

Henryk KLETA  
Politechnika Śląska, Gliwice  
Mieczysław WINCH  
Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. KWK „Borynia”, Jastrzębie Zdrój

## PRZYDATNOŚĆ BETONU NATRYSKOWEGO NA BAZIE CEMENTU EKSPANSYWNEGO ZE ZBROJENIEM ROZPROSZONYM DLA POPRAWY STATECZNOŚCI WYROBISK KORYTARZOWYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono celowość i możliwości zastosowania betonów natryskowych ze zbrojeniem rozproszonym na bazie cementów ekspansywnych w budownictwie podziemnym. Omówiono wpływ cementów ekspansywnych na właściwości betonu natryskowego ze zbrojeniem rozproszonym i mikrokrzemionką wykorzystanego jako tworzywo konstrukcyjne. Przedstawione wyniki badań uzyskano na bazie wstępnej analizy wyników badań przeprowadzonych w obiektach podziemnych, a w szczególności w wyrobiskach górniczych. Badania mają na celu uzyskanie nowego typu kompozytu betonowego, pozwalającego projektować i wykonywać obudowy powłokowe oraz rekonstruować istniejące uszkodzone obudowy wyrobisk górniczych. Analiza wyników badań i przeprowadzonych obliczeń numerycznych pozwoliła sformułować podstawowe założenia nowego rodzaju kompozytu betonowego do wykonywania obudów powłokowych, pozbawionych niekorzystnych cech betonów natryskowych wykonywanych na bazie cementów portlandzkich.

## SUITABILITY OF SHOTCRETE ON THE BASE OF EXPANSIVE CEMENT WITH DIFFUSE REINFORCEMENT FOR IMPROVEMENT OF DOG HEADING STABILITY

**Summary.** Paper presents advisability and potential of application of shotcrete with diffuse reinforcement on the base of expansive cements in underground engineering. Influence of expansive cements with diffuse reinforcement and microsilica on concert properties has been discussed. Presented result of research were obtained from preliminary analysis of underground objects behavior especially mining excavation. The aim of research is work out new type of concert composite, which will allow to design and execution of lining support and reconstruct existing, damaged supports of mining excavations. Analysis of result of research and numerical calculation allows to formulate primary foredesign of new kind of concrete composite for execution of lining support, without disadvantageous features of shotcrete made in the base of Portland cement.

## 1. Wprowadzenie

Wyrobiska dołowe o długim czasie istnienia lub drażone w strefach wpływów eksploatacji górniczej czy też w strefach zaburzeń tektonicznych powinny być wykonywane w specjalny sposób, zapewniający ich długotrwałe istnienie, bez konieczności ponownej przebudowy. Osiągnięcie tego zadania jest możliwe poprzez:

- pełniejsze wykorzystanie sił natury dla samotrzymania się wyrobiska,
- zwiększenie podporności obudowy przez zastosowanie betonu natryskowego z mikrozbrojeniem, a ponadto w najtrudniejszych warunkach górniczo-geologicznych dodatkowe wzmocnienie w wyniku zastosowania kotew iniekcyjnych.

Tradycyjne rozwiązania wykorzystujące siły natury w celu lepszego utrzymania wyrobiska polegają na zastosowaniu szczelnej wykładki pomiędzy górotworem a opinką obudowy stalowej, wykonanej z urobku będącego do dyspozycji w przodku wyrobiska. Szczelna wykładka ma zapewnić jak najszybsze podtrzymanie skał otaczających wyrobisko i niedopuszczenie do rozwarstwienia skał stropowych. Przyjmuje się, że szczelna wykładka zwiększa stateczność obudowy, jak również zwiększa jej podporność.

