

Innowacyjne rozwiązanie sztucznego dna szybu dla kopalni Jankowice

Innovative solution of artificial bottom of the mining shaft in Jankowice mine



*Dr inż. Piotr Gospodarczyk***)*



Dr inż. Grzegorz Stopka)*



*Mgr inż. Łukasz Szot***)*



*Dr inż. Mariusz Szot***)*

Treść: W artykule przedstawiono problemy związane z koniecznością pogłębiania istniejących szybów i możliwościami dostosowania istniejących rozwiązań konstrukcyjnych sztucznych den szybów celem zapewnienia bezpiecznych warunków pracy załogi przy ich pogłębianiu. Sformułowano szczególne wymagania stawiane tego rodzaju konstrukcjom i na tym tle przedstawiono znane dotychczas rozwiązania sztucznych den szybów, oraz wnioski wynikające z analizy ich cech konstrukcyjnych w aspekcie możliwości przystosowania do tych wymagań. Wnioski doprowadziły do sformułowania potrzeby projektowej, dla której zaspokojenia opracowano w GIG w Katowicach i wdrożono w kopalni Jankowice innowacyjne rozwiązanie sztucznego dna szybu. Przedstawiono to rozwiązanie oraz przebieg prac projektowych i badawczych związanych z jego wdrożeniem. Interesującym aspektem prac projektowo-wdrożeniowych była weryfikacja rozwiązania konstrukcyjnego metodą symulacji komputerowej w Katedrze Maszyn Górniczych Przeróbczych i Transportowych AGH w Krakowie opisana w artykule, a także będącą przedmiotem zrealizowanego, w ramach Programu Badań Stosowanych finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, projektu, zatytułowanego: „Badania nad dyssypacją energii w mechanicznych układach ochronnych przewidywanych do stosowania w pogłębianych szybach kopalń podziemnych” (numer PBS1/A2/6/2012).

Abstract: This paper presents the issues relating to the necessity of deepening the existing shafts as well as the possibilities of adopting the existing designing solutions of artificial bottoms of the mining shafts in order to ensure safe working conditions of the crew performing the deepening operations. Specific requirements for such designs have been founded, in the light of which the currently applied solution of artificial bottoms of the mining shafts as well as conclusions from the analysis of characteristics of their design, in the aspect of the possibilities of adapting to these requirements, presented. The conclusions have led to the need of designing an innovative solution of the artificial bottom of the shaft in Jankowice mine, by the Central Mining Institute. This solution as well as the process of developing the project and scientific works, related to its implementation, have been presented. The interesting aspect of the project and implementation management was the verification of the solution by use of computer simulation performed in the Department of Mining, Dressing and Transport Machines AGH in Kraków, described in this paper as well as being the subject of the implemented project in the framework of the Program of Applied Research funded by the National Centre for Research and Development, entitled: “Research on energy dissipation in mechanical protective systems for the use of deepening operations in the underground mining shafts” (no. PBS1/A2/6/2012).

*) AGH w Krakowie, **) GIG w Katowicach

Słowa kluczowe:*górnictwo, bezpieczeństwo, szyb, sztuczne dno***Key words:***mining industry, safety, shaft, artificial bottom***1. Wprowadzenie**

Jednym z niekorzystnych trendów, jakie miały miejsce w procesie restrukturyzacji kopalń i poszukiwania oszczędności mających na celu obniżenie kosztów produkcji, były zaniechania w zakresie udostępniania nowych, głębiej zalegających złóż i podejmowanie eksploatacji poniżej poziomów udostępnienia. Z danych dostępnych w literaturze wynika, iż w okresie od roku 2002 do 2011 nastąpił równomierny wzrost wydobycia z pokładów poniżej poziomów udostępnienia [1], odpowiednio z 16 mln do 50 mln ton rocznie. To z kolei bezpośrednio doprowadziło do pogorszenia się warunków pracy i wzrostu zagrożeń górniczych w takich wyrobiskach eksploatacyjnych. Z punktu widzenia BHP sytuacja taka nie jest akceptowana.

Jedynym sposobem na zmniejszenie ryzyka zawodowego związanego z wydobyciem z pokładów poniżej poziomów udostępnienia jest inwestowanie w drażenie nowych szybów, pogłębianie istniejących oraz drażenie chodników udostępniających. Zdaniem ekspertów, minimalny koszt jaki muszą ponieść kopalnie na drażenie szybów i wyrobisk w najbliższych latach to około 19 mld zł. Przedstawiony szacunek kosztów opiera się na założeniu maksymalnego wykorzystania pogłębiania szybów, gdyż tego rodzaju przedsięwzięcie wydaje się być znacząco tańsze od głębiania nowego szybu. Rozpoczęto już tego rodzaju inwestycje w KWK Budryk, KWK Borynia i KWK Jankowice.

