

Doświadczenia KWK „Pniówek” w zakresie likwidacji wykropleń wody w wyrobiskach dołowych

Experience of KWK „Pniówek” in the field of stopping water sweating in underground excavations



Mgr inż. Grzegorz Brudny*)



Mgr inż. Artur Gnutek*)



Mgr inż. Krzysztof Filipowicz*)

Treść: Przedostawanie się wody do czynnych wyrobisk górniczych jest przyczyną wielu problemów podczas prowadzenia eksploatacji górniczej. Wiąże się to przede wszystkim z osłabieniem parametrów mechanicznych skał otaczających wyrobisko, łatwiejszym wypiętrzaniem spągu oraz korozją i osłabieniem konstrukcji obudowy. W skrajnym przypadku, wobec wody agresywnej chemicznie, może dochodzić do tak dużego zniszczenia elementów stalowych obudowy, że konieczne jest wykonanie przebudowy wyrobiska. W artykule przedstawiono sposób i metodykę izolacji górotworu, która umożliwia kontrolowane ujęcie wyciekającej ze stropu wyrobiska wody. Dodatkowo opisano sposób zabezpieczenia antykorozyjnego oraz wzmocnienia skorodowanej obudowy na przykładzie przekopu kierunkowego wschodniego poziomu 1000.

Abstract: Water getting through the active mining excavations is the reason for many problems during exploitation. First and foremost, it entails the weakening of mechanical parameters of rocks surrounding the excavation, simplifying of floor uplift and the corrosion and weakening of support construction. In the extreme case, the chemically aggressive water may cause serious destruction of steel elements of the support, thus it is necessary to rebuild the excavation. This paper presents the way and methodology of rockmass isolation which allows to control the intake of water leaking out from the excavation roof. Moreover, the way to secure and reinforce the support against corrosion on the basis of the eastern directional excavation at the level 1000.

Słowa kluczowe:

górnictwo, eksploatacja, obudowa górnicza

Key words:

mining industry, mining, support

1. Wprowadzenie

Kopalnia „Pniówek” należy do grupy kopalń borykających się z wykropleniami wody z górotworu do czynnych wyrobisk górniczych. Ze względu na znaczne zasolenie wody w miejscach wykropleń następuje szybko postępująca korozja, która w znacznym stopniu obniża parametry wytrzymałościowe obudowy [3, 5]. Powyższe zjawiska prowadzą do konieczności wzmocnienia ww. odcinków wyrobisk, a w niektórych przypadkach wymuszają konieczność przebudowy [2].

Dotychczas stosowana izolacja warstw zalegających nad wyrobiskiem doprowadzała do migracji wody, która pojawiała się w innym miejscu, rozszerzając w ten sposób zasięg szkodliwego wpływu. Po wielu latach doświadczeń KWK „Pniówek” wypracowała model izolacji górotworu, który pozwala na kontrolowane ujęcie wykraplającej się wody. Obudowa na zawodnionym odcinku zabezpieczana jest przeciwkorozyjnie za pomocą inhibitora. W przypadku, gdy korozja zdegradowała opinę i osłabiła obudowę wzmocnia się ją warstwą torkretu [2]. Sposób ten skutecznie zapobiega dalszej korozji, a co za tym idzie dalszemu osłabianiu obudowy oraz migracji wykropleń do wyrobiska i zawodnieniu spągu. Odpowiednio wczesna likwidacja wycieku w znacznym stopniu zapobiega konieczności przebudowy danego odcinka wyrobiska [6].

*) JSW S.A. KWK „Pniówek”

2. Warunki hydrogeologiczne w KWK „Pniówek”

Kopalnia „Pniówek” położona jest w południowej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i należy do Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. Kopalnia gospodaruje obecnie dwoma złożami. Pierwsze z nich, złożo „Pniówek”, eksploatowane jest w różnym zakresie od początku istnienia kopalni. Drugie złożo, „Pawłowice 1” jest obecnie w fazie wstępnego zagospodarowywania. Powierzchnia złoża „Pniówek” w obrębie Obszaru Górniczego „Krzyżowice III” wynosi 28,5 km², natomiast Obszar Górniczy „Pawłowice 1” to powierzchnia 15 km².

