



Witold PYTEL<sup>1</sup>, Piotr MERTUSZKA<sup>1</sup>, Krzysztof SZEPTUN<sup>2</sup>

## Podatna kotwa spiralna dla wyrobisk górniczych w warunkach głębokiej kopalni

Streszczenie: W sytuacji gdy eksploatacja złóż rud miedzi w Polsce prowadzona jest w coraz trudniejszych warunkach geologiczno-górnictwowych, jednym z priorytetowych zadań do rozwiązania jest zapewnienie efektywnej i bezpiecznej eksploatacji, głównie w zakresie systemów obudów wyrobisk, adekwatnych dla nowych warunków geologiczno-górnictwowych. Warunki te, jak można się spodziewać, będą się charakteryzować większymi wartościami składowych tensora naprężeń pierwotnych, a także mniejszą odkształcalnością i większą wytrzymałością skał otaczających złoża rud miedzi. Oznacza to, że w niedalekiej przyszłości problem wyrzutów skał stanie się jednym z zagadnień, które zadecydują o ekonomice i bezpieczeństwie eksploatacji w nowych obszarach górniczych. W tym aspekcie znaczenia nabiera opracowanie takich systemów obudowy, które byłyby zdolne do kontrolowania dynamicznych przejawów ciśnienia górotworu poprzez absorpcję energii kinetycznej przemieszczających się odspojonych bloków skalnych. Podstawowym elementem tego rodzaju systemów są różnego typu kotwy podatne, rozpraszające energię kinetyczną gwałtownie odspojonych fragmentów otoczenia skalnego, pozwalające znacząco spowolnić lub nawet całkowicie wyhamować ich przemieszczanie się w głąb wyrobiska. W ramach niniejszego artykułu przedstawiono koncepcję ekonomicznie uzasadnionej i efektywnej w zastosowaniach dołowych nowej konstrukcji podatnej kotwy spoiwowej, której gładka, o przekroju prostokątnym żerdź, została uformowana w postaci spirali o zmiennej charakterystyce geometrycznej. Wykonane prototypy kotew skręconych zostały przetestowane w warunkach kopalnianych w oddziale G-11 zlokalizowanym w zachodniej części kopalni Rudna. Próby wrywania kotew z otworu wiertniczego wykazały, że ich skuteczność zależy przede wszystkim od ich kształtu oraz rodzaju substancji izolująco-poślizgowej, którą została pokryta.

Słowa kluczowe: stateczność wyrobisk, obudowa kotwowa, badania nośności kotew

<sup>1</sup> KGHM CUPRUM Sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław; e-mail: pmertuszka@cuprum.wroc.pl

<sup>2</sup> KGHM Polska Miedź SA Oddział Zakłady Górnicze Rudna, Polkowice.

## Ductile twisted rockbolt for underground excavation in deep mine conditions

Abstract: Having increasingly tightened geological and mining conditions in which the extraction of copper ore deposits in Poland is conducted, ensuring effective and safe mining is presently becoming a key task and a significant challenge for mine operators, mainly in the field of ground support systems being the equivalent for the new geological/mining conditions. As one may expect, these conditions shall be characterized by higher values of the primary stress tensor elements as well as the lower deformability and higher strength of the rock mass surrounding the copper ore body. This means that in the near future, the rock bursts problem will become one of the most important issues deciding on the economy and safety within the newly developed mining areas. Therefore developing a novel effective ductile ground support systems which could be able to control the rock mass movement in squeezing and burst-prone rock conditions is recommended. This type of requirement may fulfill only ductile or, in other words, the kinetic energy-absorbing systems, which permit slowing down a movement of violently ejected rock blocks. This paper's objective is to present the idea of the development of a new type of an effective and low cost ductile resin anchored rockbolt system with smooth and of the square cross-section steel rod is formed in coil shape of different pitch. The developed bolt prototypes have been tested underground in the G-11 section of the Rudna mine. Results of the pull-out tests, involving different bolts' shapes and different sliding materials set on the rockbolts' rods, have proved those bolts' efficiency as an element of the ductile support system.

Keywords: stability of workings, rockbolt support, rockbolt pull-out tests

## Wprowadzenie

Podstawowymi funkcjami pełnionymi przez obudowę wyrobisk podziemnych jest wzmocnienie górotworu otaczającego, przypięcie potencjalnie niestatecznych partii skał do utworów bardziej statecznych oraz zapobieganie zawałom i obsypywaniu się skał (McCreath i Kaiser 1992). Pożądaną cechą dobrze zaprojektowanych/dobrych systemów obudowy podziemnych wyrobisk górniczych jest ich ściśle dostosowanie do istniejących warunków geologiczno-górnictwowych, a w tym do rodzaju utworów skalnych otaczających wyrobiska podziemne o określonej geometrii. Bardzo istotnym parametrem określającym warunki geomechaniczne, w jakich pracować ma dana obudowa, jest także głębokość wyrobiska, z którą związany jest poziom naprężeń w górotworze odpowiadający też m.in. za skłonność ośrodka skalnego do dynamicznego reagowania na przeciążenia. Innymi słowy, im większa głębokość wyrobisk, tym gwałtowniej i w większej skali skały je otaczające będą się przemieszczać ku przestrzeni wybranej w następstwie takich zjawisk jak wyrzuty skał w ośrodku kruchym o dużej wytrzymałości i niskiej odkształcalności lub wyciskanie (ang. *squeezing*) ośrodka skalnego charakteryzującego się niską wytrzymałością i dużą odkształcalnością (płynięcie plastyczne).

