



Stanisław DUŻY*, Piotr GŁUCH**, Adam RATAJCZAK***, Damian GIZA****

Przyczyny zawałów wyrobisk korytarzowych i wybrane sposoby wzmacniania obudowy

Streszczenie: Zawały w wyrobiskach korytarzowych są niebezpiecznymi zdarzeniami powodującymi zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi, utrudnienia technologiczne (transportowe, wentylacyjne itp.) oraz straty ekonomiczne. Wśród przyczyn zawałów występujących w ostatnim okresie w wyrobiskach korytarzowych podziemnych kopalń węgla kamiennego wymienia się błędy projektowania, błędy wykonawcze, błędy użytkowania oraz przyczyny losowe. Na przykładach zaistniałych w ostatnim okresie zawałów w wyrobiskach korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego wskazano, że jedną z głównych przyczyn zaistniałej sytuacji była utrata podporności obudowy oraz zużycie techniczne odrzwi spowodowane korozją kształownika. W praktyce zawały występujące wskutek zużycia technicznego obudowy powstają głównie z przelamania łuku w części stropnicowej, utraty stateczności jednego z ociosów wyrobiska oraz całkowitego zawału wyrobiska. Na podstawie przeprowadzonej analizy zaistniałych przypadków zaproponowano wskazówki postępowania dla poprawy bezpiecznego użytkowania wyrobiska. Poprawę stateczności skorodowanej obudowy można uzyskać przez zastosowanie dodatkowej obudowy stabilizującej jej konstrukcję, przykotwienie odrzwi do górotworu lub wykonanie wzmacniającej powłoki z fibrobetonu połączone z iniekcją górotworu. Przedstawiono również przykłady zawałów występujących w wyrobiskach przygotowawczych, dla których dobór obudowy nie odpowiadał warunkom geologiczno-górnictwem. W podsumowaniu wskazano na znaczenie diagnostyki obudowy wyrobisk w bezpiecznym i efektywnym prowadzeniu eksploatacji górniczej, którą należy objąć przepisami ruchowymi, a jej zakres i częstotliwość powinny być dostosowane do stopnia występujących zagrożeń oraz konstrukcji obudowy.

Słowa kluczowe: górnictwo, eksploatacja, zaszczości eksploatacyjne, obudowa górnictwa, stateczność wyrobisk

Heading collapses in view of the loss of bearing capacity and the technical wear of support sets

Abstract: Caving in the excavation of mining galleries is a dangerous phenomenon, resulting in a threat to the health and life of humans, technological difficulties (transport, ventilation, etc.) and economic losses. Mining galleries

* Dr hab. inż., ** Dr inż., Politechnika Śląska, Gliwice.

*** Mgr inż., JSW S.A. KWK „Knurów-Szczygłowice”, Knurów.

**** Mgr. Famur S.A., Katowice.

list: design errors, runtime errors, errors and random causes among the causes of the caving occurring in recent periods in the excavation of underground coal mines. Examples in the recent period of caving in the excavation of mining galleries in coal mines indicated that one of the main causes of the situation was the loss of capacity and double timber technical wear caused by the corrosion of the profile. In practice, the caving that occur as a result of the technical wear can be divided into the breaking arc of a roof – bar, the loss of stability of one of the heading walls and a total heading collapse. On the basis of the carried out analysis of these cases, guidelines were proposed for improving the safe operation of the workings. The improvement of support stability may be achieved by applying additional supports, stabilizing the structure by bolting the support sets or by introducing a fiber-reinforced concrete coating with injection into the rock mass. Examples of caving occurring in the excavation, for which the preparatory selection of support does not match the geological-mining conditions, were also presented. The summary indicated the importance of diagnostics roadway in the safe and efficient conduct of mining that should be covered by the operational rules, and their scope and frequency should be adapted to the rank of the occurrence of hazard and support construction.

Keywords: mining, exploitation, abandoned workings, mining support, excavation stability

1. Przyczyny zawałów

Zawały w wyrobiskach korytarzowych są niebezpiecznymi zdarzeniami, które powodują wiele negatywnych skutków, takich jak np.:

- wypadki – możliwość utraty życia lub odniesienia ciężkich urazów górników przebywających w wyrobisku,
- niedrożność wyrobiska utrudniająca funkcjonowanie na ogół części kopalni w dłuższym czasie,
- konieczność poniesienia znacznych kosztów na przywrócenie funkcjonalności wyrobiska.

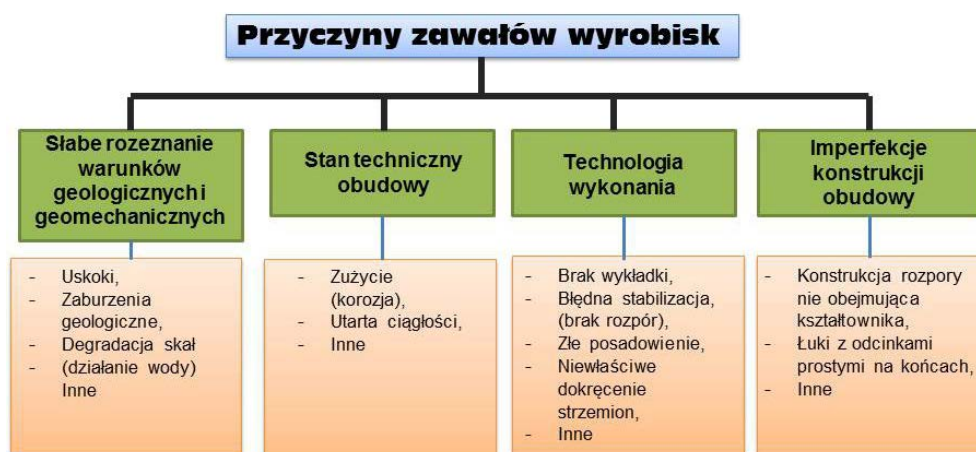
Zawał to niezamierzone, grawitacyjne przemieszczenie się do wyrobiska mas skalnych ze stropu albo ociosu w stopniu powodującym niemożność przywrócenia pierwotnej funkcji wyrobiska w czasie krótszym niż 8 godzin.

