

# Kotew strunowa IR-7 – nowe szanse na poprawę efektywności obudowy podporowo-kotwowej

## Cable bolt type IR-7 - new opportunities to improve the efficiency of the steel set-bolt support



Dr inż. Zbigniew Rak<sup>\*)</sup>



Dr inż. Jerzy Stasica<sup>\*)</sup>

**Treść:** Artykuł prezentuje najnowsze rozwiązanie kotwi strunowej IR-7, którego wdrożenie rozpoczęto w polskim górnictwie węgla kamiennego w 2021 r. W artykule przedstawiono podstawowe informacje w zakresie konstrukcji i instalacji kotew IR-7. Konstrukcja kotwi oparta jest o najlepsze rozwiązania stosowane na świecie jak Sumo Bolt lub Titan Bolt. IR-7 łączy najlepsze właściwości rozwiązań światowych, zachowując przy tym giętkość. Cechą charakterystyczną kotwi IR-7 jest wysoka nośność oraz możliwość nadawania naciągu wstępnego, co pozwala na prawie natychmiastową współpracę z górotworem w miejscu jej zabudowy. Budowa kotwi umożliwia iniekcję spoiwa i w efekcie wklejenie cięgna na całej długości otworu. Rozwiązanie zamka kotwi w postaci zacisku Gifforda daje niespotykane dotąd możliwości niezależnej współpracy kotwi z górotworem oraz obudową podporową

**Abstract:** The article presents the latest solution of the IR-7 cable bolt, the implementation of which began in the Polish hard coal mining industry in 2021. In addition, information on the design and installation of the IR-7 anchors was provided. The design of the anchor is based on the best solutions used in the world, such as Sumo Bolt or Titan Bolt. The IR-7 anchor combines the best properties of global solutions while maintaining flexibility. A characteristic feature of the presented anchor is its high load-bearing capacity and the ability to apply pre-tension, which allows for almost immediate cooperation of the anchor with the rock mass at the place of its installation. The construction of the anchor allows the injection of the binder and, as a result, its embedding along the entire length of the hole. The solution of the anchor lock in the form of a Gifford clamp gives unprecedented possibilities of independent cooperation of the bolt with the rock mass and the support casing. The solution of the anchor lock in the form of a Gifford clamp gives unprecedented possibilities of independent cooperation of the bolt with the rock mass and the steel set support. The use of the IR-7 anchor should bring good results in terms of improving the stability of excavations in the steel set-anchor support. It is also a chance to increase the spacing of the steel set's frames, thus reducing the costs of driving workings and exploitation by means of the longwall mining method.

### Słowa kluczowe:

*kotew strunowa, naciąg wstępny, wzmocnienie obudowy, obudowa podporowa*

### Keywords:

*cable bolts, pre-tensioning reinforcement of support, standing support*

## 1. Wprowadzenie

Od ponad 30 lat obudowa kotwowa wykorzystywana jest w polskim górnictwie węgla kamiennego do wzmocnienia odrzwi podporowej obudowy łukowej podatnej. Początkowo stosowane rozwiązania oparte były o przykotwianie odrzwi kotwami prętowymi, zwykle o długości nieprzekraczającej 3 m. Z czasem sztywne kotwy prętowe zastępowane były dłuższymi i giętkimi cięgnami opartymi o kotwy linowe wykonane z lin transportowych, które stosunkowo szybko

zastąpiono kotwami strunowymi (Rak i Stasica 2006, Turek i in. 2015, Rak i in. 2016). System taki przyjęło się powszechnie nazywać kotwieniem wysokim. Giętkie cięgna pozwalają bowiem na osiągnięcie znacznej wysokości kotwienia. W polskich kopalniach zwykle kotwienie realizowane jest za pomocą kotew strunowych o długości od 6 do 11 m (Rak i in. 2015). Celem przykotwiania odrzwi jest zwiększenie ich nośności, co skutkuje poprawą stateczności obudowy wyrobisk górniczych. Świadczą o tym nie tylko obserwacje i wyniki pomiarów dołowych, ale także modele matematyczne oraz badania stanowiskowe, w trakcie których wykazano, że odpowiednio zastosowane kotwy pozwalają na znaczne