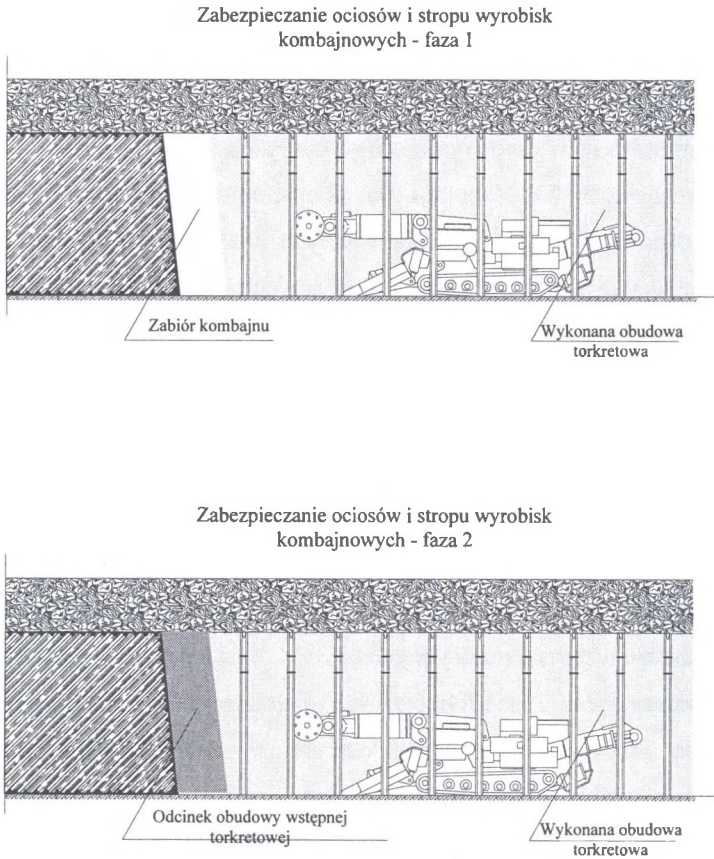
W praktyce uzyskanie szczelnej wykładki jest trudne do zrealizowania, a czasem wręcz niemożliwe. Ta sytuacja, powodująca rozwarstwienie skał stropowych na skutek nieszczelnej wykładki, zdecydowanie pogarsza samotrzymanie się wyrobiska, zwiększa się ciśnienie na obudowę powodując utratę pierwotnych gabarytów wyrobiska. Często nierównomiernie rozłożone obciążenia deformują odrzwia obudowy. Efektem tego są zagniecenia wyrobiska, uszkodzenia obudowy, a w dalszej kolejności zachodzi konieczność wykonania kosztownej przebudowy wyrobiska.

Obecnie dla obiektów podziemnych (tunelowych, komorowych czy wyrobisk górniczych) stosuje się kilka rodzajów obudów [2]:

- segmentowe, tubingowe: betonowe, żelbetowe;
- monolityczne : betonowe i żelbetowe z betonu lanego lub natryskowego;
- wielowarstwowe o konstrukcji wynikającej z przyjętej technologii, warunków górniczo-geologicznych i przeznaczenia obiektu np.: kotwiowo-betonowe, stalowo-betonowe.

Poszczególne rodzaje obudów mogą występować w różnych układach w zależności od wymagań konstrukcyjnych czy uwarunkowań wykonawczych. Na obecnym etapie technologii robót górniczych korytarzowych oraz wyrobisk tunelowych dużą skuteczność

w oddziaływaniu na górotwór, zdecydowaną poprawę jego parametrów uzyskała obudowa z betonu natryskowego.



Rys. 1. Zabezpieczenie ociosów i stropu obudową torkretową wyrobiska drążonego kombajnem chodnikowym

Fig. 1. Protection of walls and roof of a working driven by a heading machine with shotcrete

Zastosowanie betonu natryskowego w połączeniu z innymi rodzajami obudów i zabiegów technologicznych pozwala na uzyskanie przez obudowę wymaganej nośności.

Wymuszane warunkami naturalnymi i względami technicznymi połączenie zabiegów modyfikujących własności górotworu z betonem natryskowym pozwala na osiągnięcie korzystnej ich wzajemnej współpracy.