Należy pamiętać, że przy realizacji udostępnienia niższych poziomów szybu niezbędne jest zapewnienie płynnego transportu, bez konieczności zatrzymywania czynnych szybów na czas pogłębiania. Dlatego też należy dążyć do zapewnienia takich sposobów zabezpieczenia, które w sposób pewny i bezpieczny realizowałyby swoje zadania. Zatrudniona przy pogłębianiu załoga musi być zabezpieczona tak zwanym sztucznym dnem szybu, które zabezpiecza ją przed spadającymi z góry czynnej partii szybu przedmiotami. Konstrukcja sztucznego dna szybu musi spełniać odpowiednie wymagania, zawarte w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych [2].

Zwiększanie głębokości szybów górniczych do 1300 m, a w przypadku kopalń miedzi do 1400 m oraz zwiększanie masy transportowanych elementów powoduje zwiększenie ryzyka zaistnienia sytuacji niebezpiecznej. W skrajnych przypadkach, w szybach głębokich (ok. 1000 m), przy opuszczaniu obudów zmechanizowanych o masie ponad 20 Mg, ilość energii, którą w przypadku uderzenia musi pochłonąć konstrukcja zabezpieczająca, może wynosić 120÷180 MJ. W związku z tym, dane wejściowe do obliczeń wytrzymałościowych takich konstrukcji są obecnie znacznie większe od tych, jakie przewidywano w zapisach prawnych określających ich wymogi techniczne.

W artykule przedstawiono znane dotychczas rozwiązania sztucznych den szybów i wnioski z analizy ich cech konstrukcyjnych w aspekcie możliwości ich przystosowania do wyżej sformułowanych szczególnych wymagań stawianych tego rodzaju konstrukcjom. Wnioski z tej analizy doprowadziły do sformułowania potrzeby projektowej, a w wyniku jej realizacji opracowania w GIG w Katowicach

i wdrożenia w kopalni Jankowice innowacyjnego rozwiązania sztucznego dna szybu. Interesującym aspektem prac projektowo-wdrożeniowych była weryfikacja rozwiązania konstrukcyjnego metodą symulacji komputerowej w Katedrze Maszyn Górniczych Przeróbczych i Transportowych AGH w Krakowie.

2. Znane dotychczas rozwiązania

Znanym jest, z opisu patentowego nr 152761 [3], rozwiązanie pomostu bezpieczeństwa sztucznego dna szybu. Pomost ma skrzynkową konstrukcję pierścienia nośnego, wykonaną z łączonych segmentów, osadzonego w głębokim rowku wyciętym na całym obwodzie obmurza szybu i połączonego na stałe z obudową szybu. Wewnątrz skrzynkowej konstrukcji pierścienia jest rozpięta siatka zrobiona ze stalowych lin, tworząca sprężysty układ, uginający się pod wpływem uderzenia opadającego na nią ciężaru. Na sprężystej siatce ułożona została uszczelniająca warstwa, składająca się z elastycznej taśmy przenośnikowej i cienkiej blachy, według autorów patentu odporna na uderzenia i korzystnie rozkładająca nacisk opadającego ciężaru.

Inny znany z polskiego opisu patentowego nr 140124 [4] pomost bezpieczeństwa sztucznego dna szybu składa się, z co najmniej dwóch części, przy czym jedna część jest nieruchoma, trwale połączona z obudową szybu, zaś druga część jest ruchoma i sprzęgnięta z częścią nieruchomą urządzeniem hamującym, działającym na zasadzie wytracania energii przez wzajemne tarcie obu stykających się ze sobą części. Z przedstawionego w [4] opisu znana jest też wersja rozwiązania charakteryzującego się tym, że utworzony pomost bezpieczeństwa trwale połączony jest z pomostem rewizyjnym sprzęgniętym z nim konstrukcją kratową, pokrytą warstwą amortyzacyjną.

Jeszcze inne rozwiązanie znane z opisu patentowego nr 146952 dotyczy sztucznego dna szybu przedziału skipowego i charakteryzuje się tym, że tworzy go pomost bezpieczeństwa połączony trwale z pomostem roboczym, dźwigarami podporowymi zbiornika przepadu oraz konstrukcją nośną rusztu nad zbiornikiem, przy pomocy konstrukcji kratownicowych.

W [5] przedstawione jest opatentowane rozwiązanie nr 155340 pt. „Warstwa amortyzująca sztucznych den szybu” charakteryzujące się tym, że warstwę tę stanowią rury ułożone warstwami pod kątem 90 stopni.

Opisane w [6] i [7] konstrukcje zabezpieczają cały przekrój szybu i przestrzeń pod sztucznym dnem. Konstrukcja ta składa się z pierścieni nośnych osadzonych w obudowie szybu, z rozpiętą wewnątrz nich siecią linową, które są połączone za pomocą dwupoziomowych uchwytów, przegubowo połączonych z ujęciami lin dwóch sprężystych siatek, zawieszonych nad sobą poprzez sercówki lub krążki opasane końcami tych lin, zaciśniętych spawanymi zaciskami, przy czym w zawieszeniu jednej lub obu sprężystych siatek, w uchwytach nośnego pierścienia, wbudowane są amortyzatory.

Przedstawione zastosowania nie spełniają m.in. wymagań obecnego górnictwa z uwagi na:

- wysokości pionowe tych rozwiązań,
- ograniczenia przejmowanej energii,
- występowanie złączy spawanych,
- sposób łączenia z obudową.