<sup>\*)</sup> AGH, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami

zwiększenie nośności obudowy podporowej (Bobek i in. 2014, Cała i in. 2001, Cholewa i in. 2012, Wardas i in. 2016). W rezultacie, wykorzystanie kotwi strunowych pozwala na wydajne rozrzedzenie obudowy podporowej. W tym miejscu wspomnieć należy, że w LW „Bogdanka” z powodzeniem rozrzedzano obudowę ŁPSC do podziałki 1,2 a nawet 1,5 m w chodnikach zlokalizowanych na głębokości niespełna 1000 m (Rak, Stasica 2019). W polskich kopalniach węgla kamiennego równorzędnym celem, jeśli nie istotniejszym, przykotwiania obudowy podporowej, jest możliwość bezpodporowego utrzymywania skrzyżowania chodników ze ścianą. Obydwa te cele nie stoją w sprzeczności. Zapewnienie odpowiedniej współpracy układu obudowa podporowa – kotew – górotwór, pozwala bowiem na wszechstronne wykorzystanie kotew strunowych, którego efektem jest zarówno zwiększenie nośności odrzwi, jak i możliwość wypinania elementów obudowy podporowej na skrzyżowaniach, a wreszcie także skuteczne wzmocnienie górotworu otaczającego wyrobisko. Takie kompleksowe wykorzystanie wysokiego kotwienia kotwami strunowymi zwiększa skuteczność systemu obudowy wyrobisk, poprawia bezpieczeństwo robót i prowadzi do obniżenia kosztów materiałowych. Jedyńą bowiem alternatywą dla tego systemu wzmacniania obudowy podporowej jest kosztowne zmniejszanie rozstawu odrzwi przy cięższych kształtownikach o profilu V. Z kolei zwiększanie udziału stali w procesie drażenia wyrobisk powoduje nie tylko wzrost kosztów materiałowych, ale także mocno obciąża systemy transportu dołowego, obniża komfort pracy, a co najważniejsze wpływa wyraźnie na obniżenie postępów i tym samym wydajności załóg przodkowych.

Poniżej krótko scharakteryzowano aktualnie stosowane systemy kotwienia wysokiego oraz przedstawiono najnowsze rozwiązanie kotwi strunowej, której konstrukcja umożliwia

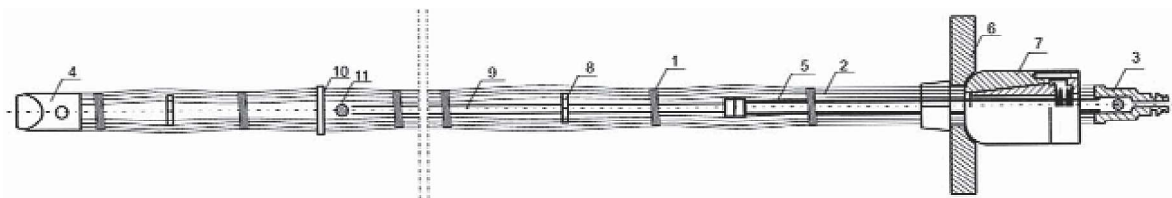
pełne spektrum skutecznej współpracy z obudową podporową i górotworem. Kotew IR-7 jest rozwiązaniem polskim, opracowanym i produkowanym przez firmę Interram, będącym udoskonaloną wersją najlepszych systemów niemieckich, australijskich, czy amerykańskich (np. Titan, Sumo itp.).

## 2. Kotew IR-7 – konstrukcja i współpraca z górotworem

Kotew IR-7 to konstrukcja, która pojawiła się na rynku w 2020 r. w dwóch odmianach – IR-7/F i IR-7/G (rys. 1). Jej pierwowzorem były rozwiązania dwóch bliźniaczych systemów – Sumo i Titan (rys. 2). W tabeli nr 1 zestawiono wybrane parametry kotew IR-7, Sumo i Titan. Cechami charakterystycznymi i niewątpliwie największymi zaletami tych trzech typów kotwi jest możliwość nadawania naciągu wstępnego o znacznej wartości (w górnictwie australijskim nawet do 300 kN) oraz wklejanie kotwi na całej długości techniką iniekcijną. Ciężna tych kotew zbudowane są z drutów o średnicy 7 mm (1), które w przypadku kotew Sumo i Titan są skręcone. Ciężna o średnicy 28-31 mm posiadają równomiernie rozmieszczone klatki (poszerzenia), których średnica wynosi 32-36 mm.

Kształt klatki uzyskiwany jest za pomocą umieszczonej wewnątrz rozety (8) oraz opłotów ciężna (1). Środkiem ciężna kotew Titan i Sumo biegnie stalowa rurka (5) oraz wężyk hydrauliczny (9), które służą do tłoczenia spoiwa (9) podawanego przez głowicę iniekcijną (3). W procesie iniekcji wykorzystywane są zarówno płynne żywice, jak i zaczyny spoiw mineralnych.

Zastosowanie w kotwi IR-7 w miejsce stalowej rurki, przewodu gumowego sprawia, że w przeciwieństwie do kotew Sumo i Titan, może być zwijana do średnicy ~1 m, rysunek 3.