Istnieje zatem duże prawdopodobieństwo, że systemy eksploatacji wykorzystujące proste i niedrogie systemy obudów na umiarkowanej głębokości, w miarę jej zwiększania będą musiały wykorzystywać takie ich rodzaje, które byłyby w stanie albo przenosić wprost te zwiększone obciążenia przez swoją zwiększoną sztywność (mało odkształcalne obudowy kombinowane w tym kotwy, torkret, siatki itp.) albo przenosić tylko część tych zwiększonych obciążeń, dopuszczając znaczne, lecz wciąż kontrolowane deformacje skał otaczających – obudowy podatne w postaci kotew o specjalnej konstrukcji w kombinacji z siatkami stalowymi oraz opinkami linowymi.

Mając na uwadze koszt wykonania obudowy, bezkonkurencyjne wydają się tu systemy podatne, które redukują zagrożenie wystąpieniem zjawisk dynamicznych, zwłaszcza wyrzutów skał, lub już po ich zaistnieniu pochłaniają energię kinetyczną ruchu bloków skalnych prowadząc do ostatecznego uspokojenia wzbudzonych procesów dynamicznych. Systemy podatne kotwienia posiadają unikalną właściwość, która w przypadku ich przeciążenia pozwala na przemieszczanie się górotworu i obudowy aż do momentu, gdy energia ruchu układu zostanie zabsorbowana przez pracę sił tarcia i/lub energię towarzyszących translacji układu nieodwracalnych deformacji plastycznych. Właściwość ta ma szczególnie istotne znaczenie w przypadku eksploatacji górniczej na dużych głębokościach, gdy istnieje poważne zagrożenie wyrzutami skał.

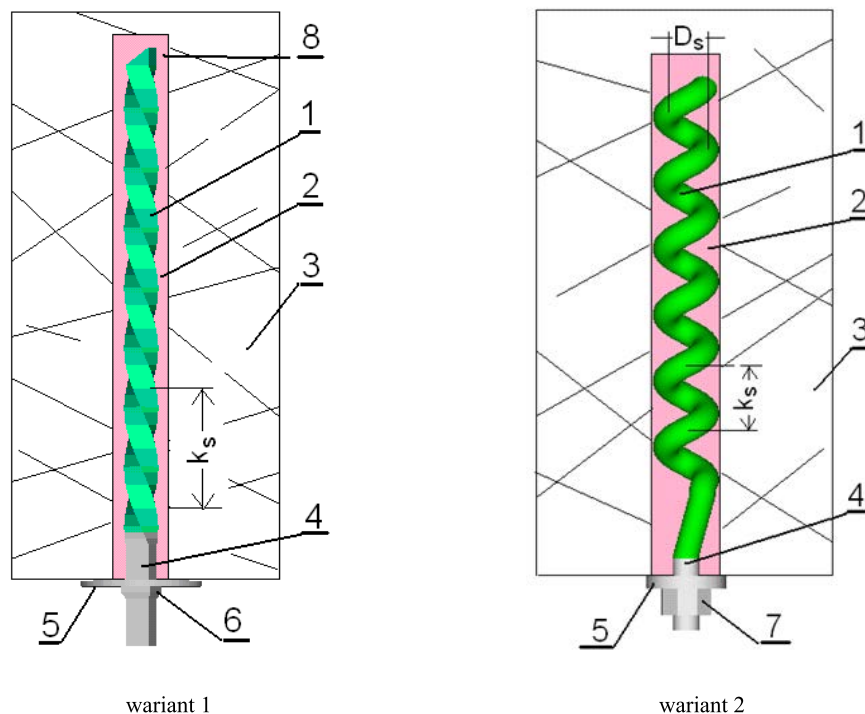
### **1. Konstrukcja kotwy spiralnej oraz dobór powłok izolujących żerdź kotwy od spoiwa**

W latach 2013–2015 w Zakładzie Mechaniki Górotworu KGHM CUPRUM opracowano nowy system kotwowej obudowy ciernej w postaci kotwy spoiwowej uformowanej w postaci spirali o zmiennej charakterystyce geometrycznej. Tego rodzaju kotwa górnicza (zgłoszenie patentowe nr 406921) mobilizuje siły tarcia w układzie trójwymiarowym dzięki odpowiedniemu skręceniu jej żerdzi w kształt spirali o dowolnie zmieniającej się średnicy i dowolnym skoku zwoju. Poprzez nałożenie na część skręconą żerdzi kotwy powłoki izolującej ją od otaczającego spoiwa, umożliwia się jej przesuw i absorpcję energii odkształcenia podczas jej wyciągania z otworu wiertniczego (np. wskutek wyrzutu skał) wg trajektorii zdefiniowanej przez spoiwo i żerdź kotwy już na wstępnym etapie jej zabudowy.