Analizując budowę geologiczną dokumentowanego obszaru można wydzielić trzy zasadnicze piętra wodonośne, związane z przepuszczalnymi utworami poszczególnych serii stratygraficznych [1]:

- czwartorzędu,
- trzeciorzędu,
- karbonu.

Piętra wodonośne czwartorzędu i trzeciorzędu związane są z nadkładem złoża, natomiast piętro wodonośne związane z przepuszczalnymi utworami serii złożowej karbonu ma zasadniczy wpływ na zawodnienie Kopalni.

Utwory czwartorzędowe są zróżnicowane litologicznie. Osady plejstocenu pochodzenia rzeczno-lodowcowego, z którymi wiąże się poziomy wodonośne, wykształcone są jako piaski drobno i średnioziarniste. Utwory te najczęściej zalegają pod przykryciem glin pylastych, lokalnie zapiaszczonych o miąższości od kilku do kilkunastu metrów. Całkowita miąższość utworów czwartorzędowych waha się w granicach od ok. 5 m do ok. 80 m. Poziom ten występuje prawie na całym dokumentowanym obszarze.

Na całym dokumentowanym obszarze zalegają ilaste utwory trzeciorzędu (neogenu). Poziomy wodonośne w obrębie tej serii związane są z wkładkami, laminami oraz przeławieniami piasków drobnoziarnistych i pylastych występujących najczęściej w postaci soczewek lub warstw o niewielkim rozprzestrzenieniu poziomym. Miąższość wkładek przepuszczalnych nie przekracza na ogół 10÷20 m. Utwory trzeciorzędu mają sumaryczną miąższość od ok. 160 m do ok. 930 m.

Spągowa część trzeciorzędu została rozpoznana otworami wiertniczymi, a także robotami górniczymi. Na kontakcie trzeciorzędu z karbonem stwierdzono występowanie gruboklastycznych utworów o znacznym zróżnicowaniu litologicznym. W trakcie wiercenia otworów dołowych wykonywanych w ostatniej dekadzie, które miały za zadanie rozpoznanie głębokości zalegania stropu karbonu, nie stwierdzono z niego dopływów wody.

Poziomy wodonośne w obrębie utworów karbonu związane są z piaskowcami drobno i średnioziarnistymi, a niekiedy spękanymi mułowcami warstw orzeskich i rudzkich, zalegających w formie poziomów warstwowych pomiędzy pokładami węgla i ilowcami. Warunki hydrogeologiczne w górotworze karbońskim, obejmującym warstwy orzeskie i górnorudzkie, rozpoznano otworami wiertniczymi i wyrobiskami górniczymi, w których przeprowadzone były pomiary i obserwacje hydrogeologiczne. Poprzez obserwację otworów stwierdzono występowanie nielicznych nagromadzeń wody reliktywnej w piaskowcach karbońskich, które powodowały jedynie drobne wykroplenia wody w wyrobiskach górniczych.

Warunki krążenia wód w utworach karbonu są trudne do określenia. Ich zasilanie w obrębie dokumentowanego obszaru jest praktycznie niemożliwe z uwagi na serię nieprzepuszczalnych utworów ilastych trzeciorzędu. Świadczy o tym stały, wysoki stopień mineralizacji wód karbońskich oraz ich skład chemiczny. Dotychczasowe obserwacje prowadzone

w czasie wykonywania robót górniczych wykazały, że również uskoki nie stanowią dróg migracji wód z wyższych poziomów wodonośnych w utwory karbońskie.