Rys. 1. Kotew IR-7 – schemat budowy (Interram)

Fig. 1. The IR-7 cable bolt – construction scheme (Interram)



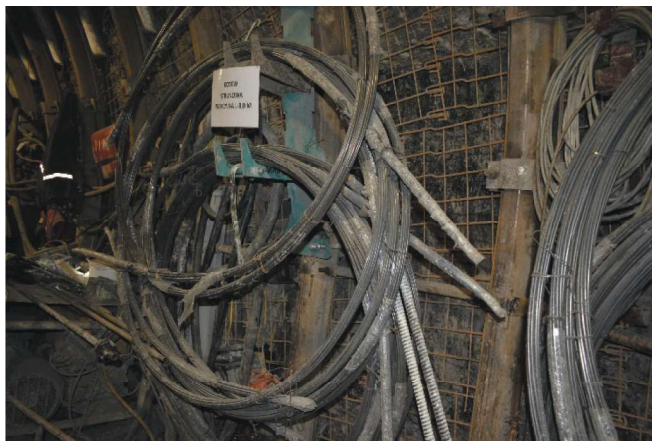
Rys. 2. Kotew Titan – rysunek poglądowy (DSI)

Fig. 2. Titan bolt – general view

Tabela 1. Parametry kotew Titan i Sumo

Table 1. Properties of Titan and Sumo bolts

Parametr	Titan	Sumo	IR-7/F	IR-7/G
Nośność	550 kN	568 kN	>500 kN	>600 kN
Średnica ciężna	28 mm	28 mm	28 mm	31 mm
Średnica klatek	Ø36 mm	Ø35 mm	Ø34 mm	Ø35 mm
Średnica otworu kotwowego	Ø42 mm	Ø42 mm	Ø42 mm	Ø42 mm

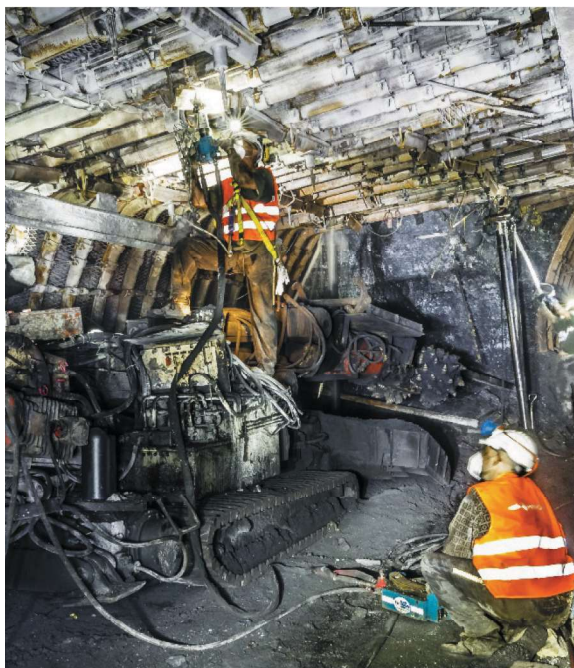


Rys. 3. Kotew strunowa IR-7 przygotowana do transportu (fot. M. Antoniuk)  
 Fig. 3. The IR-7 cable bolt prepared for transport (photo by M. Antoniuk)

Tym samym transport jej, bez względu na długość, nie przysparza żadnych problemów w ciasnych przestrzeniach wyrobisk górniczych. Kotwy Sumo i Titan muszą być transportowane w formie rozwiniętej, czyli tak jak tradycyjne dłuższy (prostki czy szyny). Przy długościach kotwi powyżej 6 m sprawia to ogromne, a nawet dyskwalifikujące ich stosowanie, trudności. Giętkość oraz niewątpliwie znacznie niższa cena (przy praktycznie identycznych właściwościach) powodują, że kotew IR-7 jest rozwiązaniem zdecydowanie bardziej uniwersalnym i konkurencyjnym.

Zamek kotwi stanowi typowy zacisk Gifforda (7 – rys. 1). Kotwy instalowane są dwuetapowo. W pierwszym etapie, po odwierceniu otworu o średnicy ~42 mm, kotwy instaluje się na dnie otworu na ładunkach żywicy o długości sumarycznej do 1 m, po czym zakładana jest podkładka i zacisk Gifforda oraz za pomocą naciągarki hydraulicznej nadawany jest naciąg wstępny (rys. 4).