Kotwa (rys. 1) składa się z cięgna i spoiwa umieszczonych w otworze wiertniczym wykonanym w górotworze. Cięgno kotwy wykonane jako żerdź stalowa o przekroju poprzecznym w kształcie prostokąta (wariant 1), posiada na końcu zewnętrznym kute lub plastycznie wyciskane zgrubienie oraz nałożoną nań podkładkę lub też ma okrągły przekrój poprzeczny (wariant 2) z naciętym na końcu gwintem pod nakrętkę mocującą podkładkę. Żerdź kotwy na całej długości, poza krótką dolną częścią, jest pokryta substancją izolująco-poślizgową wykonaną z tworzyw sztucznych, np. teflonu, różnych polimerów i in. O nośności kotwy decyduje rodzaj materiału i przekrój poprzeczny żerdzi, jej długość, rodzaj spoiwa, a także geometria spirali, w jaką żerdź kotwy została uformowana.

Po wstępnych konsultacjach z producentami kotew górniczych do produkcji prototypów wybrano kotwy zaprojektowane w wariantcie 1 (wykonanie wg schematów przedstawionych na rys. 2). Prace zlecono firmom KGHM ZANAM SA oraz PPUH ELJOT ZPCh z Miękinii. Każdy z producentów wykonał po 30 szt. kotew.

Prototypy kotew spiralnych zostały wykonane ze stali klasy A-III (34GS) o wytrzymałości na rozciąganie = 504 MPa i granicy plastyczności 432 MPa. Zamówienie obejmowało pięć rodzajów kotew różniących się wzajemnie liczbą zwojów na metr bieżący żerdzi, tj. 0 (żerdź prosta), 0,5, 1, 2 i 4. Nośność kotew oceniono na = 129 kN. Początkowo zaprojektowana długość kotwy = 2,0 m okazała się zbyt duża, gdyż z pierwszych pięciu kotew testowanych w warunkach kopalnianych ani jedna z nich nie wykazała żadnego przesunięcia



Rys. 1. Schematy opracowanych wariantów konstrukcji kotwy spiralnej  
 1 – skręcona żerdź kotwy, 2 – spoiwo, 3 – górotwór, 4 – część żerdzi bez pokrycia warstwą poślizgową,  
 5 – podkładka, 6 – głowica kuta na gorąco, 7 – nakrętka, 8 – otwór wiertniczy

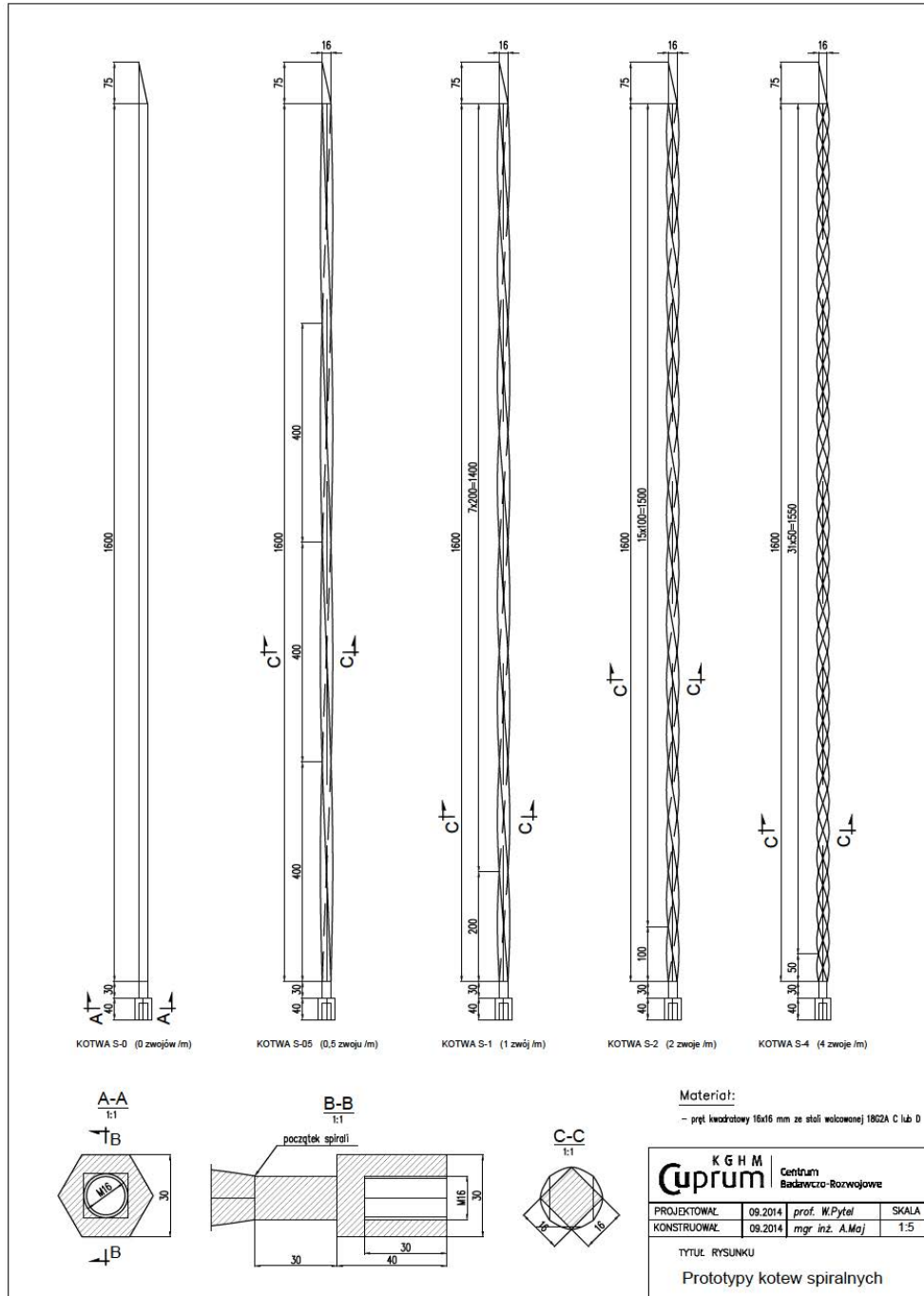
Fig. 1. Scheme of developed variants of twisted rockbolt