Zawały wyrobisk korytarzowych zabezpieczonych stalową obudową odrzwiową w kopalniach węgla kamiennego mogą występować z kilku powodów, a mianowicie:

- złego doboru obudowy do danych warunków geologiczno-górnicych – zasadniczo w tym przypadku występują deformacje obudowy, które często mogą być ograniczone przez wzmocnienie obudowy, najczęściej przez dodatkowe podparcie;
- złej stabilizacji obudowy na długości wyrobiska przy stosowaniu właściwych rozpór, niedostatecznej ich liczby, złej, niestarannej wykładki za obudową. Zawały te mają charakter utraty stateczności wskutek zniszczenia obudowy na pewnej długości wyrobiska, na której odrzwia ulegają wywróceniu i układają się na zasadzie domina. Zawały spowodowane tą przyczyną zostały skutecznie ograniczone przez stosowanie rozpór stabilizowanych – modułowych (skręconych do przekroju kształownika np. RSM), obejmujących kształownik korytkowy i usztywniających odrzwia;
- utraty stateczności obudowy wskutek zmniejszenia przekroju kształownika i tym samym jego parametrów wytrzymałościowych głównie przez korozję, co powoduje przekroczenie granicznych naprężeń przenoszonych przez obudowę i nagłe jej załamanie się;
- utraty stateczności przez działanie na obudowę dużych obciążeń dynamicznych występujących w przypadku wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu. Obudowy

podporowe typu ŁP mają niską odporność na obciążenia dynamiczne wskutek spadku podporności przy zsuwie na złączach łuków. Korzystniejszymi rozwiązaniami są konstrukcje obudów podporowo-odrzwiowych przykotwianych, podporowo-kotwio- wych lub mieszanych, dla których jest możliwość przeniesienia obciążenia dyna- micznego przy małym przemieszczeniu układu.

Ogólny schemat przyczyn zawałów występujących w wyrobiskach korytarzowych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Ogólny schemat przyczyn zawałów wyrobisk

Fig. 1. General diagram presenting the causes of heading collapses

2. Rodzaje zawałów w wyrobiskach korytarzowych powstałych wskutek zużycia technicznego obudowy

Badania doświadczalne (Chudek i Duży 2005; Chudek i in. 2001, 2005, 2011) wykazały, że występująca w wyrobisku korozja obudowy stalowej podatnej ma na ogół nierównomier- ny przebieg na długości wyrobiska, jak również na obwodzie jego przekroju poprzecznego. W praktyce przyczyny zawałów występujące wskutek zużycia technicznego obudowy (tzw. zawały korozyjne) można podzielić na:

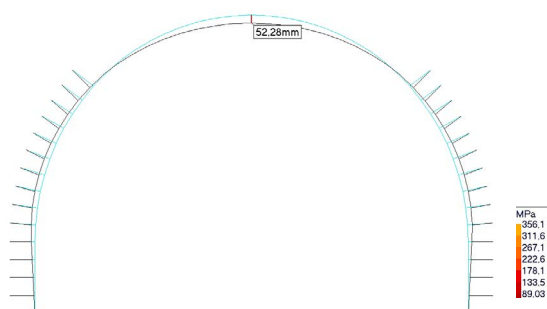
- przełamanie łuku w części stropnicowej przez znaczny ubytek przekroju poprzecz- nego kształtownika wskutek jego korozji połączony z korozją okładzin i rozpór (tzw. korozyjny zawał stropowy) – zawał ten ma na ogół charakter lokalny i przy właści-wej kontroli wyrobiska może być wyeliminowany przez wyprzedzające wykonanie wzmocnienia stabilizacji odrzwi i dodatkowego jej podparcia,
- utratę stateczności jednego z ociosów wyrobiska wskutek zwiększonej korozji obu- dowy, np. od strony ścieku, zalegania pokładu, lokalnych wykropleń wody lub innych czynników – łuk ociosowy z jednej strony wyrobiska jest w większym stopniu skoro- dowany i przy obciążeniu poziomym zostaje złamany i przemieszczony do wyrobiska (tzw. korozyjny zawał ociosowy),

- zawał całkowity wyrobiska przebiegający w sposób nagły bez wyraźnych objawów ma miejsce przy deformacji skorodowanych prostych odcinków łuków ociosowych, które zostają złamane, w efekcie czego dochodzi do nagłego obniżenia odrzwi, powodującego utratę stateczności obudowy (tzw. całkowity zawał korozyjny).

Należy zaznaczyć, że w praktyce może występować złożony przypadek zawału wskutek korozji, gdyż wraz z wystąpieniem jednej z przyczyn zmiana ulega stan naprężenia wokół wyrobiska i powstaje dodatkowe zniszczenie obudowy.

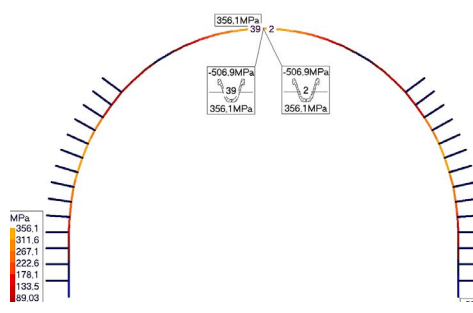
Dla jakościowej oceny zmian naprężeń w odrzwiach obudowy zamodelowano numerycznie konstrukcję obudowy ŁP9/V25/A z wahaczami sprężystymi modelującymi słabą wykładkę kamienną (moduł ścisłości $E_w = 5 \text{ MPa}$) rozpatrując ją jako:

- odrzwia obciążone równomiernie obciążeniem pionowym $q = 100 \text{ kN/m}$ z wahaczami modelującymi wkładkę kamienną, bez uwzględnienia korozji – na rysunku 2 przedstawiono stan deformacji odrzwi, a na rysunku 3 rozkład obliczonych naprężeń na obwodzie odrzwi;
- odrzwia obciążone równomiernie obciążeniem pionowym $q = 100 \text{ kN/m}$ z wahaczami modelującymi wkładkę kamienną, z uwzględnieniem korozji kształtownika na odcinku łuku stropnicowego obudowy (tzw. korozyjny zawał stropowy) – na rysunku 4 przedstawiono stan deformacji odrzwi, a na rysunku 5 rozkład obliczonych naprężeń na obwodzie odrzwi;
- odrzwia obciążone równomiernie obciążeniem pionowym $q = 100 \text{ kN/m}$ z wahaczami modelującymi wkładkę kamienną, z uwzględnieniem korozji kształtownika na odcinku łuku ociosowego obudowy (tzw. korozyjny zawał ociosowy) – na rysunku 6 przedstawiono stan deformacji odrzwi, a na rysunku 7 rozkład obliczonych naprężeń na obwodzie odrzwi;
- odrzwia obciążone równomiernie obciążeniem pionowym $q = 100 \text{ kN/m}$ z wahaczami modelującymi wkładkę kamienną, z uwzględnieniem korozji kształtownika na odcinku prostym łuku ociosowego (tzw. korozyjny zawał całkowity) – na rysunku 8 przedstawiono stan deformacji odrzwi, a na rysunku 9 rozkład obliczonych naprężeń na obwodzie odrzwi.