Wywołanie naciągu wstępnego (zwykle 200 do 300 kN) bezpośrednio na strop powoduje zamknięcie części szczelin



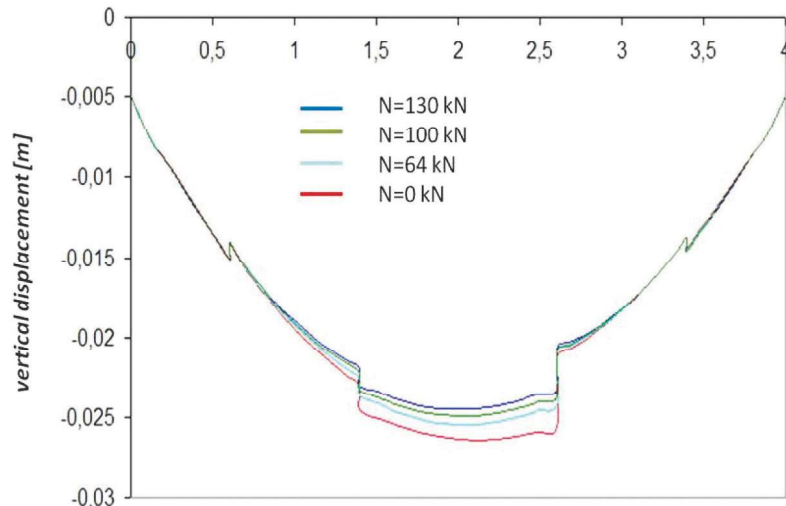
Rys. 4. Nadawanie naciągu wstępnego podczas instalacji kotew IR-7 (fot. P. Čada)  
 Fig. 4. Applying pre-tension during installation of the IR-7 anchors (photo by P. Čada)

i sprężenie warstw skalnych w stropie bezpośrednim (Stankus i in. 2014). Tak zabudowana kotew od samego początku współpracuje z górotworem poprzez podkładkę (6 – rys. 1) i ewentualnie opinkę z siatki stalowej, ograniczając tempo jego pęknięcia. Dyskusja nad stosowaniem lub zaniechaniem stosowania naciągu wstępnego w obudowie kotwowej trwa już od lat. Zdania w tym względzie są mocno podzielone w zakresie kotwi instalowanych w stropie przy braku spękań. Zarówno teoretycy, jak i praktycy częściej wskazują na zasadność nadawania naciągu wstępnego w górotworze spękanym (Cała i in. 2001). Taka sytuacja zachodzi w przypadku obudowy podporowej chodnika, która pozwala na znaczne deformacje stropu jeszcze przed zabudowaniem kotew strunowych, które realizowane jest zwykle w znacznej odległości za drążonym przodkiem. W tym przypadku naciąg wstępny nadawany na kotwach powoduje klinowanie i spinanie spękań i rozwarstwień górotworu, zwiększając tym samym jego nośność. Zasadność takiego podejścia potwierdzają badania modelowe. Zależność wpływu wielkości naciągu wstępnego na ograniczenie przemieszczenia stropu chodnika przedstawia rysunek 5 (Rak i in. 2018).

Naciąg wstępny powoduje redukcję spękań oraz spinanie górotworu, zwiększając tym samym jego nośność. Wyraźnie mniejsze przemieszczenia stropu chodnika uzyskane są kosztem zwiększenia wyężenia kotew strunowych i wykorzystania w pełni ich nośności. Wywołanie naciągu wstępnego pozwala na skuteczną współpracę kotew strunowych ze spękanym górotworem. Poziom naciąg wstępnego jest ściśle uzależniony od nośności kotwi, a ta związana jest m.in. z parametrami wytrzymałościowymi cięgna. Na rysunku 6 przedstawiono charakterystyki kotew IR-7/F uzyskane podczas badań certyfikacyjnych na próbkach cięgna o długości około 1000 mm.

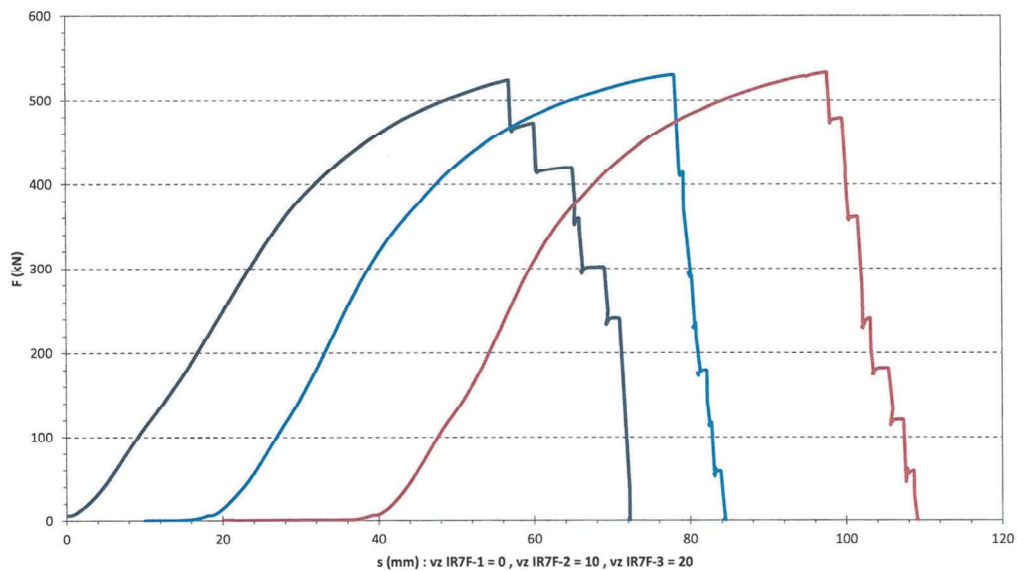
Etap drugi instalacji następuje zwykle bezpośrednio po pierwszym lub z niewielkim opóźnieniem w czasie. W tym etapie następuje podanie spoiwa mineralnego lub płynnej dwuskładnikowej żywicy syntetycznej pod ciśnieniem, (rys. 7). Uzyskuje się w ten sposób adhezyjne połączenie górotworu ze sprężoną kotwą na całej długości, a dodatkowo wypełnienie szczelin (które nie uległy zamknięciu w etapie I) i tym samym sklejanie skał.