3. Opis zastosowanej konstrukcji

Formułując założenia dla nowej konstrukcji dna szybowego, przyjęto, iż podczas hamowania dynamicznego, jakie, w przedmiotowym przypadku swobodnie spadającego ciała, będzie miało miejsce, energia kinetyczna obiektu w kontakcie z przeszkodą będzie zamieniała się w energię zniszczenia, niszcząc pierwsze warstwy dna szybowego, a następnie w energię odkształcania kolejnych warstw, aż do wyhamowania obiektu. Naturalnym jest, iż siły tarcia jakie będą towarzyszyły zjawisku, w tym siły tarcia wewnętrznego w niszczonych i odkształcanych elementach, będą powodowały zamianę części energii na ciepło. Należy dążyć do minimalizacji tych zjawisk, gdyż konstrukcja może być wykorzystywana, w atmosferze zagrożonej wybuchem. Dlatego też bardzo ważne było opracowanie takiej konstrukcji układu hamującego, aby tę energię rozproszyć i sprowadzić do poziomu dopuszczalnego, tj. do zatrzymania – wyhamowania spadającego obiektu i elementów zniszczonych na jego drodze, w tym zniszczonych elementów dna szybu. Jednocześnie liczba i wysokości poszczególnych warstw dna, na których energia będzie wytracana, muszą być minimalizowane z uwagi na ograniczenia parametru wysokości konstrukcji.

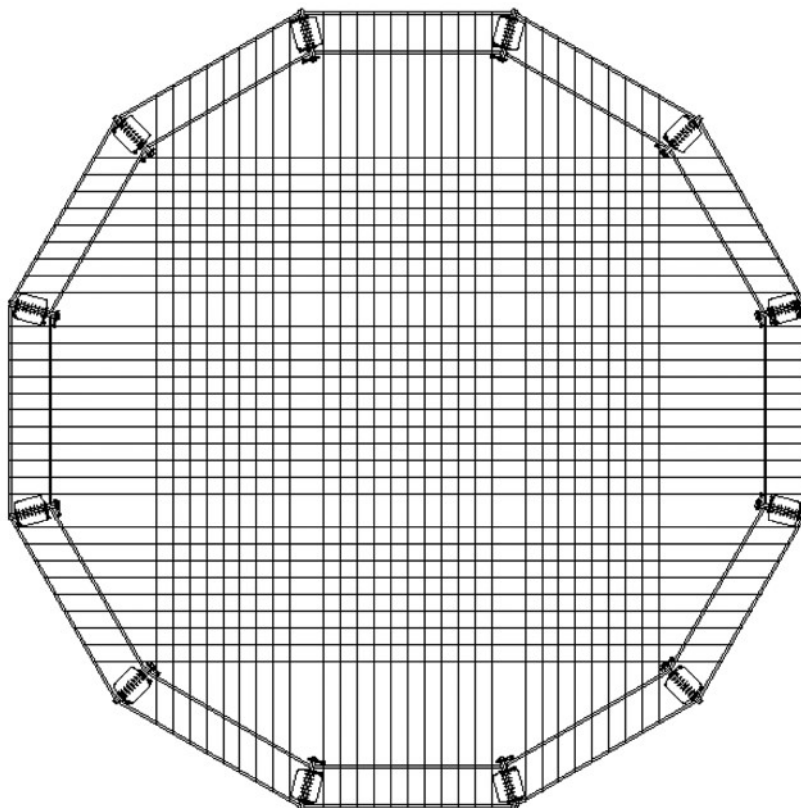
Opracowane, innowacyjne rozwiązanie autorstwa pracowników Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach zakłada zastosowanie pomostów o zwiększonej nośności z możliwością konstrukcyjnego jej dostosowania do lokalnych uwarunkowań. Uzyskano to przez opracowanie pomostów wyposażonych w wielowarstwowe membrany amortyzujące, których liczba, jak też liczba samych pomostów, będą dobierane stosownie do przewidywanej wartości energii jaką należy wytracić dla zahamowania obiektu. Opadający obiekt będzie wytracał energię na każdej niszczonej warstwie membrany poszczególnych pomostów. Konstrukcję nośną pomostów osadzono w obudowie szybu, a każdy z pomostów wypełniono

membraną wielowarstwową wykonaną z elementów strunowych siedmiosplotowych. Konstrukcja nośna wbudowana w obmurze szybu stanowi gniazda montażowe dla elementów składowych membrany składającej się z poziomych rzędów (warstw) strun siedmiosplotowych o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych. Struny poszczególnych warstw krzyżują się w rzucie pionowym (jak pokazano to schematycznie na rys. 1) i połączone są z konstrukcją nośną za pomocą głowic samozaciskowych.

Zaletami takiej konstrukcji pomostu sztucznego dna jest jego mały ciężar, łatwość montażu strun membrany, pewność mocowania strun przez zastosowanie uchwytów samozaciskowych oraz możliwość dopasowania nośności pomostu poprzez zwiększanie liczby rzędów membrany.