3. Podziemne, potencjalne źródła zawodnienia wyrobisk

Do głównych źródeł zawodnienia wyrobisk w kopalni można zaliczyć [1]:

- zawodnione utwory piaszczysto-żwirowe czwartorzędu - zawodnienie szybów,
- zawodnione piaski i pyły trzeciorzędowe, szczególnie zalegające bezpośrednio na utworach karbonu - zawodnienie szybów,
- zwietrzelina skał karbońskich (utwory pstre) - zawodnienie szybów,
- piaskowce karbońskie,
- zbiorniki wodne w zrobach ścian,
- mieszaniny odpadów elektrownianych z wodą zasoloną,
- niezlikwidowane otwory wiertnicze.

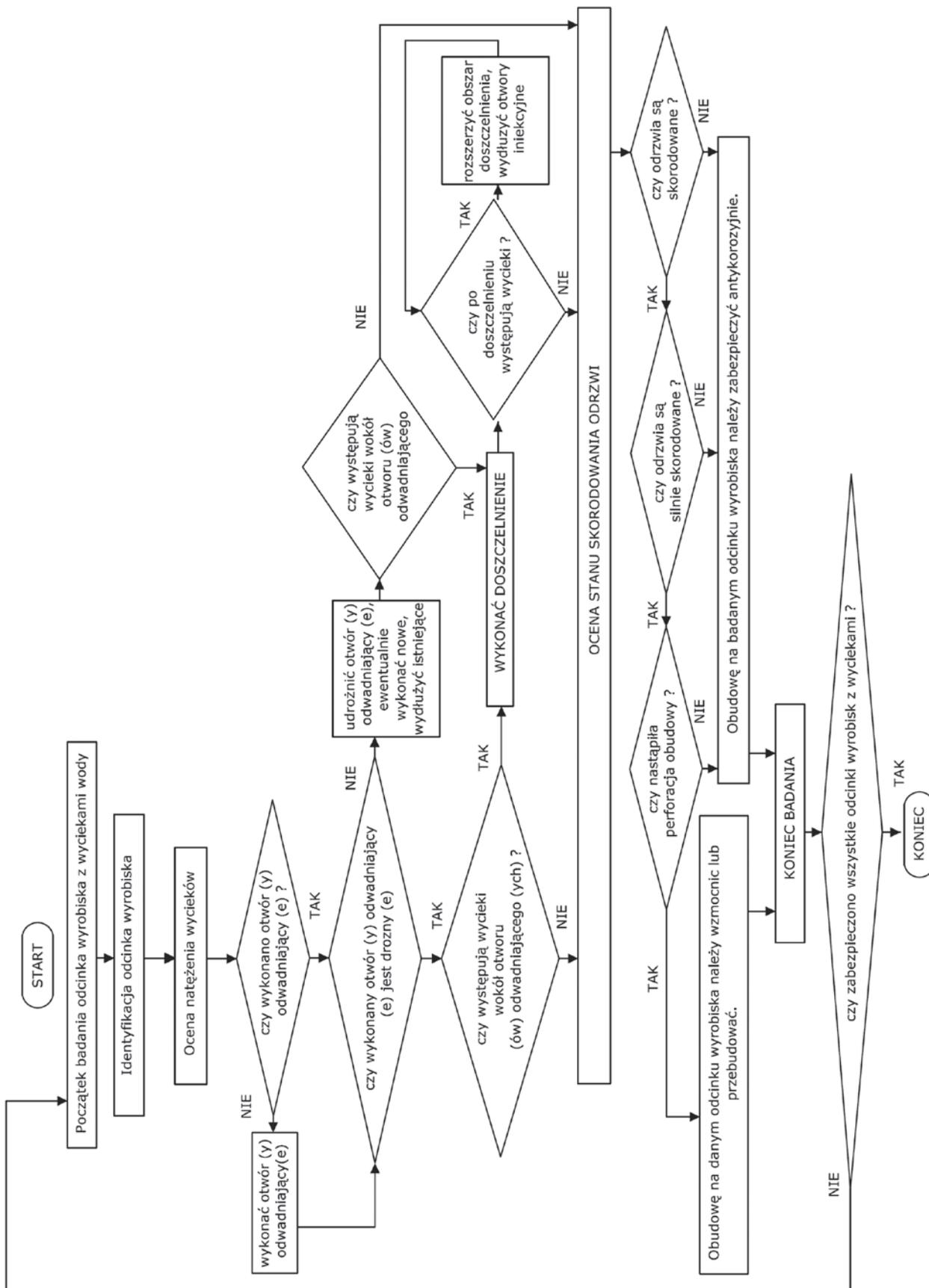
Złożo węgla kamiennego KWK „Pniówek” przykryte jest w całości nadkładem o zróżnicowanej miąższości. Osady trzeciorzędowe, wykształcone jako seria nieprzepuszczalnych utworów ilastych, stanowią dostateczną izolację serii złożowej przed infiltracją wód powierzchniowych oraz wód czwartorzędowego piętra wodonośnego. Występujące w nadkładzie złoża poziomy wodonośne typu warstwowego, związane z utworami piaszczysto-żwirowymi czwartorzędu oraz wkładkami piaszczysto-pylastymi trzeciorzędu, izolowane są od utworów karbonu serią nieprzepuszczalnych ilów miocenijskich o dużej miąższości, które oddzielają wyrobiska górnicze od wód z nadkładu. Można stwierdzić, że brak jest jednolitego poziomu wodonośnego na kontakcie nadkład-karbon. Stwierdzona, przede wszystkim wierceniami, zróżnicowana morfologicznie powierzchnia karbonu, w swoich obniżeniach erozyjnych wypełniona jest utworami klastycznymi, które mogą być kolektorem niewielkiej ilości wody. Obecnie wyrobiska kopalni zlokalizowane są w dużej odległości od nadkładu, dlatego na dole nie stwierdza się wody z tego źródła.