Wklejenie kotwy na całej długości w sytuacji cięgna klatkowanego jest efektem trudnym do przecenienia w odniesieniu do jakości współpracy układu kotew-spoivo-górotwór. Siły rozciągające w cięgnie generują bowiem siły radialne w miejscu kłatek na ściankę górotworu (podobnie jak w kotwi klinowej). Efektem tego jest wysoka skuteczność całego systemu do zapobiegania rozwarstwień stropu w przestrzeniach pomiędzy kłatkami (Hyett, Bawden 1996).



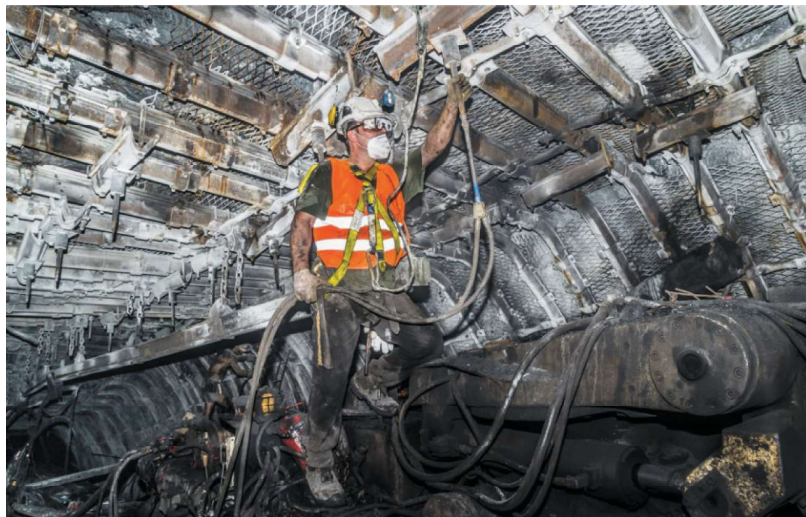
Rys. 5. Wykres końcowych przemieszczeń pionowych stropu chodnika dla różnych wariantów naciągu wstępnego (N) kotew strunowych (Rak i in. 2018)

Fig. 5. Graph of final vertical displacements of the roadway roof for various variants of pre-tension (N) of string anchors (Rak et al. 2018)



Rys. 6. Charakterystyki wytrzymałościowo-odkształceniowe cięgna kotwi IR-7/F (Interram)

Fig. 6. Strength and deformation characteristics of the anchor tendon of the IR-7/F (Interram)



Rys. 7. Iniekcja spoiwa podczas instalacji kotew IR-7 (fot. P. Čada)

Fig. 7. Binder injection during installation of the IR-7 anchors (photo by P. Čada)

### 3. Kotew IR-7 – wzmacnianie wyrobisk w obudowie podporowej

W Polsce kotew IR-7 do tej pory była zastosowana jedynie dla wzmocnienia chodnika badawczego w samodzielnej obudowie kotwowej w 2021 r., (rys. 8). Jej właściwości opisane w poprzednim rozdziale czynią ją jednak doskonałym narzędziem w systemach obudowy podporowo-kotwowej. Pierwsze próby wykorzystania w tym celu kotwi IR-7 przeprowadzono już w Kopalni CSM należącej do czeski spółki OKD (rys. 4 i 7). Wspomnieć należy, że analogiczny system wzmacniania obudowy z zastosowaniem kotwi typu Titan zastosowano także w KWK Pniówek. Poniżej, krótko scharakteryzowano schemat postępowania w zakresie wzmacniania obudowy podporowej z zastosowaniem kotew IR-7. Ze względu na wyposażenie i postęp przodka w obudowie podporowej roboty związane z wysokim kotwieniem zazwyczaj realizowane są w znacznej odległości od czoła przodka.