Realizacja tych zalet w materialnej konstrukcji wymaga jednak zastosowania odpowiednich metod weryfikacji konstrukcji pozwalających na określenie nośności dna w funkcji liczby pomostów, i warstw membrany w poszczególnych pomostach. Z oczywistych względów nie ma możliwości weryfikacji rozwiązania przez badania eksperymentalne prototypu. Weryfikacja prowadzona przy wykorzystaniu obliczeń analitycznych jest teoretycznie możliwa, jednakże z uwagi na złożoność procesów dyssypacji energii i brak adekwatnych modeli fizycznych opisu zjawiska i projektowanego obiektu, prawdopodobnie nie uzyskano by wystarczającej dokładności takich obliczeń. Metody globalnej oceny oparte na bilansie energii wymagałyby przyjmowania współczynników bezpieczeństwa o bardzo dużych wartościach i tzw. przewymiarowywania konstrukcji kosztem utraty jej walorów użytkowych.

Należy bowiem podkreślić, iż zdolność pochłaniania i rozproszenia energii przez zaproponowane rozwiązanie zależy od wielu czynników, a mianowicie właściwości poszczególnych cięgien, układu warstwy, wytrzymałości poszczególnych warstw, grubości, itp. Energia spadającego elementu absorbowana jest przez różne mechanizmy uszko-



Rys. 1. Schemat ułożenia strun w pokładzie dna szybowego
Fig. 1. Scheme of strings in the shaft bottom stratum

dzenia, głównie przez zniszczenie elementów składowych, deformacji, niszczenie kolejnych warstw, oraz formowanie się geometrycznych stożków lub tulei ze zniszczonych elementów. Prędkość końcowa może być określana przez obliczenia poziomu absorpcji energii poprzez różne mechanizmy uszkodzenia i dokonanie bilansu energetycznego. Obliczenia takie są jednak przybliżone, a nawet szacunkowe, gdyż o przebiegu zniszczenia nie decyduje sama wartość energii, lecz dystrybucja strumienia mocy. Z tego powodu zdecydowano o rozszerzeniu zakresu badań o badania modelowe metodą symulacji komputerowej procesu niszczenia sztucznego dna przez model spadającego obiektu o określonych parametrach geometrycznych i masie.

4. Badania

Podstawowe parametry konstrukcji sztucznego dna dobrano wstępnie w oparciu o obliczenia analityczne. Dla ich przeprowadzenia konieczne było wykonanie badań laboratoryjnych elementów konstrukcji sztucznego dna, przede wszystkim strun jako elementów konstrukcji membran pochłaniających energię, celem wyznaczenia ich charakterystyk. Wyniki tych badań wykorzystano także w badaniach modelowych metodą symulacji komputerowej procesu niszczenia, zwanej metodą crash testu.

4.1. Badania laboratoryjne

Celem badań laboratoryjnych było wyznaczenie charakterystyk odkształceniowo-naprężeniowych podstawowych elementów dna, jakimi są struny stalowe siedmiosplotowe oraz sprawdzenie pewności zamocowania strun w konstrukcji pomostu. Zakres badań laboratoryjnych obejmował testy prowadzone w warunkach obciążeń statycznych, jak też dynamicznych. Stanowisko przeznaczone do badań pokazano na rys. 2.

Próby obciążania strun, aż do ich zniszczenia przeprowadzono zarówno dla obciążeń wzdłużnych, tj. rozciągających,

jak też poprzecznych, przy których występuje złożony stan naprężeń odpowiadający sytuacji obciążania struny przez obiekt spadający na pomost. Wyniki rejestrowano w postaci wykresów zmian siły w funkcji przemieszczenia, a dla określenia wydłużenia całkowitego struny powtarzano pomiar po zestawieniu jej dwóch części po zerwaniu (rys. 3).

Wykorzystując wyniki badań laboratoryjnych wyznaczono takie parametry strun jak:

- siła zerwania,
- energia zerwania,
- wydłużenie struny.

Informacje te wykorzystano w obliczeniach analitycznych, jak też w badaniach modelowych – symulacjach komputerowych procesu przejmowania obciążeń przez dno szybowe. Przeprowadzone badania laboratoryjne potwierdziły również pewność zamocowania pojedynczych strun w konstrukcji pomostu przez przyłącza samozaciskowe o dedykowanej konstrukcji.

Charakterystyki te stanowiły podstawę dla ustalenia analogicznej charakterystyki modelu struny przyjętego do badań symulacyjnych.