podczas prób wrywania, co wobec nośności użytego podnośnika hydraulicznego równej 150 kN nie pozwoliło uzyskać jakichkolwiek wartościowych wyników badań. W związku z tym zdecydowano się skrócić prototypy kotew o 40 cm do długości = 1,6 m.

Zadaniem opracowanej kotwy górniczej jest zapewniać zarówno stateczność górotworu lub w razie konieczności kontrolowany przebieg jego deformacji, gwarantując przez to mniejsze zagrożenie dla ludzi i sprzętu w przypadku prowadzenia eksploatacji górniczej na dużych głębokościach w skałach zwięzłych o wysokiej wytrzymałości i niskiej odkształcalności, a także w skałach podatnych na wyciskanie.

Zasada działania spiralnej kotwy podatnej polega na jednoczesnym wykorzystaniu zjawiska tarcia na poboczniczy kotwy pokrytej cienką warstwą specjalnej substancji poślizgowej oraz plastycznego „rozkręcania” jej żerdzi podczas jej wyciągania z otworu, zatem łączy ona w sobie zalety kotew ciernych i kotew typu Durabar.

Istotną zaletą kotwy spiralnej jest to, że wymaga wykonania otworu wiertniczego o małej średnicy (do 24 mm), co pozwala znacznie ograniczyć koszty jej zabudowy, które są



Rys. 2. Rysunek wykonawczy prototypów kotwy spiralnej

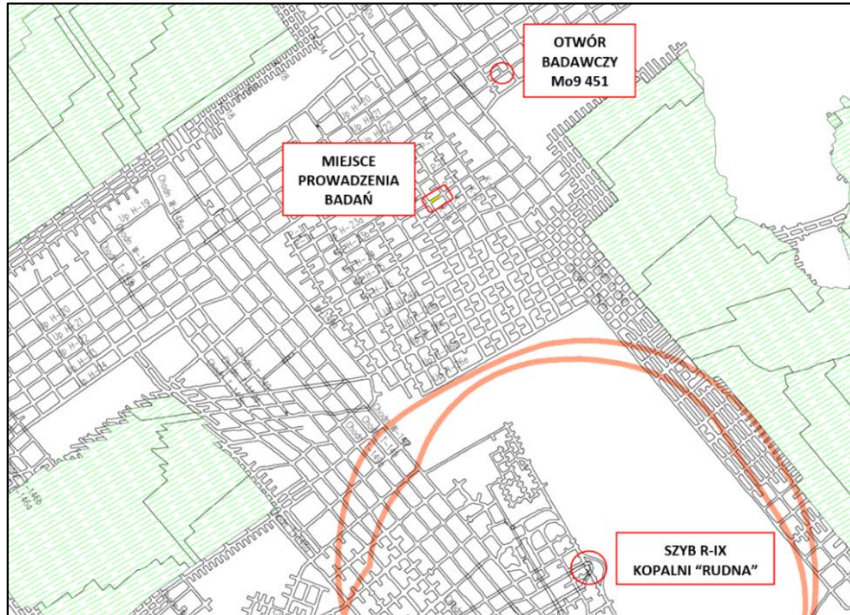
Fig. 2. Drawings of the twisted rockbolts prototypes

w związku z tym porównywalne z kosztami zabudowy obecnie stosowanych w kopalniach LGOM systemów obudowy podstawowej. Kształt kotwy spiralnej jest bardzo efektywny także z punktu widzenia właściwego wymieszania składników spoiwa w otworze wiertniczym. Jednym z kluczowych elementów kotwy spiralnej jest rodzaj materiału, którymi pokryte zostały żerdzie kotwy, umożliwiającego jej poślizg względem otaczającego spoiwa. Opisane prototypy kotew pokryte zostały następującymi rodzajami materiałów:

- 1) powłoki oparte na bazie polimerów wytwarzane przez firmę NELVI sp.j. z Olkusza:
  - **N456** – powłoka oparta na bazie polimerów PTFE z dodatkiem odpowiednich żywic podnoszących odporność na ścieranie i nadających powłoce właściwości ślizgowe dla efektu suchego smarowania. Powłoka posiada bardzo dobrą odporność na korozję. Maksymalna temperatura pracy dla tej powłoki to 260°C. Grubość filmu dla tej powłoki wynosi 25  $\mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ ;
  - **NI4611** – powłoka oparta na mieszance polimerów PTFE, PFA, FEP, dodatkowo wzmocniana ceramiką. Posiada dobre własności *non-stick* i bardzo wysoką odporność na ścieranie. Maksymalna temperatura pracy dla tej powłoki to 230°C. Grubość filmu dla tej powłoki wynosi 40  $\mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ ;
  - **NWP058** – powłoka fluoropolimerowa oparta na polimerach FEP. Posiada dużą gładkość powierzchni i bardzo wysoki parametr *non-stick*. Charakteryzuje się możliwością zbudowania filmu do 100  $\mu\text{m}$ . Odznacza się również wysoką chemoodpornością. Maksymalna temperatura pracy dla tej powłoki to 205°C;
  - **NW118B** – powłoka na bazie polimerów FEP z dużą odpornością na ścieranie i dobrych właściwościach *non-stick*. Grubość filmu dla tej powłoki wynosi 25  $\mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ . Maksymalna temperatura pracy powłoki to 205°C;
  - **NW101** – powłoka na bazie PTFE wzmocniana żywicami. Zadaniem tej powłoki jest redukcja tarcia oraz zabezpieczenie elementów przed zacieraniem. Powłoka posiada dużą odporność na ścieranie i umiarkowane własności *non-stick* wpływające na łatwość czyszczenia. Maksymalna temperatura pracy powłoki to 260°C w pracy ciągłej, powłoka wytrzymuje również skoki temperatury do 285°C. Grubość filmu dla tej powłoki to 20  $\mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ ;
- 2) rury termokurczliwe wykonane z poliolefin (m.in. z polietylenu) sieciowanych radiacyjnie;
- 3) farba proszkowa na bazie poliamidów.

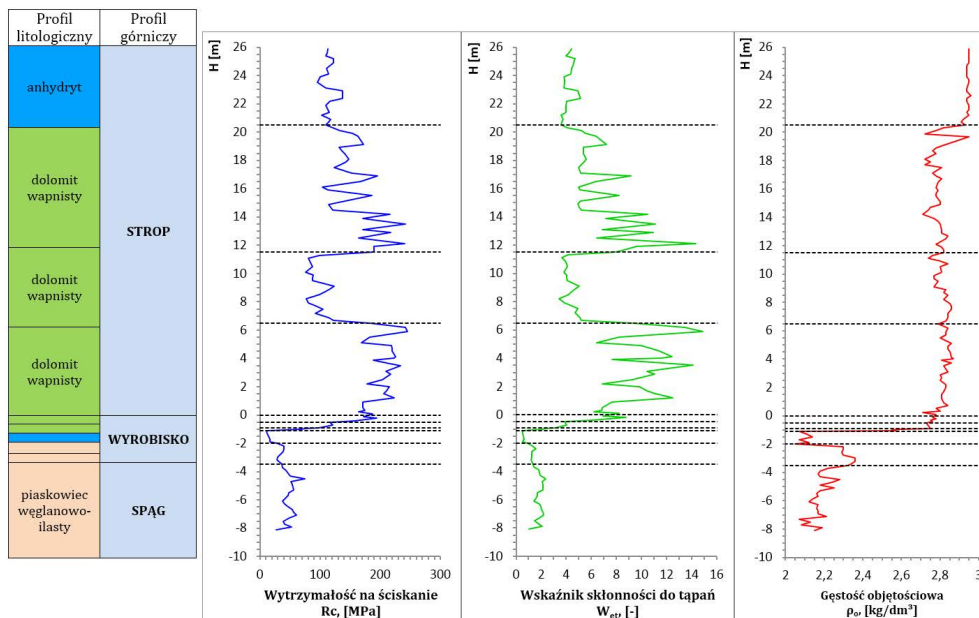
## 2. Badania dołowe nośności i podatności prototypów kotew

Prototypy kotew spiralnych zostały przetestowane w warunkach kopalnianych w rejonie komory maszyn ciężkich C-11 zlokalizowanej w zachodniej części kopalni Rudna (rys. 3), na głębokości 1130 m p.p.t. W otoczeniu wybranego stanowiska pomiarowego stwierdzono typowe dla tej kopalni warunki geologiczne ze stropem bezpośrednim zbudowanym ze skał wykazujących wytrzymałość na ściskanie około 180 MPa (rys. 4), takich jak dolomity i wapienie. Miąższość tych utworów zmienia się nieznacznie w omawianym rejonie. Parametry skał stropu bezpośredniego różnią się jednak znacząco od parametrów skał niżej