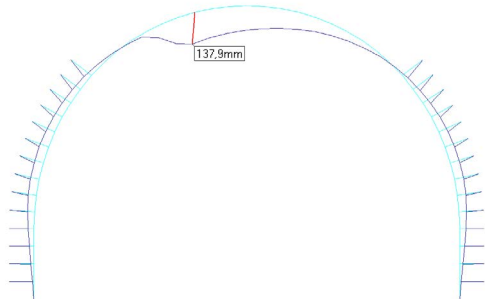
Rys. 2. Przemieszczenia węzłów odrzwi nieskorodowanych

Fig. 2. Displacements of support sets – sets not corroded



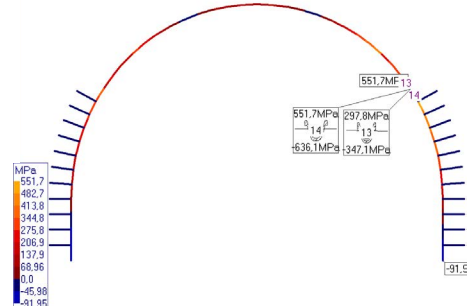
Rys. 3. Maksymalne naprężenia – odrzwia nieskorodowane

Fig. 3. Maximal stresses – support sets not corroded



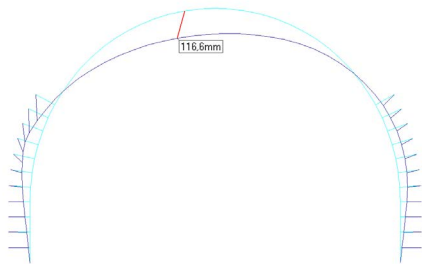
Rys. 4. Przemieszczenia węzłów odrzwi – korozja na łuku stropnicowym (tzw. korozyjny zawal stropowy)

Fig. 4. Displacements of support sets – sets corroded at the roof arch (so-called corrosion-induced fall of roof)



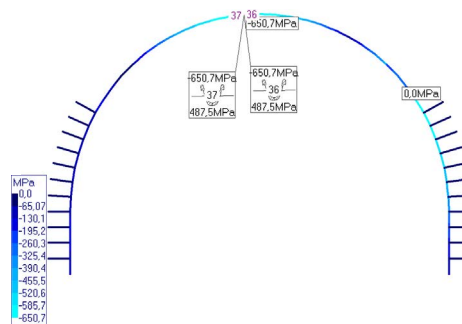
Rys. 5. Maksymalne naprężenia – odrzwia skorodowane na łuku stropnicowym (tzw. korozyjny zawal stropowy)

Fig. 5. Maximal stresses – support sets corroded at the roof arch (so-called corrosion-induced fall of roof)



Rys. 6. Przemieszczenia węzłów odrzwi – odrzwia skorodowane na łuku ociosowym (tzw. korozyjny zawal ociosowy)

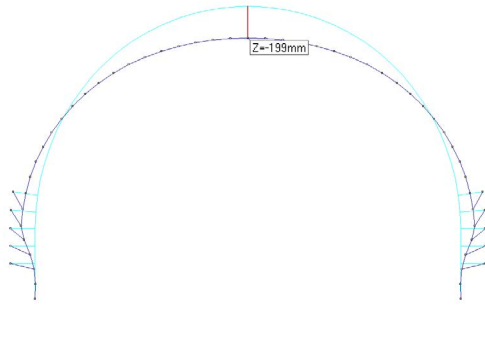
Fig. 6. Displacements of support sets – sets corroded at the side wall arch (so-called corrosion-induced side wall collapse)



Rys. 7. Maksymalne naprężenia – odrzwia skorodowane na łuku ociosowym (tzw. korozyjny zawal ociosowy)

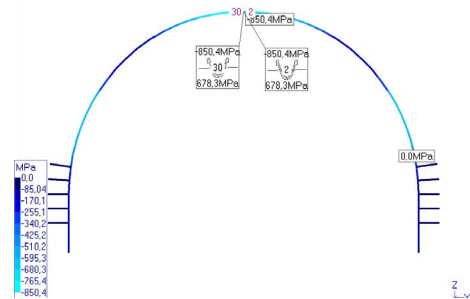
Fig. 7. Maximal stresses – support sets corroded at the side wall arch (so-called corrosion-induced side wall collapse)

Obliczenia przeprowadzono modelując obudowę z kształtownika V25 ze stali o module sprężystości $E = 205$ GPa, a w przekrojach modelowanych jako całkowicie skorodowanych moduł wynosił $E_{sk} = 1000$ MPa (w praktyce moduł sprężystości skorodowanej stali kształtownika może być mniejszy). Zbudowany model mimo swojej niedoskonałości pozwala na jakościową analizę zachowania się, którą w postaci przemieszczeń węzłów odrzwi i maksymalnych naprężeń zestawiono w tabeli 1.