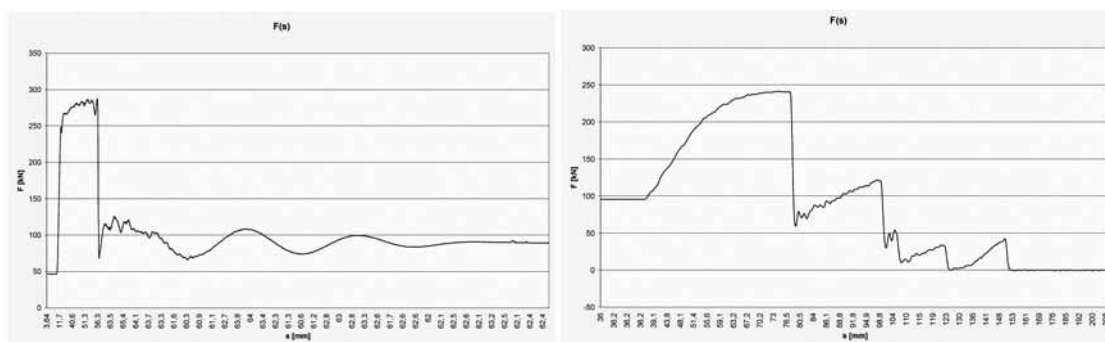
4.2. Badania modelowe

Badania symulacyjne sztucznego dna szybu rozpoczęto od symulacji obciążania i niszczenia pojedynczego ciągu linowego. Celem tej fazy badań był dobór odpowiedniego modelu materiałowego liny (jego charakterystyki) oraz modelu niszczenia w oparciu o dostępne wyniki prób laboratoryjnych (rys. 4). Dobór przeprowadzono metodą kolejnych przybliżeń w oparciu o numeryczne symulacje procesu statycznego rozciągania w programie komputerowym Autodesk Simulation Multiphysics. Próby prowadzono aż do uzyskania wystarczającej zbieżności charakterystyki modelowej z charakterystykami pochodzącymi z badań laboratoryjnych.

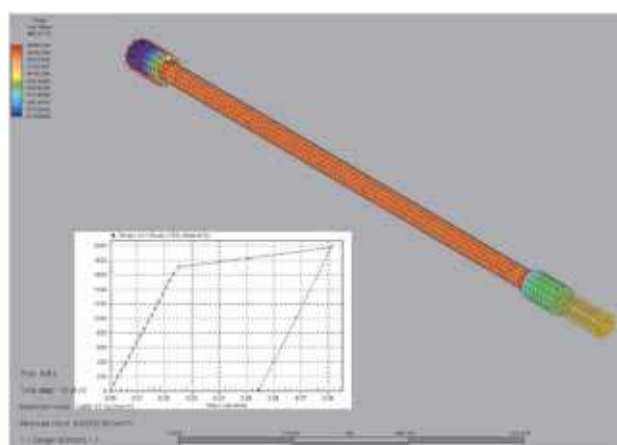
Charakterystykę modelową wykorzystano do testów niszczenia konstrukcji batuty. W pierwszej kolejności symulowano zderzenie obciążnika z pierwszym pierścieniem dna szybu (420 lin). Badania obejmowały przypadki obciążenia



Rys. 2. Stanowiska do badań w zakresie obciążenia osiowego i poziomego
Fig. 2. Test stand for axial and horizontal loads analyses



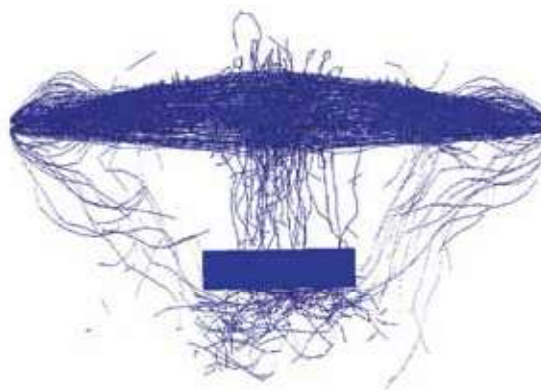
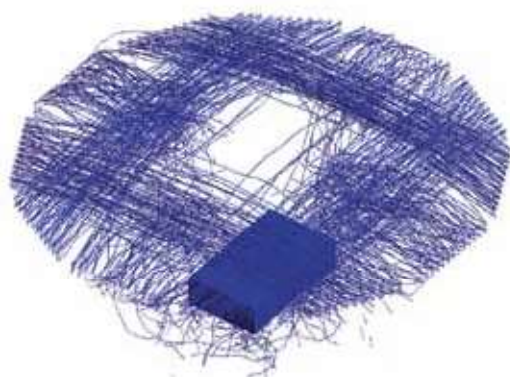
Rys. 3. Przykładowe charakterystyki przebiegu zmian siły w funkcji wydłużenia struny
 Fig. 3. Examples of course of force variations in relation to the elongation of the string



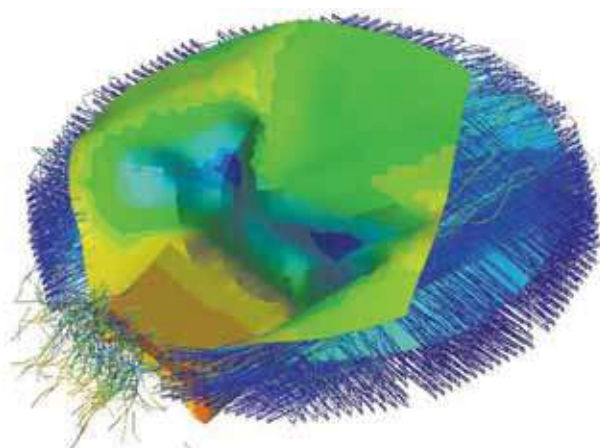
Rys. 4. Model struny przyjęty do badań symulacyjnych
 Fig. 4. String model assumed for simulation research