Rys. 3. Lokalizacja stanowiska pomiarowego w obrębie oddziału G-11 kopalni Rudna

Fig. 3. Location of research site within the G-11 mining panel of Rudna Mine

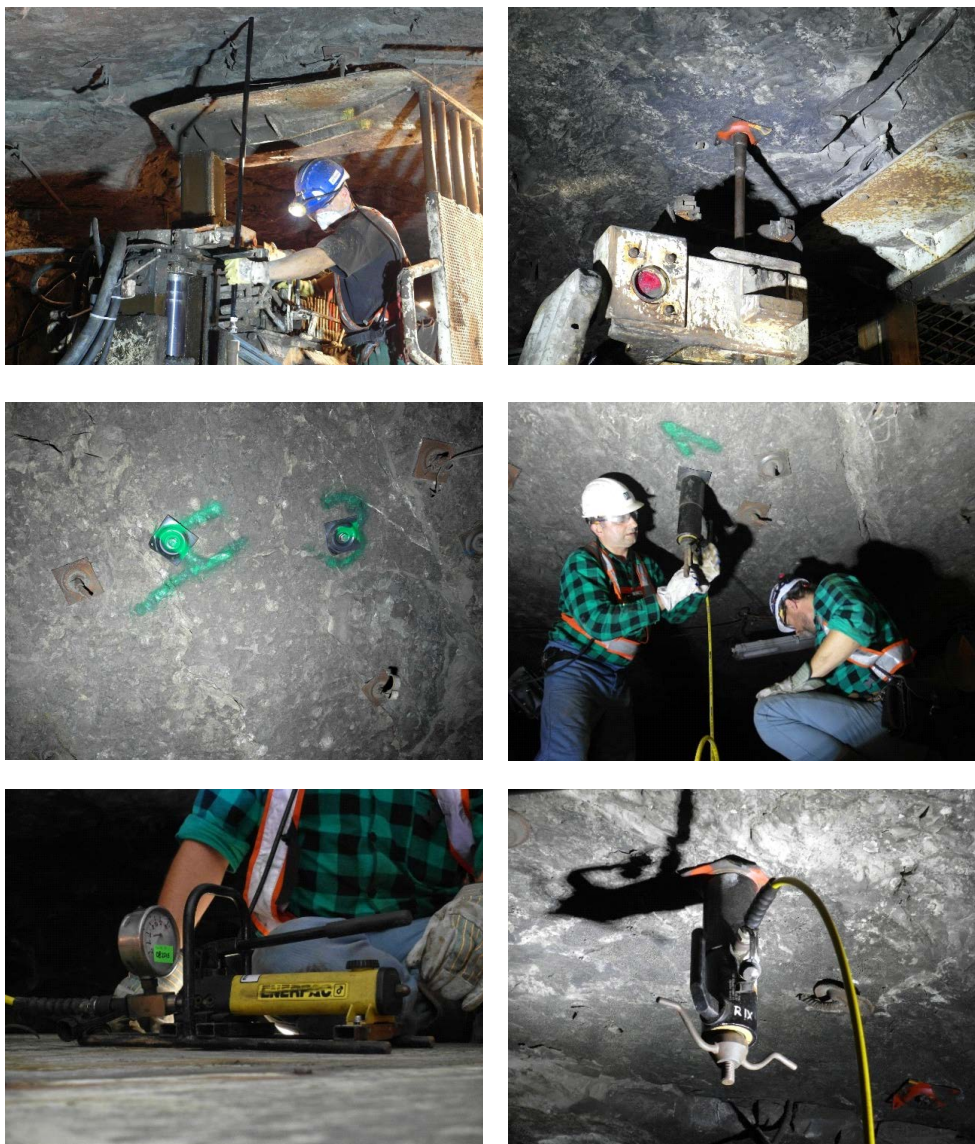


Rys. 4. Właściwości skał stropowych określone na podstawie badań rdzeni wiertniczych z otworu rozpoznania geologicznego Mo9 451

Fig. 4. Roof strata properties assessed based on rock cores obtained from borehole Mo9 451

zlokalizowanych, szczególnie od słabych skał piaskowcowych ulokowanych w profilu spągu bezpośredniego.

Podstawową metodą badań wykorzystywaną do oceny nośności kotew w warunkach dołowych jest próba wrywania z otworu wiertniczego (rys. 5). Badania tego rodzaju stosuje



Rys. 5. Zabudowa i próby wrywania prototypów kotew

Fig. 5. Installment and pull-out tests of the rockbolt prototypes



się standardowo dla celów weryfikacji jakości wykonania obudowy, a także dla rozpoznania zachowania się nowych konstrukcji pracujących pod obciążeniem. Liczba prac badawczych i publikacji naukowych podejmujących zagadnienie statycznych prób wyrywania kotew prowadzonych w różnorodnych warunkach jest stosunkowo duża, np. Dodd i Fasught (1973), Ludvig (1983) czy Dahle i Larsen (2006).

