stosunkowo niewielką nasiąkliwość (ok. 0,05 %), a także dobrą wytrzymałość na ściskanie (50-140 MPa) i rozciąganie (10-25 MPa). Dla porównania, beton bez dodatków polimerowych charakteryzuje się nasiąkliwością ok. 3,0 %, wytrzymałością na ściskanie 20-50 MPa i rozciąganie 2-4 MPa. Zastosowanie materiału o takich własnościach do wytworzenia stopy podporowej w założeniu ma ograniczyć masę gotowego wyrobu (w stosunku do znanych rozwiązań), jak również ograniczyć wrażliwość na działanie wody.

Obecnie w górnictwie stosowane są dwa rodzaje stóp podporowych. Pierwszym z nich są stopy stalowe wg normy **PN-G-15000-1988**, drugie to prefabrykowane elementy betonowe - tzw. betonity fundamentowe wg normy **PN-G-14050-1998**. Celem projektu jest dobranie kształtu stopy podporowej oraz składu polimerobetonu do jej produkcji, które gwarantować będą pożądane właściwości wytrzymałościowe, antystatyczne i antykorozyjne, a przy tym niższą masę w porównaniu do tradycyjnych betonitów fundamentowych.

2. Rola stopy podporowej w prawidłowej pracy odrzwi

Celem stosowania obudowy wyrobisk korytarzowych jest zapewnienie stateczności wyrobiska w założonym czasie, co jest warunkiem zapewnienia bezpieczeństwa pracownikom, zabezpieczenia sprzętu i maszyn oraz zachowania niezbędnych wymiarów wyrobiska i jego przekroju poprzecznego. Najbardziej korzystne jest takie wykonanie obudowy, aby przylegała ona ściśle do odsłoniętej powierzchni górotworu, utrzymując stan deformacji i naprężeń maksymalnie zbliżony do panującego w górotworze nienaruszonym przed wykonaniem wyrobiska. Prawidłowo wykonana obudowa charakteryzuje się również odpowiednim posadowieniem końców łuków ociosowych na spągu, co ma na celu zapewnienie wymaganej podporności i właściwego charakteru pracy (zsuwów w złączach ciernych) całego układu, a przede wszystkim przeniesienie obciążenia na podłoże.

Obecnie powszechnie stosowaną do zabezpieczenia wyrobisk korytarzowych jest obudowa stalowa podatna wykonywana z profili korytkowych. W polskich kopalniach węgla kamiennego najczęściej stosuje się kształtowniki typu V o wyróżnikach wielkości V25, V29, V32 i V36. Jednak na obudowę, obok łuków stalowych, składa się także wiele innych elementów. Istotnymi elementami obudowy podporowej są strzemiiona, rozpory oraz opinka, natomiast za bezpośrednią współpracę pomiędzy odrzwiami a górotworem odpowiadają wykładka oraz stopy podporowe.

Ponieważ tak istotne jest zapewnienie bezpośredniego kontaktu obudowy z odsłoniętą powierzchnią górotworu, dla optymalnego wykorzystania parametrów wytrzymałościowych i podpornościowych obudowy, w kopalniach stosowana jest wykładka mechaniczna z zastosowaniem spoiw mineralnych. W przeciwieństwie do wykładki ręcznej zapewnia ona równomierny rozkład obciążenia, ogranicza rozwarstwianie się skał stropowych, a przy tym wpływa na poprawę stabilizacji odrzwi i, przede wszystkim, zasadniczo zwiększa parametry nośności zastosowanych odrzwi (**Rułka i in. 2001**).

W przypadku występowania słabych skał spągowych, niemożliwe jest zapewnienie odpowiedniej współpracy obudowy z górotworem, bez zastosowania elementów posadowienia pod końcami łuków ociosowych. Udowodniono, że w warunkach

słabego spągu kluczowym staje się zwiększenie powierzchni posadowienia odrzwi na spągu poprzez zastosowanie dodatkowych elementów zwiększających powierzchnię oddziaływania łuku ociosowego na spąg (**Rotkegel, Bock 2015**). Przedstawione analizy wskazały, że sztywność i powierzchnia stopy podporowej, na której stawiane są łuki ociosowe, ma kluczowe znaczenie dla skuteczności działania całych odrzwi. Obecność i wielkość stopy podporowej wpływa na możliwość przeniesienia na spąg w miejscu posadowienia siły o większej wartości, jak również na wartość przemieszczenia całych odrzwi. Nieprawidłowy dobór wielkości i rodzaju stopy podporowej zmniejsza skuteczność działania odrzwi, redukuje znaczenie precyzyjnego wykonania wykładki, a w skrajnych przypadkach prowadzi do niestabilności obudowy i wzrostu ryzyka wystąpienia wypadku.