Dogodne warunki dla tych robót pojawiają się około 100 m za przodkiem, tj. za wysypem z podajnika taśmowego na przenośnik taśmowy. W uzasadnionych przypadkach roboty te należy przyspieszyć, a ich realizację przeprowadzić za strefą manewrową kombajnu, bądź w samym przodku. Instalacja kotew IR-7 przebiega następująco:

- odwiercenie otworu o średnicy 42 mm i długości 0,4-0,5 m mniejszej od długości kotwi,
- zainstalowanie kotwi na ładunkach klejowych o sumarycznej długości ~1000 mm i średnicy 36 mm – odcinkowe wklejenie kotwi,
- instalacja podkładki i zacisku Gifforda,
- nadanie naciągu wstępnego na żądanym poziomie,
- iniekcja spoiwa – wklejenie kotwi na całej długości.

Rys. 8. Kotwy IR-7 zainstalowane w chodniku badawczym w LW Bogdanka S.A. (fot. M. Antoniuk)

Fig. 8. The IR-7 cable bolt installed in the exploratory roadway at LW Bogdanka S.A. (photo by M. Antoniuk)



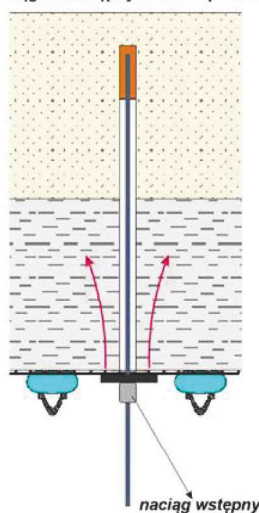
Od tego momentu uzyskujemy wysokiej sprawności współpracę układu kotew-górotwór, rysunek 9. Kotew na tym etapie nie współpracuje w sposób bezpośredni z obudową. Osiągnięcie tego celu może być realizowane w zależności od zaistniałej sytuacji, możliwości technicznych lub potrzeb kopalni. Teoretycznie, w warunkach przypadku poprawnej współpracy odrzwi obudowy podporowej z górotworem (poprawny kontakt ze stropem), zasadnym jest jak najszybsze przykotwienie odrzwi. W praktyce zaś, bardzo często przykotwianie realizowane jest już w fazie eksploatacji w odległości od 100 do 200 m przed ścianą.

W każdym wypadku zainicjowanie współpracy kotew – górotwór polega na zabudowie podciągu (długiego lub krótkiego) z otworem w dnie kształtownika, a następnie utwierdzenie go na kotwi za pomocą drugiego zacisku Gifforda (rys. 10). Na tym etapie nie nadaje się żadnego naciągu, stąd roboty te mogą być prowadzone ręcznie.

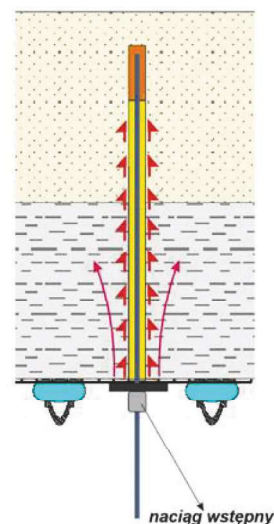
Ostateczny efekt takiej technologii to skuteczny skotwiony górotwór stropowy oraz wydatnie wzmocnione odrzwia, co pozwala na jednoczesne osiągnięcie trzech celów:

- wydatne ograniczenie zaciskania chodników w strefie ciśnień eksploatacyjnych,
- bezpodporowe i bezpieczne utrzymanie skrzyżowania ściana-chodnik,

odwiercenie otworu oraz zabudowa kotwi z naciągiem wstępnym na strop ~200 kN

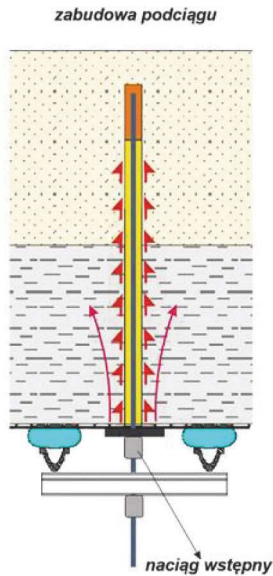


iniekcja spoiwa



Rys. 9. Dwa pierwsze etapy instalacji kotew IR-7 (Rak i in. 2017)

Fig. 9. The first two stages of installing the IR-7 string anchors (Rak et al. 2017)



Rys. 10. Wzmocnienie odrzwi obudowy podporowej za pomocą kotew IR-7 (Rak i in. 2017)

