

**Zeszyty Naukowe***Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią  
Polskiej Akademii Nauk*

rok 2017, nr 98, s. 199–210

Grzegorz STROZIK\*

## ***Bilans i kierunki utylizacji słonych wód kopalnianych z czynnych i zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego z uwzględnieniem ich zagospodarowania w podziemnych technologiach górniczych***

Streszczenie: Odwadnianie kopalń i wprowadzanie wód słonych do cieków powierzchniowych stanowi jedną z głównych form negatywnych oddziaływań na środowisko, która powinna być właściwie rozwiązana przez przemysł wydobywczy. Duża powierzchnia obszarów górniczych kopalń czynnych i zlikwidowanych oraz budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne górotworu sprawiają, że ilość wód dołowych wypompowywanych rocznie ze wszystkich kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego wynosi około 118 mln m<sup>3</sup>. Coraz większa głębokość eksploatacji i konieczność ochrony czynnych kopalń przed zagrożeniem wodnym przyczyniają się do wzrostu koncentracji chlorków i siarczanów w wodach dołowych wprowadzanych do środowiska, pomimo spadku wielkości wydobycia i malejącej liczby czynnych kopalń. Większość ładunku soli jest wprowadzana do wód powierzchniowych, częściowo z zastosowaniem kontroli koncentracji stężenia soli, jednak z punktu widzenia ochrony środowiska najlepszym rozwiązaniem problemu wód słonych byłoby ich zagospodarowanie w technologiach zapewniających znaczący w skali problemu poziom ich wykorzystania. Grupą takich technologii jest wypełnianie pustek podziemnych, realizowane przede wszystkim w formie doszczelniania zrobów i podsadzania zbędnych wyrobisk górniczych. Z racji kubatury powstających w wyniku bieżącej eksploatacji podziemnej pustek podziemnych, przy uwzględnieniu istniejących ograniczeń, potencjalnie dostępnych do wypełniania jest około 17,7 mln m<sup>3</sup> objętości zrobów i wyrobisk. Z uwagi na dostępność popiołów lotnych i innych odpadów przemysłowych, które są głównym komponentem drobnoziarnistych mieszanin do wypełniania pustek, łączna objętość wód zasolonych i solanek, które mogą być zagospodarowane w rozpatrywanych technologiach oszacowano na 3,5–6,5 mln m<sup>3</sup> rocznie.

Słowa kluczowe: utylizacja wód kopalnianych, wody zasolone, wypełnianie pustek podziemnych, popioły lotne

\* Dr inż., Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska w Gliwicach.

## **Balance and methods of the utilization of salt waters from active and decommissioned hard coal mines including their use in underground mining technologies**

**Abstract:** Mine drainage and discharge of salt waters into water bodies belong to main environmental issues, which must be appropriately addressed by the underground coal mining industry. The large area of exploited and abandoned mine fields in the Upper Silesia Coal Basin, as well as the geological structure of the rock mass and its hydrogeological conditions require the draining and discharge of about 119 million m<sup>3</sup>/yr of mine waters. Increasing the depth of mining and the necessity of protection of mines against water hazard result in increased amounts of chlorides and sulphates in the mine waters, even by decreasing the total coal output and the number of mines. The majority of the salts are being discharged directly into rivers, partly under control of salt concentration, however from the point of the view of environment protection, the most favorable way of their utilization would be technologies allowing the bulk use of saline waters. Filling of underground voids represents a group of such methods, from which the filling of goaves (cavings) is the most effective. Due to large volume of voids resulting from the extraction of coal and taking the numerous limitations of this method into account, the potential capacity for filling reaches about 17.7 million m<sup>3</sup>/yr of cavings and unnecessary workings. Considering the limited availability of fly ash, which is the main component of slurries being in use for the filling of voids, the total volume of saline water and brines, which could be utilized, has been assessed as 3,5–6,5 million m<sup>3</sup>/yr.