Procedura tego rodzaju badań jest bardzo podobna dla wszystkich wykorzystywanych ich odmian: po zainstalowaniu kotwa jest obciążana statyczną siłą rozciągającą generowaną za pomocą siłownika hydraulicznego, zwiększającą się stopniowo aż do momentu utraty przyczepności kotwy do spoiwa, sygnalizowanej gwałtownym spadkiem wartości siły wyrywającej ją z otworu. Siła rozciągająca pomierzona w momencie wyrwania jest traktowana jako parametr nośności kotwy. W większości badań laboratoryjnych i polowych stosuje się obciążenie statyczne lub przy obciążeniu ukierunkowanym osiowo w stosunku do badanej kotwy. W pewnych, choć rzadko spotykanych, przypadkach do testów ścinania stosuje się także boczne obciążenie statyczne (Stjern 1995). Najprostsza metoda badań prowadzona w małej skali polega na zamontowaniu kotwy w dwóch stalowych cylindrach, które powodują jej osiowe rozciąganie aż do momentu przekroczenia nośności i zerwania kotwy. Z kolei do badań w dużej skali stosuje się wielkogabarytowe bloki betonowe, które odzwierciedlają zachowanie się górotworu (Stillborg 1994).

Opisane w niniejszym artykule statyczne próby wyrywania kotew były realizowane przy wykorzystaniu ręcznego siłownika hydraulicznego Enerpac o nominalnym udźwigu 150 kN. Wyniki dołowych badań nośności prototypów kotew spiralnych przedstawiono w tabeli 1.

Ponieważ w opisanych badaniach dołowych wyrywania kotew nie było możliwe wykorzystanie zawansowanych przyrządów pozwalających zapisywać kompletną krzywą deformacji/przemieszczenia kotew, autorzy polegali jedynie na odczycie ciśnienia na manometrze oraz na wizualnych obserwacjach zachowania się wyciąganych kotew. Dlatego też wyniki testów obejmują dwie kategorie obciążenia odniesione do specyficznych etapów wyrywania kotew:

- **Nośność kotwy** – obciążenie w momencie utraty przyczepności – największe obciążenie przyłożone do kotwy w początkowym etapie doświadczenia – przemieszczenie kotwy nie większe niż 2 mm.
- **Opór sił tarcia** – prawie niezmienna po utracie przyczepności siła tarcia, przeciwdziałająca wysuwaniu się kotwy z otworu wiertniczego (przesunięcie względem otaczającego spoiwa do ok. 20 mm).

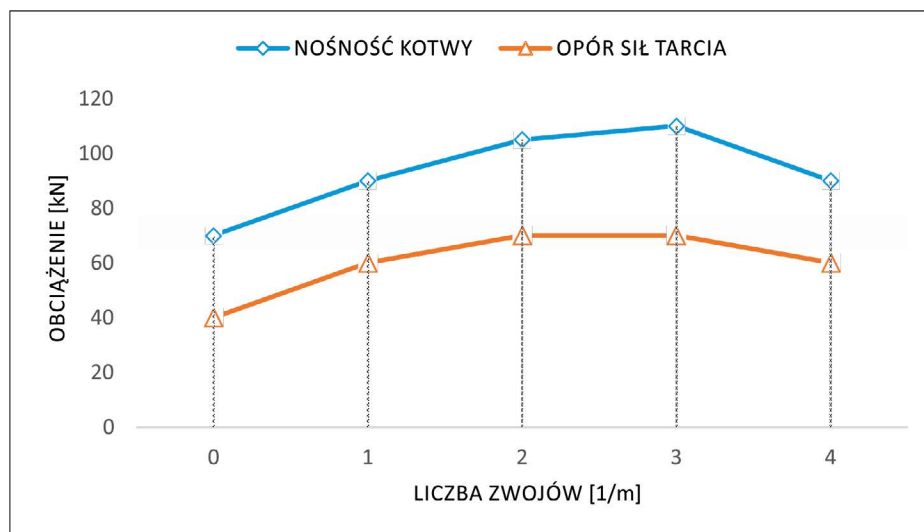
Wyniki przeprowadzonych serii badań nośności kotew wskazują na jej zróżnicowaną zmienność w zależności od zastosowanego materiału izolującego żerdź kotwy od otaczającego spoiwa (polimery, teflon itp.). Spośród siedmiu serii przeprowadzonych badań powłoka zastosowana w serii nr 6 wydaje się być najbardziej racjonalnym wariantem w odniesieniu do spodziewanych zmian wartości nośności i oporu tarcia w zależności od liczby zwojów żerdzi kotwy. Wykres zmian nośności kotwy i oporów sił tarcia w zależności od liczby zwojów dla powłoki N456 (seria 6) przedstawia rysunek 6.