Fig. 10. Reinforcement of the steel sets with the use of IR-7 string anchors (Rak et al. 2017)

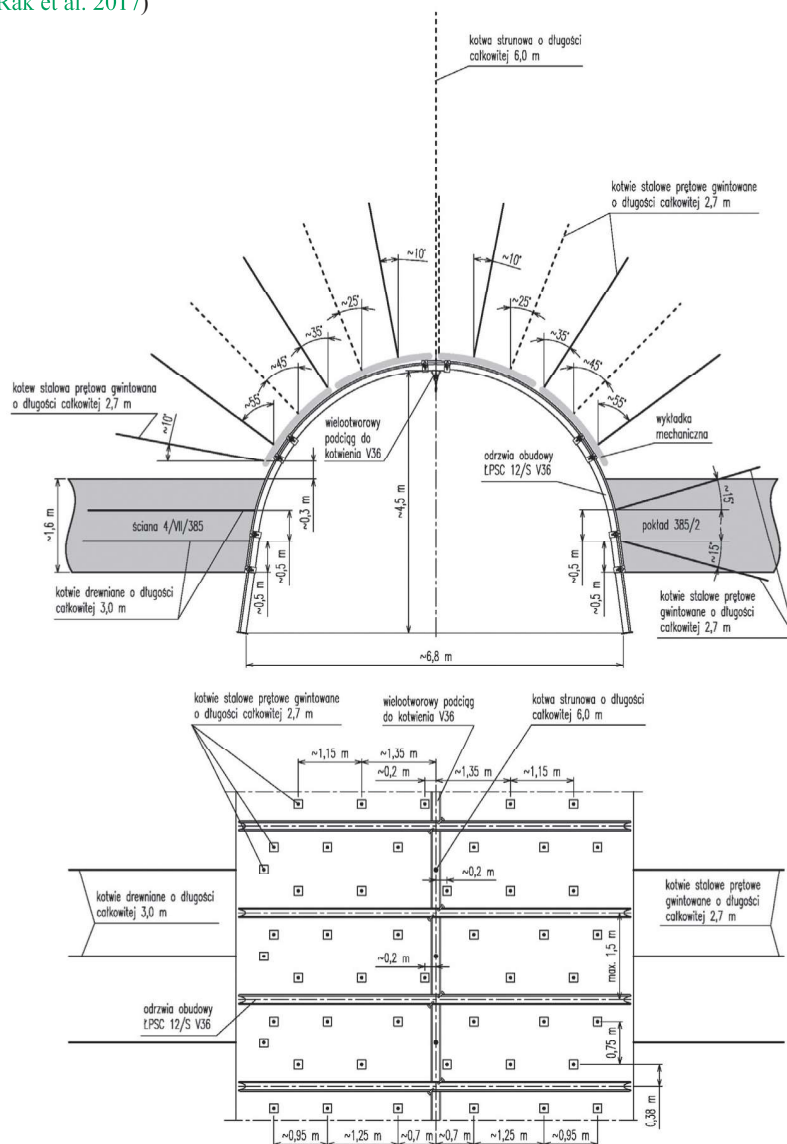
- zdecydowaną poprawę stateczności obudowy wyrobisk utrzymywanych w jednostronnym otoczeniu zrobami.

Oczywiście zakres możliwości wykorzystania kotew IR-7 zdecydowanie wybiega poza wyrobiska przyścianowe i obejmuje pełną gamę robót realizowanych dzisiaj w ramach tzw. wysokiego kotwienia, a szczególnie możliwość rozrzedzania obudowy podporowej. Dzisiaj wiemy, że nawet tradycyjne rozwiązania (z kotwami strunowymi wklejanymi odcinkowo) przynoszą znakomite efekty. Dowodem na to jest chodnik podścianowy 4/VII w pokładzie 385/2 w LW Bogdanka (rys. 11).

W wyrobisku tym poprzez kompilację niskiego i wysokiego kotwienia z powodzeniem rozrzedzono obudowę podporową do 1,5 m, pomimo jego lokalizacji na głębokości około 950 m (Rak, Stasica 2019). Finalnie rzeczywiste efekty tego zabiegu zostały bardzo wysoko ocenione przez załogi ścianowe jako skuteczne i wydatnie redukujące zakres robót na wnęce ściany.