## 2. Wpływ warstwy betonu natryskowego na bazie cementu ekspansywnego na stateczność górotworu

Wieloletnie doświadczenia ruchowe w budownictwie górniczym i tunelowym wykazują, iż optymalnym rozwiązaniem jest wprowadzenie obudowy w przodku wykonywanego wyrobiska, która ściśle przylega do konturu wyrobiska i jednocześnie wykazuje zdolność do ograniczonych przemieszczeń. W dużym zakresie wymóg ten spełniają obudowy powłokowe z betonu natryskowego [2, 5, 23]. Samonośność sklepienia skalnego jest cechą obudowy powłokowej nie spotykaną w obudowach odrzwiowych. Podatność obudowy odrzwiowej dopuszcza do spękań w górotworze i powstania określonych obciążeń. Obudowa powłokowa nie dopuszcza do obniżenia spójności skał i do powstania deformacji i rozwarstwień, dostosowując się do działających obciążeń. Dla poprawy podporności obudowy powłokowej z betonu natryskowego może ona być stosowana łącznie z przykotwionym zbrojeniem z siatek stalowych, stanowiących najczęściej obudowę wstępną wyrobiska lub z rozproszonym mikrozbrojeniem stalowym.

Dzięki zastosowaniu dodatków modyfikujących własności betonu natryskowego uzyskać można żądane walory obudów powłokowych takie, jak: wysoka przyczepność, krótki czas wiązania mieszanki betonowej i wysoka wytrzymałość.

Tworzywa konstrukcyjne z modyfikowanych betonów natryskowych są obecnie stosowane głównie do interwencyjnych napraw i zabezpieczenia intensywnie eksploatowanych lub awaryjnie uszkodzonych obiektów.

Trudne warunki górniczo-geologiczne panujące w wyrobiskach tunelowych i górniczych przy zabezpieczaniu ociosów, stropu czy spągu betonem natryskowym wymagają stosowania kompozytów betonowych o ściśle określonych walorach technicznych pozwalających kształtować projektowane właściwości obudów powłokowych zależnie od wymagań związanych z przeznaczeniem i lokalizacją wyrobiska. Obudowa taka musi cechować się bardzo szybkim osiągnięciem dużej wytrzymałości, pozwalając w krótkim okresie czasu zabezpieczyć odsłonięty górotwór. Takim tworzywem jest na pewno beton natryskowy z mikrozbrojeniem stalowym, który o właściwie dobranym składzie – dostosowanym do warunków eksploatacji – cechuje się odpowiednią jakością, a szczególnie dobrą wytrzymałością na zginanie i ścinanie, a ponadto podwyższoną odkształcalnością do momentu zarysowania, odpornością na uderzenia oraz obniżonym skurczem.

Beton natryskowy zbrojony włóknem stalowym (mikrozbrojeniem) jest jednorodny, ma tę samą wytrzymałość we wszystkich kierunkach w przeciwieństwie do betonu zwykłego,

który jest kruchy. Beton zwykły po pojawieniu się pęknięcia traci swoją odporność na obciążenia i ulega zniszczeniu, natomiast beton zbrojony włóknem stalowym po przekroczeniu obciążenia, powodującego pojawienie się pierwszej rysy, ma nadal dużą wytrzymałość i cechy materiału sprężysto – plastycznego. Włókna stalowe mogą być zastąpione włóknami polipropylenowymi HPP, gdy beton natryskowy ma pracować w warunkach agresywnego, korozyjnego dla stali środowiska.

Jako spoiwo w betonie natryskowym stosowany jest cement portlandzki. Wadą tego typu materiału jest skurcz, który powoduje odspojenie na granicy materiału pierwotnego (górotwór lub poddawana renowacji uszkodzona obudowa) i nowego materiału, czyli świeżej warstwy betonu natryskowego. Warstwa betonu natryskowego nie działa wtedy aktywnie na odprężający się górotwór, gdyż nie wywiera na niego naprężeń wstępnych [16].

Eliminuje się przez to bardzo ważny warunek efektywności wykonywanej obudowy, jakim jest adhezja materiału użytego (do wykonania obudowy) do podłoża (odsłonięty górotwór lub naprawiana obudowa).

Zastosowanie jako spoiwa cementu ekspansywnego pozwala wyeliminować zjawisko skurczu, a co za tym idzie:

- zmniejszenia wytrzymałości na rozciąganie ,
- pogorszenia cech techniczno - użytkowych betonu, takich jak: szczelność struktury, mrozoodporność, wodoprzepuszczalność, nasiąkliwość i rysoodporność,
- obniżenia odporności korozyjnej i właściwości ochronnych betonu wobec stali zbrojeniowej,
- powstania mikrospękań w strukturze betonu.