**Keywords:** mine waters management, salt waters, filling of underground voids, fly ash

### **Wprowadzenie**

Liczące około 7,5 tys. km<sup>2</sup> Górnos Śląskie Zagłębie Węglowe (GZW) stanowi największy czynny obecnie obszar eksploatacji węgla kamiennego w Europie. W części GZW leżącej na terenie Polski, nawet po likwidacji połowy kopalń, obszary górnicze czynnych kopalń węgla zajmują 20% jego powierzchni. Wydobycie węgla kamiennego przyczyniło się do rozwoju wielu innych gałęzi przemysłu prowadząc między innymi do wysokiego stopnia zaludnienia i urbanizacji terenu. Tzw. konurbację katowicką skupiającą najgęściej zaludnione miasta i gminy GZW zamieszkuje około 2,7 mln ludzi (Krzyżstolik i in. 2011). Z uwagi na wysokie uprzemysłowienie, środowisko regionu uległo znaczącej degradacji i pomimo likwidacji wielu uciążliwych źródeł oddziaływań nadal jest narażone na różne formy antropopresji, z których do najważniejszych zaliczyć można skutki działalności górnictwa węgla kamiennego.

Znaczne ilości wód pochodzących z odwadniania kopalń, z których część zawiera solanki, zawierające chlorki i siarczany w bardzo wysokich stężeniach (Policht-Latawiec 2014), wpływają szkodliwie na stan wód w ciekach powierzchniowych i zbiornikach wodnych. Dotyczy to także ekosystemów zależnych od czystości wód, stanu fauny i flory w zasięgu oddziaływania słonych wód kopalnianych i nie pozostaje bez wpływu bezpośrednio na jakość życia mieszkańców regionu (Molenda 2014; Zgórska i in. 2016). Oddziaływania słonych wód na środowisko nie ograniczają się do regionu Górnego Śląska. Większość lokalnych cieków powierzchniowych znajduje się w zlewniach rzek Wisły i Odry co sprawia, że podwyższone stężenia chlorków i siarczanów notowane są na całej długości tych rzek, aż do ich ujścia.

Chociaż wydobycie węgla kamiennego w GZW w ciągu ostatniego ćwierćwiecza zmalało o połowę do poziomu około 70 mln ton rocznie, to zrzut wód kopalnianych, w tym wy-

soko zasolonych, utrzymuje się wciąż na stałym poziomie, co świadczy o tym, że problem słonych wód kopalnianych będzie istniał także w przyszłości.

W chwili obecnej brak jest metod, które pozwalałyby na całkowitą eliminację soli z wód dołowych wprowadzanych do środowiska, dlatego istotna jest dywersyfikacja działań w zakresie redukcji ładunku soli w wodach kopalnianych, do których między innymi należy wypełnianie pustek za pomocą mieszanin wód dołowych i popiołów lotnych.

### 1. Bilans wód kopalnianych z kopalń GZW

Aktualnie na obszarze GZW wydobyć węgla kamiennego prowadzi około 35 kopalń (dokładna liczba ulega stosunkowo szybkim zmianom spowodowanym procesami restrukturyzacyjnymi), 16 kopalń zostało zlikwidowanych ostatecznie bez konieczności prowadzenia odwadniania, a w 15 prowadzone jest ciągłe odwadnianie z uwagi na ochronę czynnych kopalń przed zagrożeniem wodnym (Bondaruk i in. 2015). Dane zebrane w tabeli 1 z lat 2008, 2013 i 2015 pokazują, że przy zmniejszonym wydobyciu węgla kamiennego z kopalń GZW o około 13% w latach 2008–2015, zrzut wód zasolonych pod względem zarówno objętości jak i ilości zawartych w nich soli nie uległ istotnym zmianom. Ogólna ilość wprowadzonych do środowiska wód zasolonych wyniosła w roku 2015 około 119 mln m<sup>3</sup> i była nawet większa w porównaniu do roku 2013 o 1,7 mln m<sup>3</sup> przy wielkości wydobycia mniejszym o 5,8%. W tabeli 1 pominięto zrzut wód pitnych ((SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> + Cl<sup>-</sup>) < 0,6 g/l) oraz przemysłowych, których mineralizacja wynosi od 1 do 8,2 g/l. Ilość soli w wodach kopalnianych w przeliczeniu na jednostkę wydobytego węgla wzrosła w badanym czasie z 15,3 na 17,9 kg/Mg.

Dopływ wód pompowanych przez Centralny Zakład Odwadniania Kopalń z obszarów kopalń zlikwidowanych od roku 2013 jest w przybliżeniu stały i wynosi 71 mln m<sup>3</sup> rocznie, z czego 53 mln m<sup>3</sup> stanowią wody zasolone (Informacja... 2015). Oznacza to, że tylko 55% objętości wód kopalnianych wypompowywanych z górotworu na powierzchnię ziemi związana jest z bieżącą działalnością górniczą.