#### 4. Podsumowanie

Zaprezentowana w niniejszym artykule technologia kotwienia górotworu jest na etapie wdrażania do górnictwa



Rys. 11. Schemat obudowy podporowo-kotwowej w chodniku podścianowym 4/VII/385

Fig. 11. Diagram of the steel set-bolt support in maingate 4/VII/385

węglowego w naszym kraju. O jej efektywności już wkrótce będziemy mogli wypowiedzieć się nieco szerzej za sprawą kolejnych wdrożeń realizowanych m.in. w LW Bogdanka S.A. Wiele lat doświadczeń w zakresie stosowania wysokiego kotwienia do wzmacniania obudowy podporowej, pozwalają wyrazić opinię, że pozyskaliśmy nowe, skuteczniejsze narzędzie, które pozwoli nam wykonać krok do przodu w zakresie optymalizacji systemów obudowy podporowo-kotwowej. W sytuacji wysokich i wciąż rosnących cen stali, skuteczne wzmacnianie obudowy podporowej za pomocą kotwienia wysokiego pozwala na rozrzedzenie podziałki obudowy przy zachowaniu wysokiego poziomu bezpieczeństwa robót. Takie działania w wyrobiskach przyścianowych ograniczają pracochłonność robót realizowanych na skrzyżowaniu ze ścianą. Całość tych działań składa się na wymierną redukcję kosztów wydobycia.

## Literatura

- BOBEK R., ŚLEDŹ T., RATAJCZAK A., GŁUCH P. 2014 – Problemy utrzymania chodników przyścianowych w warunkach zagrożeń naturalnych w KWK „Knurów-Szczygłowice” Ruch Knurów. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk. nr 86, s. 123-149.
- CAŁA M., FLISIAK J., TAJDUŚ A. 2001 – Mechanizm współpracy kotwi z górotworem o zróżnicowanej budowie. Kraków: Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi PAN, 189 s. 101-116.
- CHOLEWAM., RAK Z., STASICA J. 2012 – Metody i efekty wzmacniania wyrobiska przyścianowego w celu jego utrzymania za frontem ściany. „Budownictwo Górnicze i Tunelowe”. nr 3, s. 27-38.
- HYETT A.J., BAWDEN W.F. 1996 – The effect of bulb frequency on the behaviour of fully grouted garford bulb cable bolts. Department of Mining Engineering, Queen’s University, Kingston, Ontario. K7L 3N6, 32, s. 1-54.
- RAK Z., STASICA J. 2006 – Kotew strunowa jako element obudowy wyrobisk korytarzowych w polskich kopalniach węgla kamiennego. „Przeгляд Górnicy” t. 62, nr 9, s. 21-29.
- RAK Z., STASICA J., CIEPLIŃSKI Z., BORGIEL D. 2015 – Wysoko wydajny przodek chodnikowy w drażeniu wyrobisk przewidzianych do późniejszego wykorzystania w jednostronnym otoczeniu zrobów. „Przeгляд Górnicy” t. 71, nr 6, s. 16-22.
- RAK Z., STASICA J., RAWICKI Z. 2016 – Wybrane zagadnienia stosowania obudowy kotwowej dla wzmacniania obudowy podporowej w wyrobiskach przygotowawczych. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” nr 2, s. 3-13.
- RAK Z., BURTAN Z., STASICA J. 2017 – Skuteczne rozwiązania w systemie wysokiego kotwienia dla wzmacniania obudowy podporowej. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN nr 101, s. 101-116.
- RAK Z., CIEŚLIK J., STASICA J., DVORAK P. 2018 – The importance of pre-tensioning cable bolts used to reinforce of arch yielding support. International conference on Applied Geophysics. E3S Web of Conferences. Vol. 66, art. nr 03003, s. 1-10.
- RAK Z., STASICA J. 2019 – Zastosowanie kotwi do rozrzedzania obudowy podporowej w warunkach głębokich kopalń węgla kamiennego – studium przypadku. Inżynieria Mineralna. R. 21, nr 2, s. 269-278.
- STANKUS J., LI X., GIZA D., RUTYNA M. 2014 – Kotwienie górotworu i cementacja: zastosowanie kotew linowych SUMO w Western U.S. Longwall Recovery. Materiały konferencyjne: XXI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna z cyklu Górnictwo zagrożenia naturalne 2014 Zagrożenia naturalne a bezpieczne i efektywne Kopalnie, s. 35-37.
- TUREK M., PRUSEK S., MASNY W. 2015 – Obudowa podporowo-kotwowa w kopalniach węgla kamiennego. Główny Instytut Górnictwa, Katowice, 134 s.
- WARDAS A., BOBEK R., ŚLEDŹ T., TWARDOKĘS J., RATAJCZAK A., GŁUCH P. 2016 – Sposoby wzmocnienia górotworu dla poprawy stateczności wyrobisk korytarzowych na dużej głębokości w warunkach występowania zagrożeń naturalnych i technicznych w kopalniach węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk nr 94, s. 53-66.

Artykuł wpłynął do redakcji – wrzesień 2021  
Artykuł akceptowano do druku – 03.11.2021