Rys. 8. Przeszczenia węzłów odrzwi obudowy ŁP – odrzwia skorodowane na prostkach łuków ociosowym nad stopami (tzw. korozyjny zawał całkowity)

Fig. 8. Displacement of arch support sets – sets corroded at the straight sections of arches over the base sections (so-called corrosion-induced complete collapse)



Rys. 9. Maksymalne naprężenia w odrzwiach obudowy ŁP – odrzwia skorodowane na prostkach łuków ociosowym nad stopami (tzw. korozyjny zawał całkowity)

Fig. 9. Maximum stresses in the arch support sets – sets corroded at straight sections of the arches over the base sections (so-called corrosion-induced complete collapse)

TABELA 1. Przeszczenia i naprężenia w modelowanych odrzwiach obudowy dla różnych przypadków korozji (wg rysunków 2 do 9)

TABLE 1. Displacements and stresses in the modeled support sets for different cases of corrosion

Lp	Rodzaj modelu	Maksymalne przeszczenia węzłów w modelu [mm]	Naprężenia maksymalne w przekroju kształownika [MPa]	Uwagi
1.	Odrzwia nieskorodowane (rys. 2 i 3)	52,28	506,9	przeszczenia i naprężenia rozmieszczone równomiernie
2.	Skorodowany łuk stropnicowy (rys. 4 i 5)	153,1	636,1	przełamanie łuku stropnicowego prowadzi do dużego wzrostu naprężeń. po przeciwnej stronie odrzwi – wzrost o ok. 25,5% w stosunku do naprężeń dla odrzwi nieskorodowanych
3.	Skorodowany łuk ociosowy (rys. 6 i 7)	116,0	650,0	przełamanie łuku ociosowego prowadzi do dużego wzrostu naprężeń po przeciwnej stronie odrzwi – wzrost o ok. 28,2% w stosunku do naprężeń dla odrzwi nieskorodowanych
4.	Skorodowane proste odcinki nad stopami łuków ociosowych (rys. 8 i 9)	199,0	850,4	odrzwia ulegają znacznemu obniżeniu, następuje znaczny wzrost naprężeń, co prowadzi do dodatkowych przełamań odrzwi

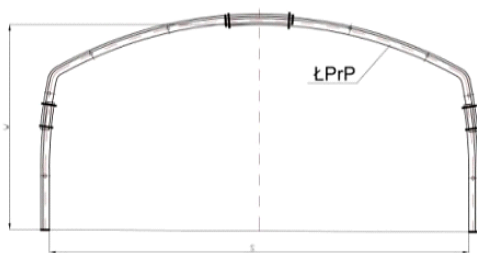
3. Zawały wyrobiska z niewłaściwie dobraną konstrukcją obudowy

Zawały wyrobisk korytarzowych spowodowanych niewłaściwie dobraną (zaprojektowaną) konstrukcją obudowy należą do częstych przypadków utraty stateczności wyrobiska. W fazie projektowania (doboru) obudowy górniczej istnieje konieczność dla danych warunków geologiczno-górnicych i występujących zagrożeń, określenia wielkości obciążenia oraz podporności odrzwi obudowy. Czynniki te muszą się równoważyć w całym okresie użytkowania wyrobiska, dlatego konieczne jest ich monitorowanie w czasie i w przestrzeni uwzględniając złożoność warunków geologiczno-górnicych i techniczno-technologicznych. Szczególnie istotne jest analizowanie niezawodności konstrukcji obudowy i stateczności wyrobiska z uwzględnieniem niepewności informacji (Duży 2007) i stopnia powiązania obudowy z górotworem (Rak i in. 2011) poprawiającym warunki współpracy układu obudowa – górotwór.

Zawały wyrobisk korytarzowych zabezpieczonych stalową obudową odrzwiową w praktyce mają miejsce w następujących przypadkach:

- konstrukcja obudowy charakteryzuje się imperfekcjami związanymi z niewłaściwym kształtem i układem łuków, złym rozwiązaniem połączeń elementów obudowy i odrzwi między sobą, złym posadowieniem i innymi,
- błędna technologia wykonania uniemożliwia wykonanie obudowy o podporności ostatecznej w czole przodka i w strefie manewrowej kombajnu.

Przykładowe rozwiązanie obudowy podporowej tzw. łukowo-prostej np. ŁPrP (rys. 10) z charakterystycznymi krawędziowo zagiętymi łukami stropnicowymi, które wraz z małą krzywizną łuków w rejonie osi przy zwiększonym obciążeniu zmieniają schemat statyczny obudowy w trójprzegubowy, który stanowi konstrukcję kinematycznie zmienną ulegającą łatwemu przegięciu, co w praktyce wymaga dodatkowego podpierania w rejonie osi przecinki (rys. 11).



Rys. 10. Konstrukcja obudowy ŁPrP z kolankowymi narożami przejścia łuków stropnicowych w ociosowe

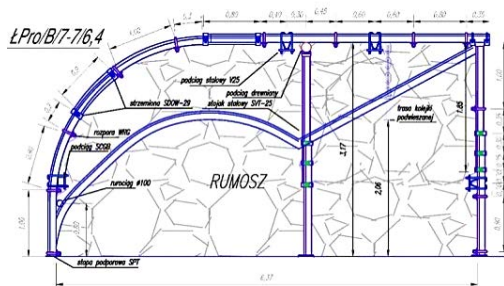
Fig. 10. ŁPrP supports structure with elbow corners between the roof and the side wall arches



Rys. 11. Wzmocnione w miejscu przegięcia odrzwi obudowy ŁPrP (zdjęcie własne)

Fig. 11. Sets of the ŁPrP supports reinforced in the contraflexure location

Duże problemy technologiczne sprawiają konstrukcje obudów łukowo-prostych, (które mają małą podporność kilka razy mniejszą od porównywalnej obudowy ŁP) i przy stosowaniu jej wzmocnienia za strefą manewrową kombajnu ulegają zawałowi (rys. 12 do 15).



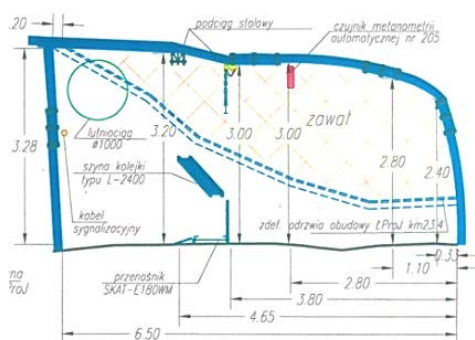
Rys. 12. Zawal wyrobiska w obudowie ŁProB7/7,6/4 (Szostek 2016)

Fig. 12. Heading collapse in the LProB7/7,6/4 supports



Rys. 13. Widok zawalu wyrobiska w obudowie ŁProB7/7,6/4 (Szostek 2016)

Fig. 13. A view of the heading collapse in the LProB7/7,6/4 supports



Rys. 14. Zawal wyrobiska w obudowie ŁProj 6,4/3,6 (Szostek 2016)