W odniesieniu do konstrukcji z betonu zastosowanie jako spoiwa cementu ekspansywnego pozwala na:

- zmniejszenie zużycia zbrojenia stosowanego jako przeciwskurczowe (które jedynie łagodzi skutki skurczu),
- zwiększenie przyczepności do podłoża (w tym przypadku odsłoniętego świeżo górotworu lub naprawianej konstrukcji),
- zwiększenie odporności elementów konstrukcyjnych na pęknięcie.

Badania przeprowadzone nad zastosowaniem cementów ekspansywnych [14] wykazały, że betony wykonane na bazie cementu ekspansywnego są materiałami aktywnymi, spełniającymi wymóg kompatybilności cech (przy naprawie konstrukcji betonowych) i adhezji. Dodatkowo dzięki występującym w takim betonie samonapreżeniom występuje

korzystne oddziaływanie na konstrukcję jeszcze przed zadziałaniem obciążeń wymuszających współpracę. Ta cecha posiada ogromne znaczenie w budownictwie podziemnym przy zabezpieczeniu odsłoniętego górotworu w formie obudowy powłokowej wykonanej na bazie betonu natryskowego. Podstawową cechą różniącą betony ekspansywne od betonu zwykłego jest to, że zamiast skurczu występują w nich zjawiska narastania objętości - ekspansji [14].

Korzyści płynące z zastosowania betonów ekspansywnych do napraw konstrukcji naziemnych wskazują na możliwość osiągnięcia podobnych korzyści w budownictwie podziemnym, w tym w szczególności do natychmiastowego zabezpieczania przodka drążonego wyrobiska korytarzowego.

Kolejnym składnikiem betonu natryskowego jest mikrokrzemionka, której obecność pozwala na uzyskanie betonu wyższej jakości, wykazującego większą szczelność i lepkość, a ponadto pozwala regulować nadmierną ekspansję betonu [14].

Badania betonu natryskowego z mikrozbrojeniem pokazały, że jest to tworzywo o wysokiej wytrzymałości, zapobiegające odprężaniu się skał otaczających wyrobisko [24].

Dotychczasowe doświadczenia ze stosowania betonu natryskowego z mikrozbrojeniem nie zostały dotąd wykorzystane w znaczący sposób w polskim budownictwie podziemnym.

Dostępna literatura ukazuje tylko zastosowanie betonu natryskowego na bazie cementu ekspansywnego w budownictwie naziemnym [14], a cechy tego betonu wskazują na możliwość wykorzystania go w budownictwie podziemnym ze względu na:

- powstający podczas wiązania etryngit przerasta pory i nierówności strefy kontaktu, powodując mechaniczne zazębienie się z podłożem,
- podczas wiązania betonu ekspansywnego w warunkach ograniczonej swobody odkształceń powstają w nim samonaprężenia powodujące docisk na granicy zespolenia i poprawę przyczepności do podłoża.

Przedstawione cechy są bardzo przydatne w obudowie wyrobisk podziemnych (brak skurczu, ekspansja, lepsza przyczepność do podłoża, duża szczelność).

### **3. Wstępne wyniki badań betonu natryskowego na bazie cementu ekspansywnego**

W KWK „Borynia” przebadano wstępnie trzy rodzaje suchych mieszanek stosowanych do betonu natryskowego na bazie cementu ekspansywnego, a mianowicie z mieszanek [29, 30]:

- nr 1, o składzie: cement ekspansywny, kruszywo do 2,5 mm, mikrokrzemionka, włókna polipropylenowe Fibermesh „Harbourite” (19 mm),
- nr 2, o składzie: cement ekspansywny, kruszywo do 4,0 mm, mikrokrzemionka, włókna polipropylenowe Fibermesh „Harbourite” (19 mm),
- nr 3, o składzie: cement ekspansywny, kruszywo do 4,0 mm, mikrokrzemionka, włókna stalowe typu DRAMI X RC-80/30BP (o smukłości 80).