Według normy **PN-G-06011-2013** konieczne jest umieszczenie odrzwi na stalowych stopach podporowych, betonitach fundamentowych lub podkładkach drewnianych, jeżeli wytrzymałość skał spągowych na ściskanie nie przekracza 30 MPa. Wymagana powierzchnia stóp podporowych również jest zależna od wytrzymałości skał spągowych i wynosi 400 cm² lub 600 cm².

3. Koncepcja stopy podporowej

Z punktu widzenia inwestora, który finansuje budowę wyrobiska korytarzowego ważne jest, aby obudowa była wykonana z materiału wysokiej jakości, elementy obudowy miały jak najmniejszy ciężar, a równocześnie zachowany był odpowiedni wskaźnik nośności obudowy. Istotą wprowadzenia do użytku stóp polimerobetonowych jest obniżenie kosztów konstrukcji obudowy wyrobisk korytarzowych. Na tę wartość składa się koszt elementów obudowy oraz koszt jej montażu. Nowa stopa podporowa ma spełniać wymagania wytrzymałościowe oraz kryteria powierzchni rzutu podstawy zawarte w normie dotyczącej betonitów fundamentowych **PN-G-14050-1998**. Według wymienionej normy betonity fundamentowe dzieli się na dwa rodzaje:

A - betonity średnie, o powierzchni rzutu podstawy co najmniej 400 cm², przeznaczone do posadowienia odrzwi na spągu o wytrzymałości skał spągowych na ściskanie powyżej 4 MPa,

B - betonity duże, o powierzchni rzutu podstawy co najmniej 600 cm², przeznaczone do posadowienia odrzwi na spągu o wytrzymałości skał spągowych na ściskanie do 4 MPa.

Betonity fundamentowe powinny przenieść obciążenie próbne wywołane siłą pionową $P = 200$ kN (klasa z wyróżnikiem N) lub $P = 300$ kN (klasa z wyróżnikiem S), wywieraną poprzez kształtownik o najmniejszym przekroju poprzecznym, dla którego przeznaczony jest betonit.

Projekt kompozytowej stopy podporowej, poza spełnieniem warunków określonych w normie **PN-G-14050-1998**, powinien też cechować się jak najmniejszą masą pojedynczego elementu oraz atrakcyjną ceną (w porównaniu z prefabrykowanym elementem betonowym). Założeniem projektowym było opracowanie kształtu, który warunkowałby łatwiejszy transport (głównie ręczny) do miejsca montażu. Koncepcja nowej stopy podporowej zakłada więc:

- możliwość stosowania przy występowaniu skał spągowych o niewielkich wartościach wytrzymałości na ściskanie, tj. < 4 MPa,
- powierzchnię rzutu podstawy nie mniejszą niż 600 cm²,
- zdolność do przenoszenia obciążenia próbnego wywołanego siłą pionową wywieraną przez kształtownik nie mniejszego niż 300 kN,

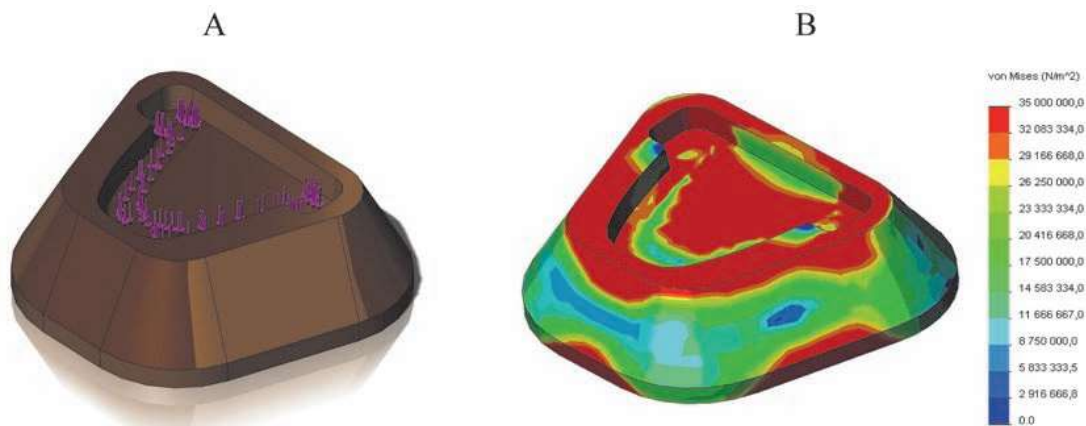
- mniejsza masa elementu od masy betonitu fundamentowego (docelowo maksymalnie 7,5 kg/szt.),
- możliwość wygodnego i prostego transportu ręcznego (pakiety po 4 szt. o maksymalnej masie sumarycznej 30 kg),
- konkurencyjną cenę.