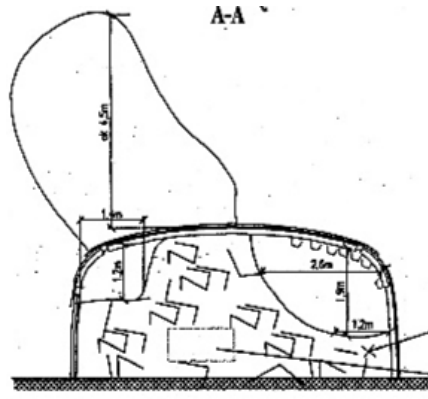
Fig. 14. Heading collapse in the LProj 6,4/3,6 supports



Rys. 15. Widok zawalu wyrobiska w obudowie ŁProj 6,4/3,6 (Szostek 2016)

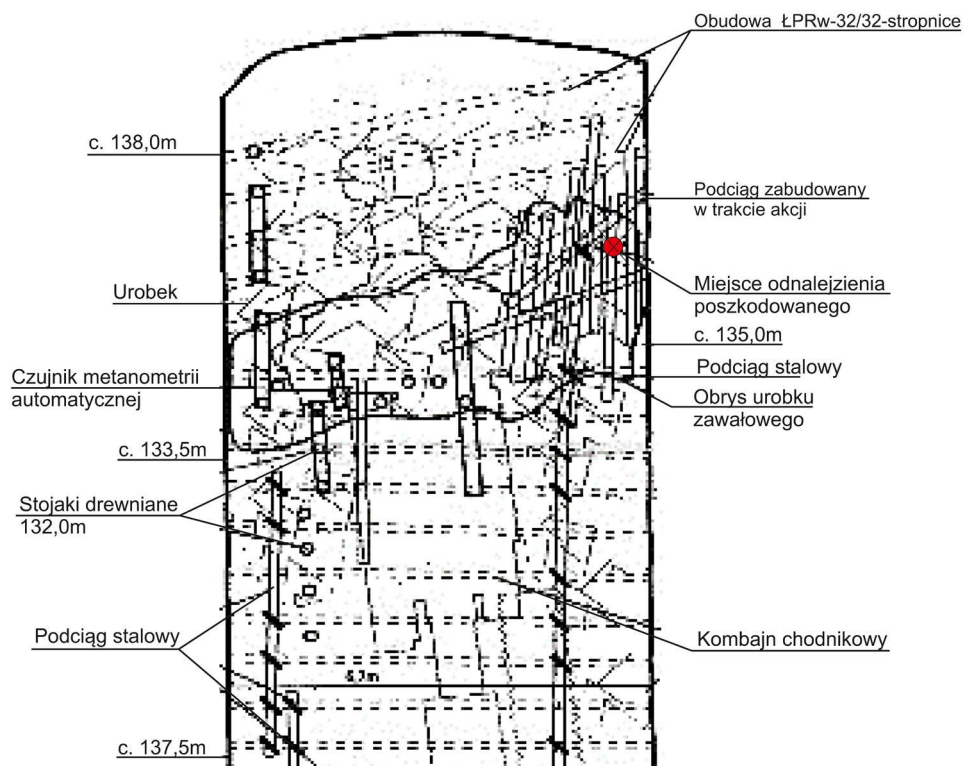
Fig. 15. A view of the heading collapse in the LProj 6,4/3,6 supports

Utrata stabilności obudowy z wystąpieniem zawalu i wypadku śmiertelnego w odrzwiach obudowy ŁPrw 32/V32 (rys. 16 i 17) wystąpiła w trakcie przygotowań do wykonania obudowy w przodku, podczas wyjazdu (wycofywania) kombajnu. Przyczyną zawalu było przemieszczenie się mas skalnych do chodnika, wskutek utraty stabilności obudowy pomiędzy 5 i 6 odrzwiami od czoła przodka, w następstwie opadu skał stropowych przy jego południowym narożu, powodującego dynamiczne oddziaływanie na obudowę. Do zaistnienia zawalu przyczynił się również fakt, że rozpory, które zostały zastosowane do stabilizacji obudowy chodnika nie spełniały wymagań zawartych w certyfikacie i deklaracji zgodności.



Rys. 16. Utrata stabilności i zawał wyrobiska w obudowie ŁPrw 32/V32 (Szostek 2016)

Fig. 16. Loss of stability and the collapse of the heading in the LPrw 32/V32 supports



Rys. 17. Zawał wyrobiska w obudowie ŁPrw 32/V32 (Szostek 2016)

Fig. 17. Heading collapse in the LPrw 32/V32 supports

4. Nowy sposób wzmocnienia skorodowanej stalowej obudowy odrzwiowej podatnej

W przypadku skorodowanej obudowy podporowej wykazującej:

- ubytek korozyjny materiału w przekroju kształownika powyżej 4 mm,
- występowanie perforacji (otworów) w przekroju kształownika,
- deformację nieciągłą obudowy polegającą na jej przegięciu, złamaniu itp.,
- zmniejszenie gabarytów wyrobiska ograniczające jego funkcjonalność,
- należy podjąć działania naprawcze w postaci całkowitej przebudowy wyrobiska lub dodatkowego wzmocnienia obudowy przez:
 - zabudowę dodatkowych elementów podporowych lub kotwi wmacniających konstrukcję obudowy odrzwiowej,
 - nałożenie na konstrukcję obudowy odrzwiowej betonu natryskowego wiążącego obudowę z górotworem z dodatkowym prowadzeniem iniekcji i kotwienia.

W nowoczesnym systemie wzmocnienia skorodowanych odrzwi obudowy często projektuje się stosowanie betonu natryskowego z makrowłóknami (tzw. fibrobeton). W przypadku wyrobisk podziemnych każdorazowo powinien być wykonany indywidualny projekt wzmocnienia obudowy uwzględniający specyfikę układu obudowa – górotwór wraz z kontrolą stanu obudowy.

Odrzwia obudowy, w których łączna grubość skorodowanej warstwy przekroju poprzecznego kształownika przekracza 4 mm (bez perforacji), mogą być wzmocnione:

- betonem natryskowym z makrowłóknami (fibrami) konstrukcyjnymi w odpowiednio dobranej ilości w stosunku do spoiwa,
- betonem natryskowym typowym z dodatkowym wzmocnieniem za pomocą siatek stalowych nałożonych na obudowę – siatki należy odpowiednio wyprofilować do kształtu profilu kształownika obudowy.