Na ociosy dworca osobowego na poziomie 713 m podczas wzmacniania istniejącej obudowy nałożono warstwę betonu natryskowego, wykonaną z około 2,5 tony powyższych mieszanek. Wykonano również płyty próbne do badań laboratoryjnych o wymiarach 60x60x12 cm.

Z suchych mieszanek użytych do natrysku określono:

- gęstość nasypową – suchych mieszanek,
- gęstość objętościową – świeżych mieszanek.

Z ociosów wyrobiska pokrytych warstwą betonu natryskowego oraz z płyt próbnych pobrano próbki, dla których wykonano badania laboratoryjne, obejmujące:

- gęstość objętościową – stwardniałych mieszanek,
- wytrzymałość na ścislenie (określoną na beleczkach 40x40x160 mm),
- wytrzymałość na zginanie (określoną na połówkach beleczek 40x40x160 mm),
- wytrzymałość na odrywanie,
- moduł sprężystości,
- skurcz i wydłużenie.

Wyniki badań przedstawia tabela 1.

Analiza wstępnych wyników badań wskazuje, że suche mieszanki do wykonywania betonów natryskowych na bazie cementu ekspansywnego z użyciem sprawdzonej mikrokrzemionki oraz mikrozbrojenia polipropylenowego i stalowego zapewniają uzyskanie bardzo dobrych parametrów wytrzymałościowych. Beton natryskowy otrzymany z tych mieszanek osiągnął bardzo dobre parametry (wytrzymałość na ścislenie, zginanie, wytrzymałość na odrywanie).

Tabela 1

Wyniki badań mieszanek betonu natryskowego  
na bazie cementu ekspansywnego [29]

Właściwości		Jednostka	Rodzaj mieszanki		
			1	2	3
Gęstość w stanie luźno nasypowym [ $\rho_0$ ]		kg/dm <sup>3</sup>	1,622	1,677	1,617
Gęstość w stanie zagęszczonym [ $\rho_z$ ]		kg/dm <sup>3</sup>	1,918	1,934	1,942
Gęstość obj. ciekłej mieszanki [ $\rho_p$ ]		kg/dm <sup>3</sup>	2,199	2,178	2,145
Gęstość obj. stwardniałej mieszanki [ $\rho$ ]		kg/dm <sup>3</sup>	2,308	2,252	2,266
Wytrzymałość na ściskanie [ $R_c$ ]	7 dni	MPa	25,8	26,2	26,7
	28 dni		38,7	41,9	38,6
	56 dni		45,2	44,1	43,2
Wytrzymałość na zginanie [ $R_f$ ]	7 dni	MPa	7,2	6,8	6,6
	28 dni		9,3	9,2	8,9
	56 dni		11,6	10,5	11,5
Wytrzymałość na odrywanie [ $f_b$ ]		MPa	2,06	1,86	0,9
Moduł sprężystości [E]		MPa	32 670	25 030	19 520
Wydłużenie lub skurcz	po 1 dniu	mm/m	0,73/2,54*	1,42/3,60	1,50/3,89
	po 3 dniach		0,79/3,04	1,61/4,69	1,58/4,72
	po 7 dniach		0,69/3,17	1,42/4,89	1,58/4,81
	po 28 dniach		0,54/3,25	1,08/4,71	1,27/4,69

\* pierwsza liczba – spęczniecie w warunkach suchych, druga liczba – spęczniecie w warunkach mokrych

Na specjalnie przygotowanych próbkach wykonano również badanie wytrzymałości na ścinanie, która wyniosła dla mieszanek:

- nr 1 – 8,63 MPa,
- nr 2 – 8,77 MPa,
- nr 3 – 18,08 MPa.

Dzięki zastosowaniu mikrozbrojenia stalowego uzyskano przeszło dwukrotny wzrost wytrzymałości na ścinanie.



Badanie przedstawionych mieszanek potwierdza możliwość ich stosowania w warunkach wyrobisk górniczych, a obecnie stosowane procesy technologiczne umożliwiają zastosowanie tego nowego typu kompozytu do wykonywania obudowy.