TABELA 1. Zrzut wód zasolonych i soli w stosunku do wydobycia węgla kamiennego w GZW w latach 2008–2015

TABLE 1. Load of saline waters and salt in relation to coal output in years 2008–2015

Rok	Wydobycie węgla kamiennego [mln Mg/rok]	Zrzut wód zasolonych [tys. m <sup>3</sup> /d]	Ładunek soli [Mg/d]	Średnie stężenie soli w wodach kopalnianych [g/l]	Obciążenie wydobycia ładunkiem soli [kg/Mg]
2008	83,6	342,2	3 562	10,22	15,27
2013	77,0	321,4	3 497	11,08	16,88
2015	72,5	325,7	3 550	10,90	17,88

Źródło: Ochrona... 2009; Ochrona...2014, Ochrona... 2016.

Ilości chlorków i siarczanów zawartych w wodach kopalnianych zależą od położenia danej kopalni na mapie hydrogeologicznej GZW. Kopalnie położone w jego północnej części generują znacznie mniejszą ilość wód kopalnianych i o mniejszym zasoleniu niż znacznie mniej liczne kopalnie położone w części południowej. Z drugiej jednak strony północna strefa GZW jest znacznie bardziej zurbanizowana i gęściej zaludniona, a wody kopalniane wprowadzane są do małych cieków powierzchniowych co powoduje, że oddziaływanie wód dołowych na środowisko i jakość życia mieszkańców jest bardziej odczuwalna niż w części południowej (Molenda 2014; Zgórska i in. 2016; Gruszczyński i in. 2014).

Na jakość wód w głównych rzekach przepływających przez GZW ma także wpływ zrzut wód zasolonych z kopalń położonych na jego części należącej do Czech USCB (Harat i in. 2015). Wody Odry na granicy Polski i Czech już zawierają do 350 mg/l chlorków i 200 mg/l siarczanów, co stwarza dodatkowe utrudnienie dla ochrony środowiska w zlewni Odry, jednakże większość kopalń węgla kamiennego znajduje się w zlewni Wisły (Policht-Latawiec 2014).

Z uwagi na hydrogeochemiczne uwarunkowania budowy geologicznej GZW, solanki zaczynają występować na głębokości od 450 do 850 m (Rózkowski i Rózkowski 2015). Tymczasem średnia głębokość wydobywania wzrosła w miarę upływu lat od 300 m w roku 1957, przez 650 m w 1989 r. do około 30 m w 2015 r. Czynniki te w połączeniu z bardzo słabą tendencją spadkową całkowitej ilości wód kopalnianych są odpowiedzialne za rosnący udział soli przypadający na tonę wydobytego węgla.

## **2. Odsalanie i utylizacja wód słonych w świetle doświadczeń zagranicznych**

W celu ograniczania ładunku soli wprowadzanego do środowiska z kopalń węgla kamiennego najczęściej wykorzystywane są technologie odsalania wody, których szybki rozwój jest związany z koniecznością odsalania wody morskiej dla pokrycia zapotrzebowania na wodę pitną w wielu regionach świata. W największym zakresie stosowane są procesy termiczne, do których należy wielostopniowa destylacja równowagowa, odparowanie wielokrotne i destylacja przez sprężenie pary oraz metody membranowe, głównie elektrodializa i odwrócona osmoza (Bobik i Labus 2014; Miller 2003). W ostatnich latach rozwija się technologia osmozy wymuszonej, która pod względem zużycia energii staje się konkurencyjna w stosunku do osmozy odwróconej (Childress 2011).

Trudnym do rozwiązania problemem jest utylizacja stężonych solanek pozostałych po procesach odsalania w systemach membranowych i destylacyjnych. Wybór konkretnego rozwiązania zależy od ilości powstających solanek, warunków ekonomicznych i wymogów ochrony środowiska. Stosuje się między innymi zatłaczanie solanek do głębokich warstw górotworu, deponowanie solanek w zbiornikach i krystalicznej soli w składowiskach powierzchniowych oraz zrzut solanek do cieków i zbiorników wodnych (Xu i in. 2013).

W raporcie z analizy różnych metod odsalania wód dołowych z kopalń węgla kamiennego (Gunther i Mey 2006) jako optymalny sposób rozwiązania problemu słonych wód o dopływie wynoszącym około 20 tys. m<sup>3</sup>/d wskazano odsalanie za pomocą odwróconej osmozy połączonej z lokowaniem solanek w zrobach kopalń i ewentualnym zrzutem ich nadmiaru

do cieków powierzchniowych. W rezultacie 97% wód kopalnianych zostaje oczyszczonych do standardów wody pitnej, co przekłada się także na korzyści finansowe.