TABELA 1. Wyniki badań nośności kotew

TABLE 1. Results of pull-out tests

Seria	Zastosowana powłoka	Nr kotwy	Nośność [kN] (utrata przyczepności)	Opór tarcia [kN]
1	N456 + rura termokurczliwa	1.1	20	20
		1.2	30	20
		1.3	30	25
		1.4	30	26
		1.5	20	20
2	NWP058	2.1	80	45
		2.2	80	45
		2.3	60	375
		2.4	70	45
		2.5	60	40
3	Farba proszkowa	3.1	problemy techniczne	–
		3.2	40	20
		3.3	problemy techniczne	–
		3.4	40	20
		3.5	70 (urwanie łba)	–
4	NW118B	4.1	9	40
		4.2	110 (urwanie łba)	–
		4.3	100	100
		4.4	90	60
		4.5	100	100
5	NW101 + rura termokurczliwa	5.1	30	20
		5.2	30	20
		5.3	37	20
		5.4	30	25
		5.5	35	20
6	N456	6.1	70	40
		6.2	90	60
		6.3	105	70
		6.4	110	70
		6.5	90	60
7	NI4611	7.1	80	40
		7.2	120	60
		7.3	100	50
		7.4	110	60
		7.5	125	60

Oznaczenie kotew: 1 – 0 zwojów, 2 – 0,5 zwoju/m, 3 – 1 zwoj/m, 4 – 2 zwoje/m, 5 – 4 zwoje/m.



Rys. 6. Wyniki badań dołowych zmian nośności i oporu sił tarcia kotwy z powłoką N456

Fig. 6. Tests results performed for the N456 coating test

### Podsumowanie

Opracowana w ramach projektu kotwa górnicza, będąca jednocześnie tanią i prostą w produkcji, zapewnia zarówno stateczność górotworu, jak też w razie konieczności kontrolowany przebieg jego deformacji, gwarantując przez to mniejsze zagrożenie dla ludzi i sprzętu w przypadku prowadzenia eksploatacji górniczej na dużych głębokościach w skałach zwięzłych o wysokiej wytrzymałości i niskiej odkształcalności. W sytuacjach, w których spodziewać się można dużych i gwałtownych przemieszczeń bloków skalnych w postaci tąpnięć czy wyrzutów skał uzasadnione jest stosowanie środków pozwalających na rozproszenie energii kinetycznej odspojonych bloków skalnych lub spowolnienie ich przemieszczenia. W zakresie tym oczekuje się, że systemy obudowy oparte na kotwach górniczych według proponowanego rozwiązania będą działały w sposób szczególnie efektywny.

Chociaż otrzymane wyniki mają charakter wstępny, już na bieżącym etapie można z nich wysnuć następujące wnioski poznawcze:

- parametry powłoki poślizgowej mają istotny wpływ na pomierzoną przyczepność i wielkość oporu tarcia mobilizowanego na powierzchni kontaktu poboczniczy kotwy i otaczającego spoiwa;
- liczba zwojów kotwy spiralnej również ma istotny wpływ na jej nośność;
- dużą niestabilność wyników można prawdopodobnie przypisać niewłaściwemu wymieszaniu składników spoiwa.

W ramach kolejnego etapu badań planuje się przeprowadzenie serii długoterminowych obserwacji dołowych kotew spiralnych wykonanych w wariantach S-05, S-1 oraz S-2. Pozo-

stałe warianty prototypów zostały wyeliminowane z uwagi na niewielką nośność oraz zbyt duże skręcenie powodujące wyrywanie kleju z otworu wiertniczego. Ponadto planuje się wykorzystanie nowego urządzenia do wrywania kotew z możliwością elektronicznej rejestracji krzywej deformacji/przemieszczenia łba kotwy w funkcji działającego obciążenia.

Praca została zrealizowana w ramach działalności statutowej KGHM CUPRUM Sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe o numerze I/13/0142.

### *Literatura*

- Dahle, H. i Larsen, T. 2006. *Full-scale pull and shear tests of 5 types of rock bolts*. SINTEF Report, SBF55 F06033.
- Dodd, D.J. i Fasught, K.L. 1973. Field testing of rock bolt anchorage systems. *Proceedings of the Symposium on Rock Mechanics and Tunnelling Problems*, 17–18 December 1973, India, Sarita Prakashan, s. 48–54.
- Ludvig, B. 1983. Shear tests on rock bolts', *Rock Bolting – Theory and Application in Mining and Underground Construction. Proceedings of the International Symposium on Rock Bolting*, Abisko, 28 August–2 September 1983, Balkema Publishers, Taylor & Francis the Netherlands, Rotterdam, s. 113–123.
- McCreath, D.R. i Kaiser, P.L. 1992. Evaluation of current support practices in burst-prone ground and preliminary guidelines for Canadian hard rock mines. *Rock Support in Mining & Underground Construction*, Balkema, s. 611–619.
- Pytel, W. 2014. *Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej: zgłoszenie patentowe nr 406921 pt. Kotwa górnicza z dnia 15 stycznia 2014 r.* Wrocław: KGHM CUPRUM Sp. z o.o.
- Stillborg, B. 1994. *Professional Users Handbook for Rock Bolting*. Trans Tech Publications.
- Stjern, G. 1995. *Practical Performance of Rock Bolts*'. PhD Thesis, Trondheim University, Norway.