Przeprowadzone badania oraz uzyskane pozytywne wyniki zaowocowały rozpoczęciem produkcji suchych mieszanek tego typu na skalę przemysłową. Mieszanki uzyskały aprobaty Instytutu Budowy Dróg i Mostów, a także certyfikaty GIG, pozwalające na ich stosowanie przy budowie i naprawie obiektów inżynierskich na powierzchni, a także obiektów podziemnych, w tym w podziemiach kopalń węgla kamiennego (PROXAN Sanier MP04, PROXAN Sanier MP08) [32,33].

#### **4. Obliczenia numeryczne modelu obudowy wstępnej z betonu natryskowego na bazie materiałów ekspansywnych**

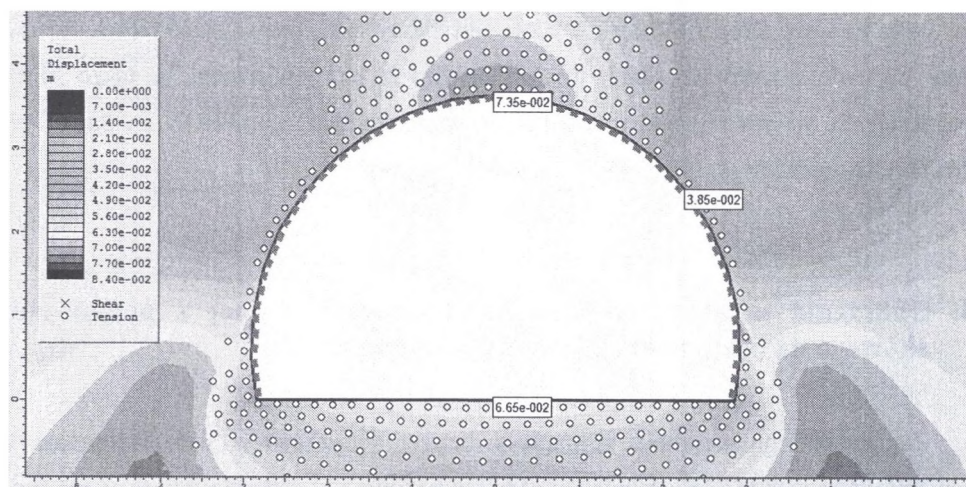
Zagadnienie modelowania współpracy betonu natryskowego wykonanego na bazie cementu ekspansywnego z odsłoniętym obrysem wyłomu i skałami otaczającymi jest złożone. Podstawową trudność przy modelowaniu tego rodzaju współpracy górotworu stanowi przyjęcie modelu zjawisk kontaktowych z naniesioną warstwą natryskową obudowy, a ociosem skalnym, jak również zamodelowanie narastania wytrzymałości betonu natryskowego i jego współpracy z odprężającymi się skałami otaczającymi wyrobisko.

Z powyższych względów obliczenia numeryczne efektywności stosowania betonu natryskowego przeprowadzono przy przyjęciu szeregu założeń upraszczających model współpracy obudowy z górotworem, a mianowicie:

- przyjęto do obliczeń nieliniowy sprężysto-plastyczny model górotworu spełniający zmodyfikowany uogólniony warunek Hoeka-Browna,
- warstwa betonu natryskowego spełniająca rolę obudowy została wykonana bezpośrednio w przodku drążonego wyrobiska korytarzowego,
- warstwa betonu natryskowego posiada charakterystykę sprężysto-plastyczną, z częściową rezydualną wytrzymałością pozniszczeniową,
- wpływ przodka zamodelowano w postaci funkcji odprężania masywu skalnego otaczającego wyrobisko.

Jako miarę stateczności i efektywności zastosowania obudowy wstępnej z betonu natryskowego z materiałów ekspansywnych przyjęto wielkość przemieszczeń górotworu na obrysie wyrobiska oraz rozkład i zasięg strefy zniszczenia masywu skalnego w otoczeniu

modelowanego wyrobiska korytarzowego. Na rysunku 2 przedstawiono rozkład przemieszczeń i zasięg strefy zniszczenia masywu skalnego w otoczeniu wyrobiska korytarzowego z wstępną obudową wykonaną z betonu natryskowego na bazie materiałów ekspansywnych.