3.1. Woda reliktywa

Niewielkie nagromadzenia wody reliktywnej występujące w warstwach piaszczystych karbonu ulegają systematycznemu szczypaniu w wyniku odwadniania górotworu. Następuje także obniżenie ciśnienia hydrostatycznego wód tych poziomów. Rozdzielenie warstw piaskowców pakietami ilastymi powoduje, że kontakty hydrauliczne między zawodnionymi partiami są mocno ograniczone i możliwe jedynie w strefach spękań naturalnych lub powstałych w wyniku eksploatacji. W wyrobiskach górniczych warstwy piaskowców powodują jedynie sporadyczne wykroplenia lub drobne wypływy wody (maksymalnie 30 l/min). W trakcie dotychczasowych robót górniczych nie stwierdzono zawodnionych uskoków poza odosobnionym przypadkiem Uskoku Pniówkowskiego, z którego po przecięciu przekopem kierunkowym zachodnim na poziomie 830 stwierdzono wypływ rzędu 0,2 m³/min. Po szczypaniu nagromadzonej w szczelinie wody wypływ ustał, co świadczy o braku kontaktu uskoku z zasobami dynamicznymi nadkładu. Szczeliny pozostałych uskoków wypełnione były materiałem ilastym i stwierdzono jedynie z nich drobne wykroplenia wody.

3.2. Podziemne zbiorniki wodne

Podziemne zbiorniki wodne dokumentowane są w zrobach ścian i wyrobiskach korytarzowych. Na mapach i w ewidencji



Rys.1. Algorytm postępowania dla odcinka wyrobiska z wyciekami wody
 Fig. 1. Procedure for excavation part with leakage

określony jest zasięg oraz pojemność zbiorników wodnych. Zbiorniki te likwidowane są zgodnie z zaleceniami Zespołu ds. Rozpoznawania i Zwalczania Zagrożenia Wodnego po ich zaakceptowaniu przez KRZG. W praktyce zawodnienie wyrobisk górniczych korytarzowych sprowadza się do rejonów występowania zawodnionych warstw piaskowców lub stref oddziaływania dołowych zbiorników wodnych zlokalizowanych w zlikwidowanych wyrobiskach i zrobach ścian.