Przy wstępowaniu w kształownikach skorodowanych odrzwi obudowy perforacji (otworów) należy na ich długości nałożyć zbrojenie, przez zaprojektowanie w przekroju prętów podłużnych (obwodowych) i poprzecznych. Przykładowe rozwiązanie siatki profilowanej w postaci zaginanej maty tzw. gnomata przedstawiono na rysunkach 18 i 19.

Siatki profilowane (tzw. gnomaty) zaleca się wykonywać z prętów stalowych żebrowanych (karbowanych) stosowanych w konstrukcjach żelbetowych. Przy występowaniu w przekroju odrzwi znacznych ubytków materiału kształownika, np. w postaci otworów (perforacji) na znacznej długości, na kształownik należy nałożyć kratownicę przestrzenną (tzw. kratownica profilowa) z prętów stalowych żebrowanych o średnicy prętów od 12 do 22 mm ze spawanymi żebrowanymi prętami rozdzielczymi. Przykładowe rozwiązania kratownicy profilowanej przedstawiono na rysunkach 20 i 21.

Długość gnomat i kratownic profilowanych po obwodzie odrzwi powinna być ustalona w projekcie i nie powinna być większa od 2 m.

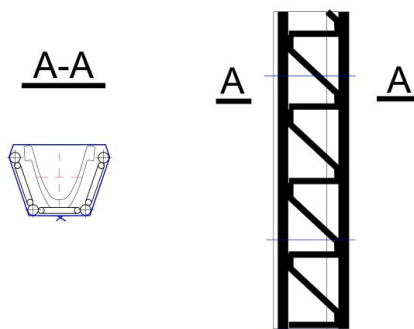
Zarówno gnomaty, jak i kratownice profilowe powinny mieć długość i kształt (promień krzywizny) dostosowany do obudowy i być z nią połączone miękkim drutem stalowym (o średnicy min. 3 mm) co najmniej w dwóch przekrojach. Przy stosowaniu na obwodzie odrzwi większej liczby odcinków zbrojenia ich pręty podłużne należy połączyć ze sobą na zakładce minimum 15 cm. Pręty rozdzielcze (poziome) powinny dolegać do okładzin.



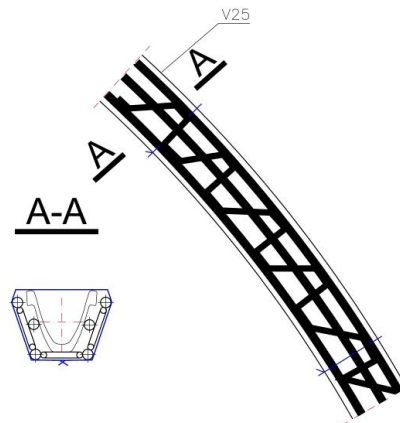
Rys. 18. Nałożone gnomaty na odrzwiia obudowy
 Fig. 18. Profiled meshes placed on the support sets



Rys. 19. Wzmocnienie betonem natryskowym z założonymi gnomatami
 Fig. 19. Reinforcement using shotcrete with profiled meshes



Rys. 20. Kratownica profilowana prosta z prętów stalowych głównych (podłużnych o średnicy 16 mm) i rozdzielczych o średnicy 8 mm
 Fig. 20. Straight profiled lattice structure made of main (longitudinal, 16 mm in diameter) and splitting (8 mm in diameter) steel rods



Rys. 21. Kratownica profilowana łukowa z prętów stalowych głównych (podłużnych o średnicy 12 mm) i rozdzielczych o średnicy 8 mm
 Fig. 21. Arched lattice structure made of main (longitudinal, 12 mm diameter) and splitting (8 mm in diameter) steel rods

Wzmocnianie odrzwi wymaga stosowania betonu natryskowego o zwiększonej wytrzymałości na rozciąganie przez zastosowanie makrowłókien (fibrami) stalowymi lub z tworzyw sztucznych, np. polipropylenowych (w odpowiednio dobranej ilości w przedziale od 4 do 5 kg na 1 m³ spoiwa) (Głuch i in. 2016; Jamroży 1985; Karwacki 1994; Kleta i Winch 2007; Prusek i in. 2015).

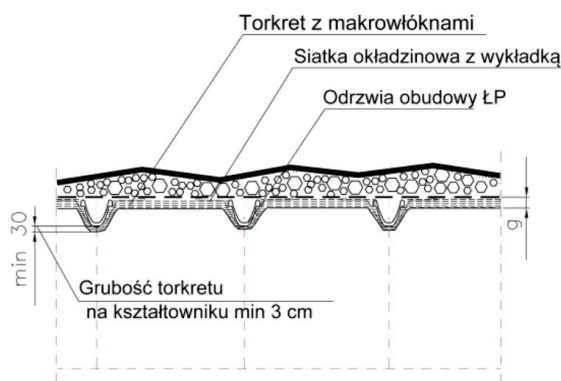
W przypadku braku deformacji odrzwi może być wykonywane wzmocnianie obudowy przez nałożenie betonu natryskowego (torkretowanie) bez potrzeby przebudowy wyrobiska.

Podjęcie decyzji o torkretowaniu obudowy jest uzasadnione:

- potrzebą długotrwałego utrzymania komór funkcyjnych, jak i wyrobisk liniowych (praktycznie przez cały okres istnienia poziomów wydobywczych i prowadzenia na nim wydobywania),
- niekorzystnymi warunkami geologiczno-górnictwicznymi sprzyjającymi występowaniu korozji obudowy.

Dla uzyskania niezbędnych wartości nośności i trwałości obudowy dla zróżnicowanych warunków utrzymania wyrobisk sformułowano następujące wymagania:

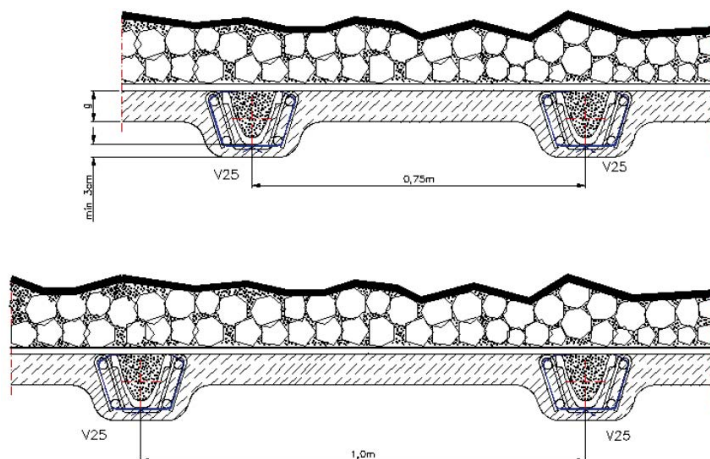
- torkretowanie należy prowadzić przez wykonanie warstwy betonu natryskowego o łącznej projektowanej grubości mierzonej między odrzwiami obudowy oraz na odrzwiach o grubości minimum 3 cm od grzbietu kształtownika;
- przy stosowaniu pojedynczej warstwy betonu natryskowego konstrukcyjnego należy go wykonać ze spoiwa mineralno-cementowego o właściwościach izolacyjnych o gwarantowanej wytrzymałości doraźnej na ściskanie minimum 40 MPa – celowe jest zastosowanie spoiw z makrowłóknami zwiększającymi parametry wytrzymałościowe betonu;
- w pierwszej fazie torkretowanie należy prowadzić na części przyspągowo-ociosowej, tak, aby wzmocnić łuki ociosowe w rejonie spągu;
- pojedyncza warstwa betonu natryskowego jest korzystnym rozwiązaniem wzmocnienia odrzwi dającym wysoką nośność konstrukcji (rys. 22) w przypadku grubości warstwy torkretu między odrzwiami nie mniejszej od 5 cm, z warstwą betonu nałożoną na ścianki boczne i grzbiet kształtownika o grubości min. 3 cm.



Rys. 22. Przekrój przez obudowę stalową wzmocnioną jedną warstwą torkretu (betonu natryskowego) – rozwiązanie z bezpośrednim natryskiem na obudowę (grubość $g = \text{min. } 5 \text{ cm}$)

Fig. 22. Cross section through steel supports reinforced with a single layer of shotcrete – solution using direct spraying on the supports (thickness $g = \text{min. } 5 \text{ cm}$)

Przykład wzmocnienia skorodowanych odrzwi obudowy z kształtownika V25 za pomocą betonu natryskowego z wzmocnieniem perforowanych odcinków kształtownika kratownicami profilowanymi wraz z wykonaniem iniekcji mleczkiem cementowym scalającym wykładkę i kształtownik z górotworem przedstawiono na rysunku 23.



Rys. 23. Przykład wzmocnienia skorodowanych odrzwi obudowy za pomocą betonu natryskowego ze wzmocnieniem kształtownika kratownicami profilowanymi z iniekcją mleczkiem cementowym

Fig. 23. An example of reinforcing the corroded support sets using shotcrete with reinforcing the profile using profiled lattice structures and cement slurry injection

Podsumowanie

1. Problem utrzymania stateczności wyrobisk korytarzowych i specjalnych w kopalniach podziemnych nabiera coraz większego znaczenia. Wynika to m.in. z lokalizacji wyrobisk na coraz większych głębokościach, stosowania ze względów technicznych i wentylacyjnych coraz większych wymiarów przekroju poprzecznego, występujących zagrożeń naturalnych, przepisów BHP i wymagań ekonomicznych.
2. Wśród przyczyn zawałów występujących w ostatnim okresie w wyrobiskach korytarzowych kopalń węgla kamiennego wymienia się błędy projektowania, błędy wykonawcze, błędy użytkowania oraz przyczyny losowe:
 - do podstawowych błędów projektowania zaliczono niedostateczne rozpoznanie geologiczne, brak dokładnego określenia właściwości skał i górotworu, czy stosowanie niezwyfikowanych doświadczalnie metod doboru obudowy,
 - do błędów wykonawczych zaliczono przede wszystkim brak wymaganej dokładności wykonania wyrobiska i obudowy,
 - jako błędy użytkowania wymieniono nadmierne zużycie techniczne obudowy spowodowane m.in. korozją materiału, nadmierne obciążenie obudowy od wyposażenia wyrobiska, brak diagnostyki obudowy,
 - przyczyny losowe powodujące niebezpieczne zdarzenia w wyrobiskach górniczych to tąpnięcia, wstrząsy górotworu, wyrzuty gazów i skał, lokalne anomalie w budowie geologicznej górotworu, wdarcie się wody do wyrobiska itp.
3. Poprawa warunków utrzymania stateczności możliwa jest do osiągnięcia poprzez działania zmierzające do zwiększania nośności stosowanej w wyrobiskach obudowy lub od-

działywanie na górotwór powodujące obniżenie wielkości i rodzaju jego obciążenia na obudowę oraz poprawę warunków jej współpracy z górotworem.