Rys. 2. Rozkład przemieszczeń i stref zniszczenia – stan po wykonaniu betonu natryskowego  
 Fig. 2. Distribution of dislocations and damage area around a working – after shotcrete spraying

Wykonane obliczenia numeryczne z uwagi na wielkość przemieszczeń górotworu i rozkład stref jego zniszczenia w otoczeniu wyrobiska korytarzowego pozwalają sformułować następujące podstawowe stwierdzenia:

- zastosowanie betonu natryskowego bezpośrednio w przodku powoduje, że już we wczesnej fazie rozwarstwiania się warstw skalnych otaczających wyrobisko warstwa betonu współpracuje z deformującym się masywem skalnym, czego efektem jest ograniczenie przemieszczeń w stropie wyrobiska do około 7,4 cm (w przypadku obudowy stalowej łukowej przemieszczenia w stropie wynoszą około 11,5 cm),
- efektem jest również zmniejszenie przemieszczeń w ociosie z wartości 8,5 cm w przypadku obudowy ŁP do około 3,9 cm w przypadku obudowy wstępnej z betonu natryskowego,
- strefa zniszczenia skał w stropie jest w przypadku wyrobiska korytarzowego z betonem natryskowym bardziej równomiernie rozłożona niż w przypadku wyrobiska z obudową stalową ŁP. Stan taki powoduje, że po zabudowie obudowy ostatecznej stalowej podatnej ŁP jej współpraca z górotworem będzie się charakteryzowała lepszymi parametrami w wyniku bardziej równomiernego obciążenia stropnicy obudowy ŁP.

## 5. Podsumowanie

Wstępna analiza wyników wskazuje, że suche mieszanki do wykonywania betonów natryskowych na bazie cementu ekspansywnego z użyciem sprawdzonej i przebadanej już wcześniej mikrokrzemionki oraz mikrobrojenia polipropylenowego i stalowego dają bardzo dobre wyniki. Beton natryskowy otrzymany z tych mieszanek osiągnął bardzo dobre parametry (wytrzymałość: na ściskanie, zginanie, ścinanie, na odrywanie).

Badanie tych mieszanek potwierdziło możliwość ich stosowania w warunkach podziemi kopalń, a obecnie stosowane procesy technologiczne zdają egzamin przy zastosowaniu nowego typu kompozytu.

Wykonane obliczenia numeryczne współpracy wstępnej obudowy z betonu natryskowego wskazują, że strefa zniszczenia skał w stropie jest w tym przypadku bardziej równomiernie rozłożona, a ponadto przemieszczenia skał stropowych są mniejsze niż w przypadku wyrobiska z obudową stalową ŁP. Stan taki powoduje, że po zabudowie obudowy ostatecznej stalowej podatnej ŁP jej współpraca z górotworem będzie się charakteryzowała lepszymi parametrami w wyniku bardziej równomiernego obciążenia stropnicy obudowy ŁP.

Uzyskanie efektywnego rozwiązania obudowy z betonu natryskowego na bazie cementów ekspansywnych wymaga prowadzenia dalszych badań nowego kompozytu w podziemiach kopalń w różnych warunkach górniczo-geologicznych i dalszej współpracy kopalń, jednostek naukowych oraz producentów suchych mieszanek.

## LITERATURA

1. Brandt A. M.: „Podstawy stosowania fibrobetonów z włóknami stalowymi”, PAN, Warszawa 1996.
2. Chudek M.: „Obudowa wyrobisk górniczych”, Wyd. Śląsk, Katowice 1986.
3. Feistkorn E.: „Stan techniki natryskowej”, Glückauf 121 nr 2, 1985.
4. Glinicki M. A.: „Elementy projektowania zbrojenia rozproszonego w betonach”. XVII Ogólnopolska Konferencja Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń 2002.
5. Golec D.: „Nowa austriacka metoda drażenia tuneli w krajowym budownictwie podziemnym”, Konferencja Naukowo-Techniczna „Budownictwo podziemne”. AGH, Kraków 1996.
6. Höfler J., Schlumpf J.: „SPRITZBETON IM TUNNELBAU“, SIKA-PUTZMEISTER 2004.
7. Jamroży Z.: „Drutobeton”, skrypt Pol. Krakowska, Kraków 1985.
8. Jamroży Z.: „Beton ze zbrojeniem rozproszonym (co projektant konstrukcji wiedzieć powinien)”. XVII Ogólnopolska Konferencja: Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń 2002.