3.3. Woda z doszczelniania zrobów

Kopalnia „Pniówek” stosuje mieszaninę odpadów elektrycznych i wody zasolonej do profilaktyki ppoż. poprzez doszczelnianie zrobów ścian i zlikwidowanych wyrobisk chodnikowych. Niewielkie ilości wody nadosadowej, pozostałej po zestaleniu ww. mieszaniny wnikają w spękany górotwór, nie powodując tworzenia się zbiorników. Woda ta przenika do chodników prowadzonych w pokładach niższych powodując w nich wykroplenia.

3.4. Otwory wiertnicze

Otwory wiertnicze po spełnieniu przez nie zadania (drenaż wody, kontrola zawodnienia, zbadanie zalegania pokładów) są na bieżąco likwidowane poprzez zacementowanie. Jedynie niezlikwidowane powierzchniowe otwory badawcze lub takie, co do których brak jest informacji o sposobie ich likwidacji, mogą powodować lokalne zawodnienie wyrobisk.

4. Geneza wykropleń wody w przekopie kierunkowym wschodnim poz. 1000

Przedmiotem niniejszej analizy jest strefa zawodnionego odcinka przekopu kierunkowego wschodniego na poziomie 1000. Zawodnienie skał zostało stwierdzone w postaci szeregu gęstych wycieków wody na 1349,0÷1414,0 mb przekopu kierunkowego wschodniego na poziomie 1000 w postaci wykropleń, głównie ze stropu. Stan ten wynika z faktu, że na 1349,0÷1414,0 mb przekopu występuje strefa uskokowa o sumarycznym zrzucie $h = 22,0$ m. Poprzez występujące w tej strefie spękane piaskowce drenowana jest woda z występujących w stropie przekopu zawodnionych warstw piaskowców. Są to skały stropowe pokładu 401/1 występującego na wschód od ww. strefy uskokowej w odległości pionowej 25÷28 m. Stwierdzona strefa uskokowa składa się z dwóch uskoków o przebiegu północ-południe, zrzucających warstwy na wschód.

Z wody dopływającej do przekopu pobrano próbę wody i wykonano szereg kompleksowych badań chemicznych. Wyniki analiz chemicznych wykazują bardzo wysoką mineralizację tej wody, która wynosi 150 900 mg/dm³. Zawartość chlorków wynosi 80 483 mg/dm³, natomiast siarczanów nie stwierdzono. Powyższe świadczy o tym, że mamy do czynienia z naturalną wysokozmineralizowaną, karbońską wodą reliktową. Z uwagi na zawartość chlorków, woda ta wykazuje silne właściwości korozyjne wobec stali [3]. Dlatego, zarówno obudowa z łuków podatnych zabudowana w przekopie kierunkowym wschodnim, jak i reszta stalowego uzbrojenia tego wyrobiska ulega korozji.

5. Założenia techniczno-technologiczne likwidacji wykropleń (wycieków)

Decydując się na likwidację wykropleń, należy w każdym przypadku brać pod uwagę:

- hydrogeologię (pochodzenie wody, geneza powstania wykropleń),
- rozległość odcinka, gdzie występują wykroplenia,
- stopień skorodowania obudowy,
- dostępność mediów (nośników energii) – napięcie, powietrze, ciśnienie hydrauliczne, które decyduje o rodzaju użytego sprzętu.

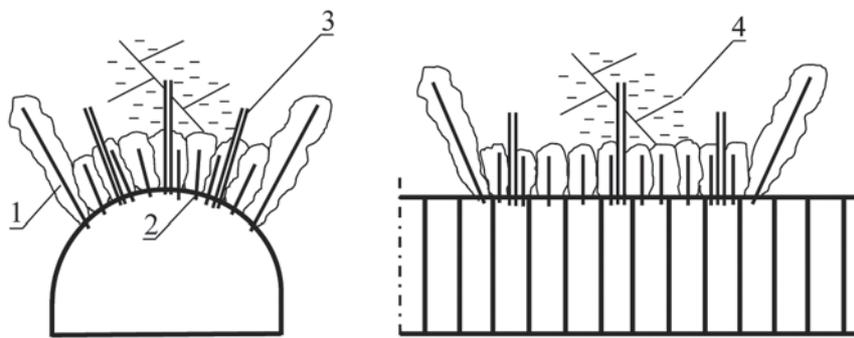
W celu usprawnienia prac nad technologią opracowano odpowiedni algorytm postępowania, przedstawiony na rys. 1.