4. Istnieje konieczność dokładnego rozpoznania warunków geologiczno-górnicznych wzdłuż wybiegu wyrobisk. Rozpoznanie, na podstawie którego opracowywane są projekty, powinno być przeprowadzone w miejscach możliwie jak najbliżej zlokalizowanych względem wyrobiska i powinno uwzględniać opis budowy geologicznej oraz badania właściwości wytrzymałościowych i odkształceniowych skał oraz struktury górotworu. Istotna jest również zmienność budowy i właściwości górotworu wzdłuż wybiegu wyrobiska. Biorąc powyższe pod uwagę za celowe uważa się uwzględnienie w przepisach ruchomych warunków określających niezbędny zakres badań dla potrzeb doboru obudowy wyrobisk obejmujący odległość punktów informacyjnych od wyrobiska, głębokość rozpoznania względem obrysu wyrobiska oraz parametry skał i górotworu objęte badaniami.
5. Dobór obudowy wyrobisk w świetle przepisów leży w gestii Kierownika Działu Górniczego, który dobiera obudowę według swojego doświadczenia, często z wykorzystaniem zasad doboru opartych na prostych modelach obliczeniowych. W coraz trudniejszych warunkach utrzymania stateczności wyrobisk konieczne jest doskonalenie metod doboru obudowy wykorzystujących aktualną wiedzę o właściwościach górotworu i procesach w nim zachodzących w trakcie wykonywania i użytkowania wyrobiska oraz wykorzystujących dostępne narzędzia projektowania. Szczególnie niewystarczający w projektowaniu obudowy wyrobisk jest jednoparametryczny opis właściwości górotworu oparty na wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie. Aktualizacji i uzupełnienia wymagają również stosowane dokumenty opisujące procedury doboru obudowy torkretowej.
6. Dla poprawy warunków bezpieczeństwa w wyrobiskach górniczych do wykonania jej obudowy stosuje się materiały o coraz wyższych parametrach wytrzymałościowych. Na przestrzeni ostatnich lat do wykonania obudowy stalowej stosuje się stale o coraz wyższych parametrach mechanicznych. W tej sytuacji dla jak największego wykorzystania nośności kształtownika konieczne jest dostosowanie konstrukcji pozostałych jej elementów (strzemiona, okładziny, rozpory o odpowiedniej nośności, wykładka o jak najmniejszej ściśliwości). Istotne jest również posadowienie obudowy. Stosowany w praktyce zapis w przepisach o konieczności stosowania stóp podporowych nie odpowiada współczesnym właściwościom obudowy doprowadzając do uplastycznienia podłoża.
7. Duże możliwości w zakresie poprawy warunków utrzymania stateczności wyrobisk stwarza obudowa torkretowa. Dostępne na rynku materiały i urządzenia do jej wykonania umożliwiają osiągnięcie dobrych efektów zarówno w zakresie uzyskania wysokiej podporności obudowy, jak i technologii jej wykonania. Zwrócić należy uwagę na stosowanie w budownictwie górniczym w większym zakresie betonu natryskowego z makrowłóknami (fibrami). Korzystne wyniki uzyskuje się również w przypadku stosowania obudów kombinowanych łączących obudowę odrzwiową i powłokową, przyklatwianie odrzwi do górotworu itp.
8. Dla poprawy warunków współpracy obudowy z górotworem korzystne jest prowadzenie działań ograniczających degradację masywu. W tym celu wskazane jest szersze stosowanie kotwienia górotworu, szczególnie bezpośrednio w przodku drążonego wyrobiska.
9. Dobre efekty w poprawie warunków utrzymania stateczności wyrobiska można uzyskać poprzez wzmacnianie górotworu za pomocą iniekcji substancjami klejowymi. Stosując te zabiegi można likwidować pustki występujące w górotworze, ograniczać przepływ

- gazów i wody pomiędzy górotworem a wyrobiskiem, zwiększać wytrzymałość górotworu poprzez jego scalenie.
10. Dla minimalizacji zruszenia otaczającego górotworu należy również doskonalić technologie drążenia wyrobisk. Cel ten można osiągać poprzez dobór odpowiedniego układu technologicznego, organizacji pracy w przodku oraz rodzaju zastosowanej obudowy, tak aby nie dopuścić do znacznego samoistnego odprężenia górotworu bez wykonanej obudowy.
 11. W trakcie użytkowania wyrobiska w warunkach podziemnych występują intensywne procesy korozyjne. W wyniku korozji obserwuje się spadek nośności obudowy i wzrost zagrożenia zawałowego. Dla poprawy warunków w tym zakresie konieczne jest do produkcji elementów konstrukcyjnych obudowy stosowanie w szerszym zakresie materiałów odpornych na korozję, np. stal o zwiększonej odporności na korozję, tworzywa sztuczne, betony odporne na korozję itp.
 12. Nieodzownym elementem działań dla prawidłowego utrzymania wyrobisk jest diagnostyka obudowy. Należy objąć przepisami ruchowymi zakres i częstotliwość wykonywania badań diagnostycznych w ramach diagnostyki okresowej, doraźnej i docelowej dostosowanych do stopnia zagrożenia oraz konstrukcji obudowy.

Literatura

- Chudek, M. i Duży, S. 2005. Geotechniczne problemy utrzymania wyrobisk korytarzowych w złożonych warunkach geologiczno-górnictwowych. *Górnictwo i Geoinżynieria* R. 29, z. 3/1, s. 157–164.
- Chudek i in. 2011 – Chudek, M., Duży, S., Głuch, P., Kleta, H., Cholewa, M. i Winch, M. 2011. *Stateczność wyrobisk korytarzowych warunkiem efektywnej eksploatacji i bezpieczeństwa pracy w kopalniach podziemnych*. Monografia. Gliwice.
- Chudek i in. 2005 – Chudek, M., Duży, S. i Dyduch, G. 2005. Wpływ korozji na nośność stalowych odrzwi podatnych. *Budownictwo Górnicze i Tunelowe* nr 3, s. 7–15.
- Chudek M. i in. 2009. *Optymalizacja warunków współpracy stalowej obudowy odrzwiowej podatnej wzmocnionej warstwa betonu natryskowego z górotworem w aspekcie zachowania stateczności wyrobiska oraz ochrony środowiska górnictwowego*. Monografia. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Duży, S. 2007. Studium niezawodności konstrukcji obudowy i stateczności wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego z uwzględnieniem niepewności informacji. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo* z. 277, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Głuch i in. 2016 – Głuch, P., Brudny, G., Śledź, T., Ratajczak, A., Śpiewak, T. i Lekan, W. 2016. Stosowanie betonu natryskowego do wzmocnienia obudowy stalowej podporowej. *Materiały Konferencyjne XXV Szkoły Eksploatacji Podziemnej*, Kraków.
- Jamroży, Z. 1985. *Drutobeton*. Skrypt Politechniki Krakowskiej, Kraków.
- Karwacki, J. 1994. Beton zbrojony włóknem stalowym w budownictwie podziemnym. *Budownictwo Podziemne*, Kraków.
- Kleta, H. i Winch, M. 2007. Przydatność betonu natryskowego na bazie cementu ekspansyjnego ze zbrojeniem rozproszonym dla poprawy stateczności wyrobisk korytarzowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo* z. 279, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Prusek i in. 2015 – Prusek, S., Rotkegel, M. i Małecki, Ł. 2015. Wybrane problemy wzmocnienia skorodowanej obudowy odrzwiowej. *Przegląd Górniczy* nr 5, s. 71–77.
- Rak i in. 2011 – Rak, Z., Małkowski, P. i Stasica, J. 2011. Elementy technologii wykonywania wykładki mechanicznej w świetle dotychczasowych doświadczeń. *Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa. Górnictwo i Środowisko*, kwartalnik 1/1, s. 316–326.
- Szostek, T. 2016. Analiza przyczyn zawałów wyrobisk korytarzowych w ostatnim okresie. *Seminarium pt. „Poprawa stateczności liniowych i specjalistycznych wyrobisk górnictwowych z wykorzystaniem betonów natryskowych i iniekcji środkami mineralnymi”*. Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice.