pokładu symetryczne oraz asymetryczne. Oceniano również wpływ zamocowania oraz grubości i wytrzymałości blachy stanowiącej pokrycie sztucznego dna szybu na końcowy rezultat zniszczenia pokładu. Przykładowe postacie deformacji konstrukcji pierwszego pokładu batuty pokazano [8] na rys. 5. Otrzymane wyniki wskazywały na ograniczone możliwości absorpcji energii kinetycznej obciążnika przez konstrukcję pojedynczego pokładu, zwłaszcza w przypadku testów asymetrycznych. W końcowym etapie prób zmodyfikowano konstrukcję batuty, którą złożono z potrójnego pokładu linowego oraz pokrycia blachowego nad pierwszym i drugim pokładem.

Na rys. 6 pokazano przykładowe wyniki testów uderzenia asymetrycznego przedstawiające deformację konstrukcji batuty w przypadku, gdy krawędzie blachy nie były utwierdzone (blacha spoczywa na pokładzie linowym). W takim przypadku dochodzi do zniszczenia części linowej batuty, na skutek ścinania lin krawędzią blachy w okolicach ich mocowania.

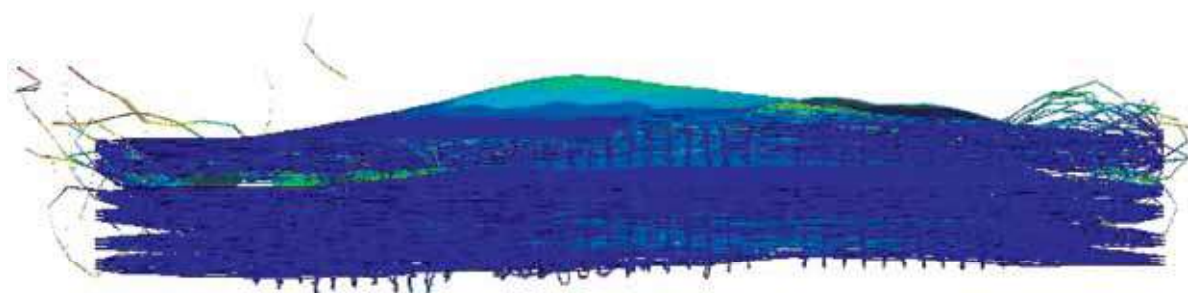


Rys. 5. Symulacja zniszczenia pojedynczego pokładu przez modelowy obciążnik
 Fig. 5. Simulation of damage of single stratum by the model weight



Zgodnie z obserwacjami poczynionymi w początkowym etapie badań symulacyjnych batuty, lepsze rezultaty uzyskano utwierdzając krawędzie blach po obwodzie (rys. 7). W takim przypadku doszło do całkowitego wytłumienia energii uderzenia przez konstrukcję batuty oraz odbicia obciążnika w kierunku przeciwnym. Pozytywny efekt próby odzwierciedla się nie tylko w postaci całkowitej absorpcji energii uderzenia, ale również w niewielkim stopniu zniszczenia konstrukcji części linowej batuty (w porównaniu z pozostałymi próbami). Pozytywne efekty modyfikacji konstrukcji batuty zostały potwierdzone również testami symetrycznymi [8].

Rys. 6. Obraz z symulacji przebiegu niszczenia dna dla przypadku asymetrycznego uderzenia modelu obciążnika
 Fig. 6. Image from the simulation of damage course of the bottom for the case of asymmetric impact of the weight model



Rys. 7. Obraz odbicia obciążnika dla przypadku dna składającego się z trzech pokładów i blachy utwierdzonej na brzegu pierścienia pierwszego z pokładów

Fig. 7. Image of the weight rebound for the case of bottom consisting of three strata and metal plate fixed on the edge of ring of the first stratum