9. Jamroży Z.: „Beton z włóknem stalowym zastosowany w technice” Mechanika kompozytów betonopodobnych. Ossolineum, Warszawa 1982.
10. Jamroży Z.: „Beton ze zbrojeniem rozproszonym dla budownictwa podziemnego”, Konferencja Budownictwo Podziemne 2003, kwartalnik AGH „Górnictwo i geoinżynieria” rok 27, zeszyt 3-4, Kraków 2003.
11. Jamroży Z.: „Naprawy i wzmocnienie betonowych konstrukcji budowlanych” XXXVIII Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu nauki PZITB, Łódź-Krynica 1992.
12. Karwacki J. M.: „Współczesne kompozytowe betony natryskowe”, Bekaert, Warszawa 1997.
13. Karwacki J. M.: „Beton zbrojony włóknem stalowym DRAMIX”, BAUTECH Warszawa 1996.
14. Król M., Tur W.: „Beton ekspansywny”, Arkady 1999.
15. Maidl B.: „Stahlfaserbeton”, Ernst&Sohn, Berlin 1991.
16. Mateja J., Kosta E.: „Betony natryskowe w budownictwie podziemnym kopalń”, Materiały Konferencyjne, Budownictwo Górnicze 1973.
17. Mateja J., Durczyński S.: „Beton natryskowy z mikrokrzemionką”, Materiały Budowlane 6/1992.
18. Mateja J.: „Beton natryskowy o wysokich parametrach technicznych jako tworzywo do obudowy wyrobisk górniczych”, Budownictwo Górnicze i Tunelowe 3/1996.
19. Matysik A.: „Beton natryskowy zbrojony włóknem stalowym w budownictwie podziemnym”, Budownictwo Górnicze i Tunelowe 3/1996.
20. MBT „RATGEBER UNTERTAGEBAU”, Schweiz 2002.
21. Melbye T.: „Spritzbeton für die Felsicherung“, MBT Schweiz 2002.
22. Praca zbiorowa pod redakcją Vandewalle M.: „Tunnelling is an Art”, NV Bekaert SA, 2005 .
23. Rułka K.: „Przegląd i kierunki rozwoju obudowy wyrobisk korytarzowych i komorowych w kopalniach węgla kamiennego. Część I – Obudowy powłokowe dla wyrobisk korytarzowych i komorowych”, GIG, Katowice 1994.
24. Sikorski Cz.: „Dotychczasowe doświadczenia ze stosowania drutobetonu w budownictwie podziemnym kopalń”, referat Seminarium Pol. Krakowska 1978.
25. Słówek G., Majchrzak W.: „Naprawy konstrukcji żelbetowych metodą torkretowania” XIII Ogólnopolska Konferencja: Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń 1998.
26. Teicher P.: „Spritzbeton”, E.Laich, S.A. Avigno 1991.
27. Vandewalle M.: „DRAMIX – Tunneling the world“, N.V. Bekaert S.A. 1998.
28. Wittke W.: „STATIK UND KONSTRUKTION DER SPRITZBETONBAUWEISE“, Verlag Glückauf, Essen 2002.
29. Winch M. „Beton natryskowy na bazie cementu ekspansywnego ze zbrojeniem rozproszonym w budownictwie podziemnym. Praca niepublikowana, Rybnik 2006.
30. Winch M., Śliwczyński B., Kleta H. i in.: „Możliwość zastosowania betonu natryskowego na bazie cementu ekspansywnego ze zbrojeniem rozproszonym (mik rozbrojenie polipropylenowe lub stalowe) w wyrobiskach korytarzowych”. Seminarium SITG, KWK Borynia, 18.04.2007.
31. Zbiór referatów: „Aktualne problemy drutobetonu w Polsce“ seminarium, Pol. Krakowska, Kraków 1978.
32. Aprobaty IBDiM (PROXAN Sanier MP 04, MP 08).
33. Certyfikaty GIG (PROXAN Sanier MP 04, MP 08).