Średnie koszty odsalania wód słonych w instalacjach zlokalizowanych w różnych częściach świata wynoszą od około 0,5 do 1,5 USD/m<sup>3</sup>. Najczęściej stosowaną technologią jest wielostopniowa destylacja równowagowa, za pomocą której wytwarza się 55,3% wody pitnej pozyskiwanej z wód słonych (Miller 2003).

Ubočnym produktem wszystkich metod odsalania wody są solanki. W skali światowej istnieje wyraźny trend w kierunku krystalizacji soli. Z uwagi na nadmiar wytwarzanej soli w stosunku do możliwości jej zagospodarowania występuje konieczność jej składowania. Składowanie soli stwarza znaczne zagrożenia dla środowiska, jednak jako główne ograniczenie dla krystalizacji soli postrzegane jest znaczne zużycie energii w tym procesie, wynoszące około 20–25 kWh/m<sup>3</sup>. Oprócz kosztu energii bierze się także pod uwagę ślad węglowy towarzyszący produkcji energii elektrycznej ze spalania węgla kamiennego. Szacuje się, że przy krystalizacji soli z solanek powstających w procesie wielostopniowej destylacji równowagowej, emisja CO<sub>2</sub> wynosi około 19–23 kg na metr sześcienny odparowywanej solanki (Tong i Elimeneh 2016).

Kopalnie węgla kamiennego prowadzące eksploatację w południowej, czeskiej części GZW prowadzą w chwili obecnej włączanie zrzut wód kopalnianych do rzek znajdujących się w zlewni Odry. W 2011r. łączny dopływ wód z kopalń węgla kamiennego w Ostrawsko-Karwińskim Zagłębiu Węglowym wyniósł 12 mln m<sup>3</sup> przy zawartości chlorków sięgającej 103 mg/l (Heviankova i in. 2015).

### 3. Metody ograniczania koncentracji i zagospodarowania wód dołowych z kopalń GZW

Ograniczanie koncentracji soli w wodach kopalnianych zrzucanych do wód powierzchniowych odbywa się na zasadzie retencji wód zasolonych i ich kontrolowanego zrzutu. Kolektor Olza odbiera wody słone o średnim zasoleniu 42 g/l z ośmiu kopalń w południowej części GZW i zapewnia możliwość zrzutu 30 tys. m<sup>3</sup>/d wody w sposób umożliwiający utrzymanie stężenia soli w Odrze poniżej 1 g/l (Harat i in. 2015). Drugi system kontrolowanego zrzutu wód zasolonych służy do odbioru wód zasolonych i solanek z kopalni Piast i Ziemowit z wykorzystaniem zrobów zlikwidowanej kopalni Czeczott jako zbiornika retencyjnego o objętości 0,5 mln m<sup>3</sup>. Kopalnie te są odpowiedzialne za 2/3 całkowitej ilości soli wprowadzanych do cieków powierzchniowych z kopalń GZW (Gruszczyńska i in. 2014). Aktualnie stosowane metody zagospodarowania wód zasolonych polegają na (Smoliński 2006):

- odsalaniu wód dołowych i produkcji soli,
- wykorzystaniu wód kopalnianych w podziemnych technologiach górniczych,
- innych kierunkach zastosowania, między innymi w procesach przerobczych, do zraszania, produkcji wodorotlenku sodu, chloru gazowanego i innych.

Poza nielicznymi instalacjami o niewielkiej wydajności, odsalanie wód dołowych na masową skalę odbywa się w Zakładzie Odsalania Dębieńsko, który w ciągu roku

produkuje około 75 tys. ton soli (Andrusikiewicz i Tora 2016), co stanowi 6% całkowitej ilości ładunku soli zawartego w wypompowywanych rocznie wodach dołowych z kopalń GZW. Szersze zastosowanie odsalania wód dołowych ograniczają wysokie koszty procesu, rzędu 1 MWh/Mg wytworzonej soli (Bobik i Labus 2014) oraz bariera popytu zaspokajanego przez kopalnie soli (Gruszczyńska i in. 2014).

Wykorzystanie wód zasolonych w procesach przeróbczych, produkcji NaOH itp. ma znikome znaczenia wobec skali ilości wód dołowych i zawartego w nich ładunku soli.