3.1. Projektowanie stopy podporowej

W procesie projektowania kompozytowej stopy podporowej wyróżniono kilka zasadniczych etapów. Faza początkowa wiązała się bezpośrednio z rozpoznaniem potrzeb i preferencji rynku górniczego, a także z analizą obowiązujących przepisów, norm i już istniejących rozwiązań konstrukcyjnych. Etap obmyślenia - konceptowania - postaci konstrukcyjnej przyszłego wyrobu, polegał na wyborze geometrii i materiału, szczególnie pod kątem spodziewanych obciążeń i zachowania kluczowych walorów użytkowych. Podczas tej części prac prowadzono konsultacje ze specjalistami w dziedzinie inżynierii materiałów kompozytowych i ekspertami ds. doboru obudowy chodnikowej, w celu wytypowania rozwiązania najlepiej rokującego. Następnie, na podstawie wybranych koncepcji, stworzono trójwymiarowe modele wirtualne (rys. 1) w celu przeprowadzenia wstępnych analiz wytrzymałościowych (rys. 2), a także wykonania rzeczywistego modelu przestrzennego w technologii druku 3D (rys. 3) oraz dokumentacji wykonawczej stopy podporowej. Analizę wytrzymałościową przeprowadzono w oparciu o algorytmy metody elementów skończonych, wykorzystując środowisko obliczeniowe Solidworks Simulation. Obliczeniom odwzorowującym ściskanie stopy na podatnym podłożu (jak w badaniach stanowiskowych) poddano modele, którym



Rys. 1. Trójwymiarowy model stopy podporowej (Solidworks)
Fig. 1. Supporting base (3D model – Solidworks)



Rys. 2. Model obliczeniowy stopy podporowej i przykładowe wyniki obliczeń (Solidworks Simulation)
Fig. 2. Model of the supporting base and sample calculation results (Solidworks Simulation)

przypisano parametry materiałowe w sposób przybliżony opisujące zachowanie polimerobetonu (model materiałowy liniowy elastyczny izotropowy, wytrzymałość na rozciąganie: 12 MN/m², wytrzymałość na ściskanie 9 MN/m², współczynnik sprężystości wzdłużnej 28 000 MN/m², współczynnik sprężystości poprzecznej 113 820 MN/m², współczynnik Poissona 0,23, masa właściwa 2030 kg/m³, współczynnik rozszerzalności cieplnej 1,6·10⁻⁵ 1/K. Modele wsparto na podporze podatnej o sztywności normalnej 125 (MN/m)/m² i obciążono siłą pionową o wartości 300 kN, działającą na powierzchni o kształcie zgodnym z przekrojem kształtownika V29. Wyniki obliczeń pozwoliły oszacować wstępne wymagania wytrzymałościowe mieszanki polimerobetonowej do wykonania prototypów.

Kolejne działania zmierzały do wykonania prototypu z polimerobetonu, o składzie gwarantującym uzyskanie własności wytrzymałościowych wynikających ze wstępnych obliczeń numerycznych, ze szczególnym uwzględnieniem wytrzymałości na ściskanie i ścinanie. W tym etapie prac, w oparciu o wydruki przestrzenne, wykonano również odpowiednie formy, które posłużyły do „odlania” egzemplarzy testowych, przeznaczonych do badań stanowiskowych.

3.2. Postać geometryczna stopy podporowej

Dwa warianty geometrii prototypowej stopy podporowej (która, ze względu na geometrię przekroju kształtowników typu V, w rzucie z góry posiada kształt zbliżony do trapezu) zakładały wykonanie na górnej powierzchni stopy podporowej wyżłobienia, o kształcie pozwalającym na umieszczenie w nim kształtownika V29, V32 i V36 w sposób uniemożliwiający jego przemieszczenie względem stopy w wyniku oddziaływania sił poziomych.