5. Zastosowanie

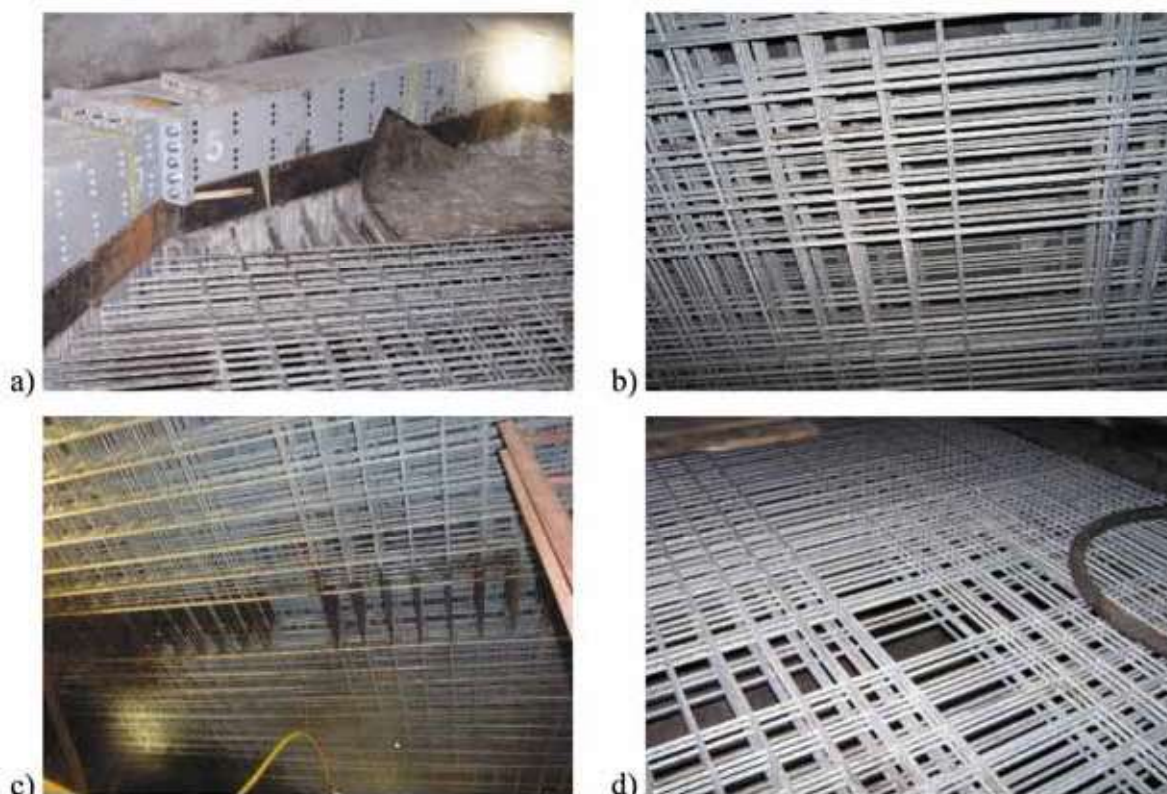
Opracowana i zaprojektowana konstrukcja sztucznego dna zabudowana została w pogłębianym szybie w Kopalni Jankowice. Konstrukcja nośna (pomost górny, środkowy i dolny), składająca się z belek z kształtownika HEB łączonych za pomocą śrub poprzez blachy czołowe, została osadzona w obudowie szybu i wypełniona membraną wykonaną z elementów strunowych siedmiosplotowych. Powyższa konstrukcja nośna, której schemat pokazano na rys. 1, wbudowana w obmurze szybu, stanowi gniazda montażowe dla elementów membrany, składającej się z poziomego rzędu strun siedmiosplotowych o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych ($R_m=1860$ MPa), krzyżujących się w pionie z następnym rzędem strun.

W zależności od masy przedmiotu i wysokości z jakiej on spada, ma być dobierana liczba warstw membrany. Połączenia strun z konstrukcją nośną jest realizowane za pomocą głowic

samozaciskowych zawieszonych nad sobą, zgodnie z rozwiązaniem firmy MK4. Na zdjęciach przedstawionych na rys. 8 przedstawiono realizację przemysłową pomostu sztucznego dna tej konstrukcji. Producentem i wykonawcą tego przedsięwzięcia było Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Górnictwo „ROW-JAS”

Na konstrukcję sztucznego dna zabudowanego w pogłębianym szybie w KWK „Jankowice” zostały złożone trzy samodzielne poziomy tłumiące, umiejscawiane jeden nad drugim, we wcześniej przygotowanych wnękach w obmurze szybowym. Ostateczną ilość poziomów tłumiących określono dla założonej w obliczeniach projektowych masy spadającego obiektu, jego gabarytów oraz głębokości zabudowy sztucznego dna (maksymalnej wysokości z jakiej transportowany obiekt może spaść).

Pojedynczy poziom tłumiący zbudowano z dwóch zasadniczych elementów: dwunastokątnej (pierścieniowej) konstrukcji nośnej i membrany tłumiącej. Konstrukcję nośną,



Rys. 8. Fotografie obrazujące rozwiązania istotnych węzłów konstrukcji sztucznego dna zainstalowanego w kopalni Jankowice

Fig. 8. Image of solutions of crucial joints of structure of artificial bottom installed in Jankowice mine

stanowiącą mocowanie dla elementów warstwy tłumiącej, wykonano z 12 belek składowych. Każdą belkę wykonano z dwuteownika szerokostopowego HEB500, wzmocnionego blachami o grubości 16 mm (rys. 8a). Belki łączone były ze sobą przez blachy czołowe, przy pomocy śrub i nakrętek M24.

Dodanie blach wzmacniających do konstrukcji belek miało na celu zwiększenie współczynnika wytrzymałości na zginanie otrzymanego profilu skrzynkowego oraz stworzenie w belkach zamkniętych komór pomiędzy środkami kształtownika HEB a wspawanymi blachami, wykorzystanych do aplikacji spoiwa betonowego. Takie rozwiązanie konstrukcyjne pozwoliło w znacznym stopniu zwiększyć całkowitą wytrzymałość pierścienia konstrukcji nośnej, a tym samym zapewnić właściwe parametry użytkowe.