6. Metodyka iniekcji i schemat odwiertów

Wierząc otwory iniekcyjne należy stosować się do następujących zasad:

- najdłuższe (o największym zasięgu) muszą być otwory graniczne (w dwóch płaszczyznach),
- otwory izolujące muszą mieć odpowiednią długość zapewniającą szczelność (nie mogą sięgać za daleko, co mogłoby skutkować migracją wody poza otwory graniczne),
- oprócz otworów granicznych i izolujących należy wykonać otwory kontrolne, które pozwolą uzyskać informację na temat migracji kleju,
- otwory odwadniające (kontrolowane ujęcie wody) muszą przechodzić ponad strefę izolującą, należy je wykonać w miejscach o największym natężeniu wypływów,
- otwory powinny być przystosowane do okresowego czyszczenia w celu utrzymania drożności.

Powyższe zalecenia przedstawione są na rys. 2.



1 - otwór iniekcyjny graniczny, 2 - otwór iniekcyjny izolujący, 3 - otwór odwadniający,
4 - szczeliny uskokowe przez które migruje woda

Rys. 2. Schemat odwiertów
Fig. 2. Scheme of boreholes

Długość otworów iniekcyjnych uzależniona jest od istniejącej strefy spękań powstałej nad stropem wyrobiska. Schemat prawidłowo wykonanej iniekcji pokazano na rys. 3.

W celu ustalenia optymalnej siatki kotwienia istnieje konieczność wykonania otworów kontrolnych. Obowiązuje zasada – otwory krótkie, siatka gęsta i na odwrót. Należy zwrócić uwagę, aby nie wpompowywać zbyt dużej ilości kleju do jednego otworu, ponieważ może on podnieść poziom wody (zbyt wysoki zasięg izolacji), co w konsekwencji może spowodować ominięcie izolacji zadanej otworami granicznymi.

Dobór sposobu iniekcji uzależniony jest od skał otaczających wyrobisko [7]. Najprostszym, a zarazem najpraktyczniejszym sposobem iniekcji jest zastosowanie nabojnicy samorozprężnych (pakerów). Iniekcja polega wówczas na wykonaniu otworu o żądanej długości, zainstalowaniu w otworze głowicy uszczelniającej jednorazowego użytku i podaniu środka chemicznego.

Sytuacja komplikuje się, kiedy wycieki występują w górotworze, który charakteryzuje się rumoszem skalnym, a co za tym idzie, nie ma możliwości włożenia nabojnicy na żądaną głębokość do otworu. W takim przypadku, jedyną alternatywą pozostaje użycie kotew samowiertnych-iniekcyjnych, które wprowadza się na żądaną głębokość, uszczelnia, a następnie podaje się iniekt [4].