Według wymagań normowych, a także założeń projektowych, powierzchnia rzutu podstawy stopy miała być nie mniejsza niż 600 cm². Przepisy nie precyzują jednak, czy pole rzutu tożsame jest z powierzchnią kontaktu stopy ze spągiem. Ze względu na zaistniałą dowolność, w celu optymalizacji kształtu i redukcji masy, dolna powierzchnia stopy została wyprofilowana na dwa sposoby:

- wariant I - z wycięciem umożliwiającym ustawianie stopy jedna na drugiej i jednoczesne klinowanie się, tworząc w ten sposób zwarte pakiety, ułatwiające transport ręczny (rysunek 4a). W wariacie tym, ze względu na wycięcie transportowe w podstawie, rzeczywiste pole kontaktu stopy z płaskim spągiem było mniejsze od przyjętych 600 cm²,



Rys. 3. Model stopy podporowej - wydruk 3D
Fig. 3. Supporting base model – 3D print

wariant II - z pominięciem wycięcia w części spodniej tak, aby pole powierzchni docisku stopy do spągu wyrobiska było tożsame z powierzchnią rzutu podstawy, tj. około 600 cm² (rysunek 4b).

Według wstępnych założeń, stopa podporowa według wariantu I miała charakteryzować się mniejszą masą niż wykonana według wariantu II (odpowiednio: ~5 kg i ~7,4 kg). Dodatkowym atutem wariantu z wycięciem w części spodniej była równa grubość wszystkich ścianek wyrobu, w całym przekroju stopy (korzyść technologiczna). Przewaga stopy według wariantu II polegać miała na mniejszym skomplikowaniu formy i bardziej równomiernym rozłożeniu nacisku na powierzchni kontaktu elementu ze spągami.

4. Badania laboratoryjne

Zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie (PN-G-14050-1998), w celu sprawdzenia wytrzymałości betonitu fundamentowego, element poddaje się obciążeniu wywołanym pionową siłą ściskającą w maszynie wytrzymałościowej poprzez prosty odcinek kształtownika. Badania należy prowadzić dla dwóch typów podłoża:

- płyty stalowej maszyny wytrzymałościowej,
- warstwy piasku o wilgotności min. 10% i grubości równej wysokości betonitu, o powierzchni co najmniej 4-krotnie większej od powierzchni podstawy betonitu.

Do pierwszego etapu badań wytrzymałościowych wykonano dwa prototypy, dla każdego z wariantów konstrukcyjnych.

Kolejne stopy podporowe o numerach testowych od 3 wzwyż wykonywano według drugiego wariantu. Decyzję taką podjęto głównie ze względu na trudność wykonania elementu zgodnie z wariantem I, a także z powodu mniejszej wytrzymałości na obciążenie testowe. Wartość siły niszczącej podczas badania stopy według wariantu II była prawie dwukrotnie większa od wartości tej siły dla stopy według wariantu I.

W całym procesie projektowym wykonano jedenaście różnych egzemplarzy stóp podporowych z polimerobetonu o różnym składzie i udziale procentowym faz. Do porównania wytypowano dwie z nich - nr 2 oraz nr 10. Dla próbki oznaczonej nr 10 stwierdzono największą wartość siły niszczącej P_{max} , dodatkowo pomiędzy próbkami nr 2 i 10 występowała największa różnica kompozycji składu polimerobetonu.

Poniżej przedstawiono porównanie wykresów ściskania stóp na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych w maszynie wytrzymałościowej, kolejno stopy nr 2 i nr 10. Stopy podporowe posadowione były na podłożu piaskowym, a umieszczone w stalowej skrzyni o wymiarach dna 500 x 500 mm. W czasie badania element kompozytowy poddany był ściskaniu siłą przenoszoną przez prosty odcinek kształtownika, która jest wynikiem przemieszczania się ze stałą prędkością tłoka maszyny wytrzymałościowej.

W wyniku badania otrzymano wykres zależności ściskającej siły osiowej od przemieszczenia tłoka maszyny wytrzymałościowej. Dla każdej z badanych stóp uzyskano wartość charakterystycznej siły niszczącej P_{max} . Wykres przedstawiono na rysunku 5, zaś maksymalne wartości siły ściskającej zawarte są w tabeli 1.