W skład membrany tłumiącej pojedynczego pierścienia sztucznego dna wchodziło 6 krzyżujących się pod kątem prostym warstw tłumiących, złożonych z pojedynczych linek stalowych. Wykorzystane linki musiały wykazywać odpowiednie parametry przekrojowe i wytrzymałościowe. Zabudowa linek w specjalnie zaprojektowanych gniazdach zaciskowych, umiejscowionych pomiędzy wnęką w obudowie szybowej a konstrukcją nośną, wymagała przełożenia końca linek przez przelotowe otwory w profilu zamkniętym belek konstrukcji, a następnie nadania niewielkiego naciągu wstępnego przy zastosowaniu specjalistycznego oprzyrządowania w celu zniwelowania ugięcia membrany pod wpływem siły grawitacji.

Na szczególną uwagę zasługuje fakt, iż konstrukcję sztucznego dna zaprojektowano w sposób umożliwiający szybkie jego przekształcenie w wersję połówkową, tj. zapewniającą ruch naczynia szybowego w jednym z przedziałów poniżej miejsca zabudowy sztucznego dna, przy zachowaniu jednoczesnej ochrony przed spadającymi obiektami w przedziale drugim.

6. Wnioski

Przyjęte rozwiązanie polegające na wykorzystaniu strunowych pomostów jako sztucznego dna pogłębianych szybów jest co do idei interesujące i z wielu praktycznych przyczyn korzystne. Niedogodnością takiego rozwiązania jest jednak trudność, jakie stwarza jego synteza metryczna, z uwagi na złożony i losowo zmienny stan obciążenia poszczególnych strun. Prowadzi to do potrzeby przeprowadzenia skojarzonych ze sobą obliczeń analitycznych, badań laboratoryjnych i badań modelowych. Dobór parametrów tego rodzaju zabezpieczenia wymaga wykorzystania przy projektowaniu specjalnych narzędzi komputerowego wspomaganie projektowania, pozwalających na przeprowadzanie symulacji zniszczenia, tzw. crash-testów. Jest to warunek dokonania syntezy rozwiązania bezpiecznego, które będzie jednocześnie spełniać kryteria ekonomiczności [8].

Poniesienie kosztów związanych z zaprojektowaniem nowego dna szybu, do których zaliczyć należy koszty prowadzenia czasochłonnych i pracochłonnych badań symulacyjnych przy wykorzystaniu kosztownego oprogramowania jest jednak uzasadnione zaletami jakie posiada innowacyjne rozwiązanie, a są nimi:

- mały ciężar, w stosunku do dotychczas stosowanych rozwiązań,
- duża zdolność pochłaniania energii na stosunkowo krótkiej drodze hamowania,
- łatwość montażu,
- pewność mocowania elementów składowych,
- możliwość dopasowania nośności pomostu poprzez zwiększenie liczby warstw rozpraszających energię,
- pewność zamocowania w obudowie szybu,
- eliminacja łączeń spawanych,
- łatwość demontażu.

Metody badawcze zastosowane przy projektowaniu i wdrażaniu innowacyjnego rozwiązania sztucznego dna szybu są rozwijane przede wszystkim przez rozbudowę baz danych materiałowych i wykorzystywanie w badaniach symulacyjnych coraz bardziej złożonych modeli elementów sztucznych den, jak też uwzględnianie w nich większej liczby czynników wpływu związanych z warunkami związanymi z miejscem ich zabudowy i przewidywanymi obciążeniami.

Artykuł jest podsumowaniem prac w ramach projektu realizowanego w Programie Badań Stosowanych, finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, o tytule „Badania nad dysypacją energii w mechanicznych układach ochronnych przewidywanych do stosowania w pogłębianych szybach kopalń podziemnych” (numer PBS1/A2/6/2012).

Literatura

1. Konopko W.: Podziemne roboty górnicze - próba sumarycznej oceny stanu zagrożenia. Materiały XII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Górnictwo i Zagrożenia Naturalne 2005” nt. Eksploatacja podziemna - zagrożenia górnicze, Ustroń, 21-24 listopada 2005. Wydaw. GIG, Katowice 2005
2. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. Nr 139, poz. 1169 oraz z 2006 r. Nr 124, poz. 863).
3. Opis patentowy nr 152761. „Pomost bezpieczeństwa sztucznego dna szybu”. Urząd Patentowy 28-06-1996.
4. Opis patentowy nr 140124. „Pomost bezpieczeństwa sztucznego dna szybu”. Urząd Patentowy 30-11-1987.
5. Opis patentowy nr 155340. „Warstwa amortyzująca sztucznych den szybu”. Urząd Patentowy 31-02-1992.
6. Opis patentowy nr 191899. „Pomost zabezpieczający dno szybu kopalni podziemnej”. Urząd Patentowy 30-07-2001.
7. Opis patentowy nr 192107. „Połówkowy pomost zabezpieczający dno szybu kopalni podziemnej”. Urząd Patentowy 30-07-2001.
8. Projekt programu Badań Stosowanych nt. „Badania nad dysypacją energii w mechanicznych układach ochronnych przewidywanych do stosowania w transporcie w pogłębianych szybach kopalń podziemnych”.