7. Likwidacja wycieków wody w przekopie kierunkowym wschodnim poz. 1000

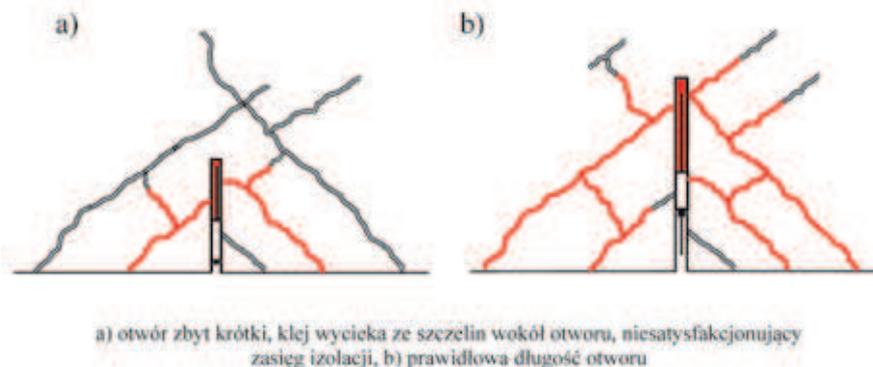
Przed przystąpieniem do kompleksowych prac, związanych z uszczelnieniem górotworu i zabezpieczeniem istniejącej obudowy górniczej przed negatywnym oddziały-

waniem agresywnych wód dołowych, dokonano oceny jakości górotworu poprzez ustalenie zasięgu strefy spękań w stropie oraz stanu skorodowania odrzwi obudowy. Uwzględniając uzyskane informacje, próbę likwidacji wycieków wody oparto o technologię, gdzie do wytworzenia bariery uszczelniająco-izolującej wyrobisko zaproponowano trzy rodzaje otworów:

- graniczne, o długości od 2,0÷3,0 m, wykonywane pod kątem ok 30° w stosunku do pionowej osi wyrobiska i średnicy 42 mm,
- izolujące, o długości od 0,5÷1,0 m, wiercone w siatce 4 otwory na 1m² wyrobiska, pod kątem od 0÷30° w stosunku do osi pionowej wyrobiska i średnicy 42 mm,
- odwadniające o długości 2,0÷3,0 m, wykonane pod kątem od 0÷30° w stosunku do osi pionowej wyrobiska i średnicy 42 mm.

Schemat rozmieszczenia otworów iniekcyjno-odwadniających przedstawiono na rys. 2. W otworach iniekcyjnych w zależności od panujących warunków stropowych rozpięrane były głowice uszczelniające jednorazowego użytku (rys. 4) lub w miejscach występowania rumoszu skalnego uniemożliwiającego wprowadzenie głowicy uszczelniającej na żądaną głębokość, kotwy samowiertne-iniekcyjne wraz z uszczelnieniem wylotu otworu iniekcyjnego (rys. 4, 5). Dodatkowo wykonano otwory kontrolne, które pozwoliły uzyskać informację na temat migracji kleju w stropie wyrobiska.

Do iniekcji zastosowano klej MARITHAN EP, który charakteryzuje się bardzo szybkim czasem reakcji, dobrymi właściwościami sklejanymi wszystkich typów skał, jak również dużą odpornością na rozciąganie i dużą elastycznością. Podstawowe parametry kleju przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 3. Dobór odpowiedniej długości otworów iniekcyjnych
Fig. 3. Selection of the proper length of injection wells



Rys. 4. Głowica uszczelniająca jednorazowego użytku oraz kompletna kotew samowiertna-iniekcyjna
Fig. 4. Disposable sealing head and complete self-drilling injection bolt



Rys. 5. Kotew samowiertna-iniekcyjna
Fig. 5. Self-drilling injection bolt

Tabela 1. Podstawowe parametry kleju poliuretanowego MARITHAN EP
Table 1. Basic parameters of polyurethane glue MARITHAN EP

Podstawowe parametry produktu	SKŁADNIK	
	Żywica	Katalizator
Gęstość w 20°C (g/cm ³)	ok. 1,10	ok. 1,23
Lepkość w 20°C (mPas)	ok. 250	ok. 200
Stosunek mieszania	1	1

Obudowę wyrobiska graniczącą z odcinkami, gdzie wystąpiły wycieki oczyszczono i zabezpieczono przed postępującą korozją poprzez pokrycie jej inhibitorem typu Cheminol SK. Ww. stabilizator korozji neutralizuje proces korozji poprzez konwersję rdzy w czarny metaloorganiczny kompleks. Przykładową warstwę ochronną przedstawia rys. 6.