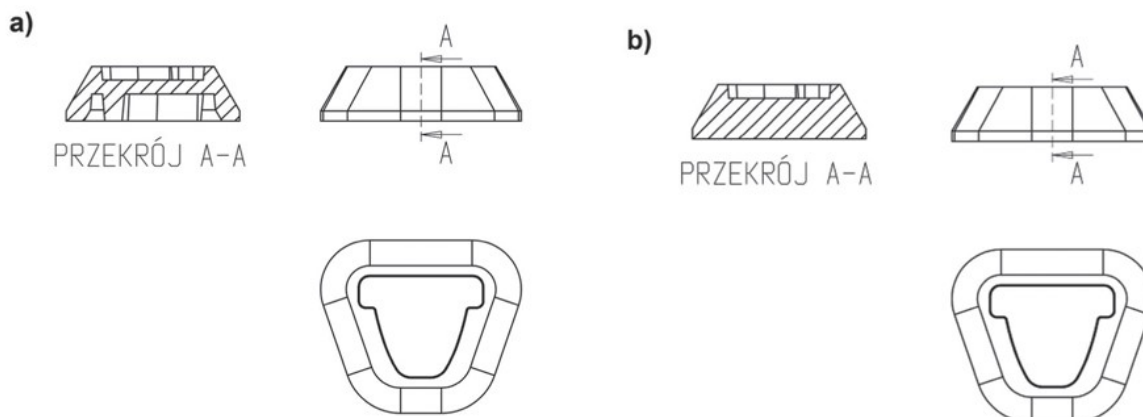
Tabela 1. Wartości siły niszczącej badanych stóp podporowych 2 i nr 10

Table 1. Values of destructive forces of supporting base no. 2 and no. 10

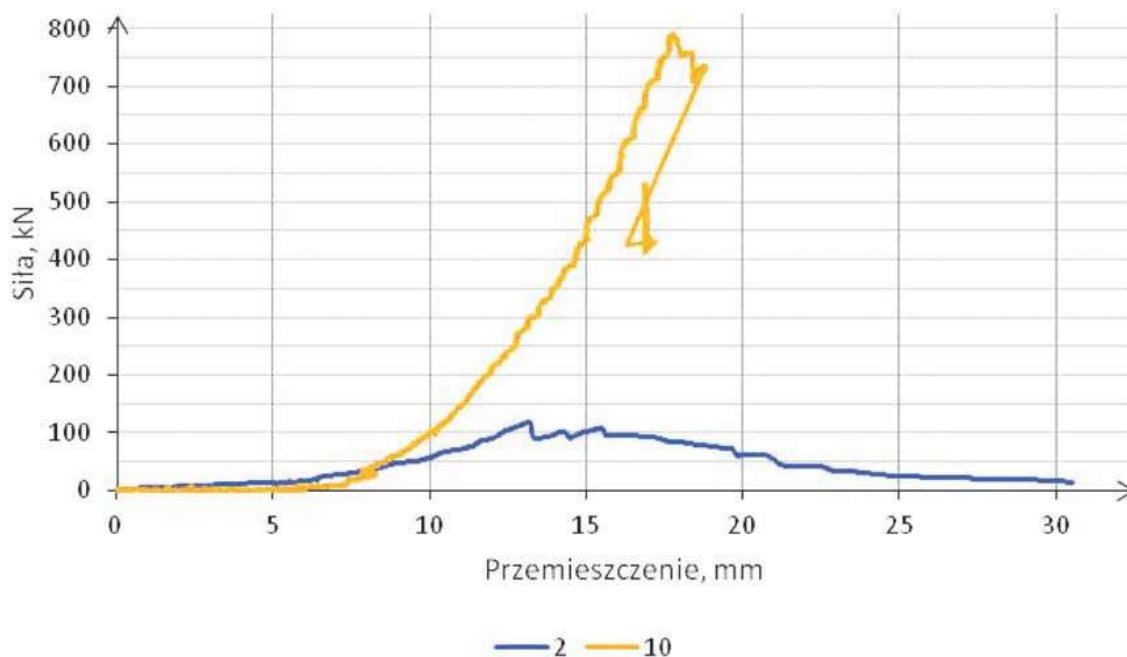
Nr stopy podporowej	P_{max} , kN
2	118,70
10	791,08

Na podstawie badania stopy podporowej nr 2 ustalono, że była ona w stanie przenieść siłę ściskającą o maksymalnej wartości 118,70 kN, co znacznie odbiegało od zakładanej wartości 300 kN. W wyniku optymalizacji składu polimerobetonu oraz sposobu wykonywania stopy podporowej, dla stopy podporowej nr 10 (wariant II) otrzymano wartość siły niszczącej $P_{max}=791,08$ kN, która znacznie przewyższała przyjęte kryterium nośności.

Fotografie stóp podporowych wykonanych po przeprowadzeniu badań laboratoryjnych przedstawiono na rysunkach 6 ÷ 7.