W związku z faktem, że obudowa i opinka w miejscach wykropleń była nadmiernie skorodowana, ww. odcinek pokryto warstwą torkretu. Do torkretowania użyto torkretu TSM 70 oraz cienkościennej membrany pracującej, jako powłoka natryśnięta (rys.7). Powyższe wzmocnienie charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami wytrzymałościowymi jak i izolacyjnymi (przy wskaźniku woda/proszek 0,10, wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach wynosi 72,5-76,9 MPa, natomiast wytrzymałość na zginanie mieści się w zakresie 10,53-11,47 MPa) [8].



Rys. 7. Powłoka – torkret TSM 70
Fig. 7. Coating – gunita TSM 70



Rys. 6. Obudowa pokryta inhibitorem
Fig. 6. Support covered with inhibitor

8. Podsumowanie i wnioski

Skuteczność wykonania izolacji wykropleń połączona z kontrolowanym ujęciem wody uzależniona jest od następujących działań:

- dobrego rozeznania warunków hydrogeologicznych,
- opracowania rozwiązania techniczno-technologicznego odpowiedniego dla warunków geologiczno-górnicych, panujących w danym miejscu,
- doboru odpowiednich materiałów, które uniemożliwiają iniekcję na odpowiedniej głębokości oraz kleju, który uszczelni górotwór i nie będzie reagował z otaczającym środowiskiem.

Kontrola odprowadzenia wody powoduje zatrzymanie lub spowolnienie procesów korozyjnych, a co za tym idzie eliminuje konieczność wykonania przebudowy danego odcinka wyrobiska.

Na podstawie opisanego w referacie przykładu dotyczącego przekopu kierunkowego wschodniego na poziomie 1000 można stwierdzić, że stosowanie się do powyższych zasad pozwoli skutecznie izolować wycieki wody do wyrobisk górniczych.

Literatura

1. Dokumentacja geologiczna KWK „Pniówek”.
2. Rak Z., Siodlak Ł., Stasica J.: Możliwości wzmocnienia obudowy podporowej wyrobisk korytarzowych z wykorzystaniem torkretowania. WUG, 2007, nr 5, s. 32-39.
3. Kuziak R., Dyduch G., Nawrot J.: Możliwości ograniczenia korozji stalowej obudowy odrzwiowej w wyrobiskach korytarzowych kopalń węgla kamiennego. „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej” 2009, t. 4, z. 2b, s. 117-131.
4. Majcherczyk T., Malkowski P., Niedbalski Z., Borecki J., Koliński K., Brudny G.: Projekt wzmocnienia obudowy podporowej przy zastosowaniu kotew iniekcyjnych w rozdzielni RDW-4 poz. 830 KWK „Pniówek”. KWK „Pniówek” 2011, praca niepublikowana.
5. Rotkegel M., Kowalski E.: Wpływ stopnia skorodowania elementów odrzwi na nośność obudowy. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa. Seria Konferencje Nr 46, Katowice 2003.
6. Sobik L., Mazurek C.: Zastosowanie w KWK „Jankowice” rozwiązania uszczelniania górotworu i zrobów w trakcie dokonywania przebieg do nieczynnych wyrobisk, z wykorzystaniem środków mineralnych i chemicznych. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko, nr 1/1, Katowice 2011, s. 332-341.
7. Strumiński A., Madeja-Strumińska B., Chojnacki R.: Ocena skuteczności działania środków chemicznych i mineralnych w zwalczaniu współwystępujących zagrożeń górniczych w kopalniach węgla kamiennego. W: Zwalczanie zagrożeń aerologicznych w kopalniach – praca zbiorowa pod redakcją S. Pruska, J. Knechtela i B. Madej-Strumińskiej, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2012, s. 205-215.
8. Pytlik A.: Badanie torkretu oraz cienkościennych membran natryskowych metodą testu skrzyniowego. „Przegląd Górniczy” 2013, nr 12, s. 126-133.