Rys. 4. Koncepcje stopy podporowej: a - wariant I, b - wariant II
Fig. 4. Supporting base (concept): a – type 1, b – type 2



Rys. 5. Wykres ściskania stóp podporowych nr 2 i nr 10

Fig. 5. Compression force - displacement response of supporting base no. 2 and no. 10



Rys. 6. Stopa podporowa nr 2

Fig.6. Supporting base no. 2



Rys. 7. Stopa podporowa nr 10

Fig.7. Supporting base no. 10

5. Podsumowanie

Wynikiem działań prowadzonych w ramach projektu „Kompozytowe akcesoria obudowy wyrobisk korytarzowych”, realizowanego w ramach działalności statutowej Głównego Instytutu Górniczego w Katowicach, było opracowanie nowatorskiego wyrobu - stopy podporowej do posadowienia odrzwi obudowy podporowej, wykonanej z materiału kompozytowego.

Pomyślne wyniki testów laboratoryjnych wskazują, iż docelowy poziom technologii został osiągnięty i nowa konstrukcja stopy może zostać, po przejściu procesu atestacji i uzyskaniu stosownego dopuszczenia, przeznaczona do produkcji i zastosowana w przewidywanych dla niej warunkach. Uzyskany egzemplarz spełnił najważniejsze ze stawianych mu założeń w ramach koncepcji projektu: zaprojektowana stopa ma powierzchnię podstawy nie mniejszą niż 600 cm² oraz przenosi obciążenie próbne o wartości większej niż 300 kN. Ze względu na spełnienie tych dwóch warunków możliwe jest

jej stosowanie w warunkach występowania skał spągowych o wytrzymałości na ściskanie < 4 MPa jako substytut dla betonitów fundamentowych zgodnych z normą PN-G-14050-1998.

Co istotne, masa pojedynczej stopy fundamentowej - egzemplarza nr 10 wynosi 7,1 kg. Oznacza to, że jest ona kilkukrotnie lżejsza od betonitu fundamentowego. W związku z tym, pomimo nieznacznie większej ceny 1 kg stopy z polimerobetonu w porównaniu do betonitu fundamentowego (koszt technologii i materiału), cena 1 sztuki stopy kompozytowej, wdrożonej do produkcji seryjnej, pozostanie konkurencyjna. Dodatkowo, zgodnie z przepisami BHP, stopa nowego typu, ze względu na mniejszą masę, może być przenoszona w pakietach po 4 sztuki, co jest ilością wystarczającą do posadowienia dwóch kompletów odrzwi obudowy łukowej.

Należy zauważyć, że badana stopa podporowa (próbka nr 10) zdolna była do przeniesienia obciążenia próbnego o wartości 791,08 kN, co jest wartością ok. 2,6 razy większą niż wymagana minimalna wartość siły niszczącej P_{max} . Przewiduje się więc, że w wyniku dalszej optymalizacji

kształtu, technologii wytworzenia, rodzaju wzmocnień oraz składu polimerobetonu możliwe jest uzyskanie wartości siły niszczącej $P_{\max} \geq 900$ kN, co zwiększy konkurencyjność wyrobu poprzez osiągnięcie nośności wymaganej dla stóp podporowych stalowych.

Literatura

- DOBRZAŃSKI L.A. 2006 - Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. WNT. Warszawa
- PN-G-06011:2013-10 Wyrobiska korytarzowe poziome i pochyłe w zakładach górniczych - Wyrobiska obudowane odrzwiami z kształtowników korytkowych - Wymagania i badania przy odbiorze.
- PN-G-14050:1998 Betonity fundamentowe do obudowy odrzwiami z łuków korytkowych wyrobisk górniczych poziomych i mało nachylonych.
- PN-G-15000-06:1988 Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Elementy pomocnicze. Stopy podporowe.
- ROTKEGEL M., BOCK S. 2015 - Impact of bearing plates dimensions on interaction of mine workings support and rock mass; Journal of Sustainable Mining 14, s. 12-20.
- RUŁKA K. I INNI 2001 - Uprozczone zasady doboru obudowy odrzwiowej wyrobisk korytarzowych w zakładach wydobywających węgiel kamienny. Główny Instytut Górnictwa, Seria i Instrukcje nr 15, Katowice.
- Źródło internetowe: http://mas.pl/pl/groups/elementy-zabezpieczenia-obudowy-chodnikowej_7-46.html

Artykuł wpłynął do redakcji – styczeń 2018
Artykuł akceptowano do druku 24.01.2018