Duże nadzieje wiąże się z technologią głębokiego zatłaczania wód słonych do chłonnych warstw górotworu, jednak skuteczność tej metody jest na chwilę obecną jeszcze nie w pełni potwierdzona naukowo. Jak wykazują wstępne analizy może ona także okazać się zbyt kosztowna w realizacji (Gromiec i in. 2014; Gruszczyńska i in. 2014).

W chwili obecnej jedyną formą zagospodarowania większych ilości wód zasolonych powstających w kopalniach węgla kamiennego jest ich zastosowanie jako składnika mieszanin popiołów, względnie także innych odpadów przemysłowych, środków wiążących i wody do wypełniania pustek podziemnych.

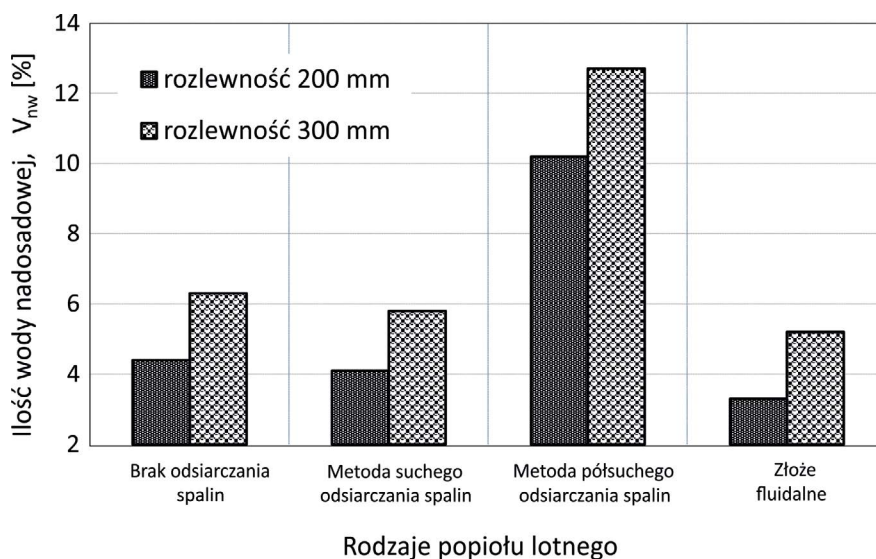
#### **4. Właściwości fizyczne mieszanin sporządzanych z udziałem wód zasolonych**

Spośród licznych właściwości fizycznych i chemicznych, jakie powinny spełniać materiały do sporządzania mieszanin do wypełniania pustek podziemnych na pierwszy plan wysuwają się: ich dostępność w ilościach adekwatnych do potrzeb górnictwa, spełnianie kryteriów wynikających z prawa ochrony środowiska, zdolność do wiązania wody i zestalania oraz możliwość hydraulicznego przepływu ich mieszanin w rurociągach i wypełnianych pustkach.

Jeśli nadrzędnym celem prac jest ulokowanie w pustkach podziemnych maksymalnej ilości wód słonych, parametry mieszaniny dobiera się pod kątem minimalnej ilości wody nadosadowej, z uwzględnieniem wodochłonności ośrodka skalnego.

Właściwości fizyczne mieszanin odpadów przemysłowych, środków wiążących i wody przedstawione na rysunkach 1–3, są zdefiniowane oraz mierzone według normy PN-G-11011:1996 (Plewa i Mysiek 2001).

Na rysunku 1 przedstawiono zależność względnej ilości wody nadosadowej od rodzaju popiołu i rozlewności mieszaniny. Rozlewność mieszaniny odzwierciedla wpływ koncentracji części stałych w mieszaninie na jej parametry przepływowe. Proporcje masowe części stałych do wody mieszanin biorących udział w badaniach, których wyniki demonstruje wykres na rysunku 1 wynosiły od 1 : 55 do 1 : 1,07 dla mieszanin o rozlewności 200 mm oraz od 1 : 0,76 do 1 : 1,40 dla mieszanin o rozlewności 300 mm, w zależności od rodzaju popiołu. Przedstawione na wykresie wyniki wskazują, że z punktu widzenia maksymalizacji udziału wody w mieszaninie, jedynie popioły z półsuchego odsiarczania spalin nie nadają się do zastosowania, a w przypadku stosowania pozostałych rodzajów popiołów ilość wody nadosadowej wynosi od około 3,7 do 6,2%, co można uznać za wartości zadowalające z punktu widzenia technologii wypełniania pustek podziemnych.

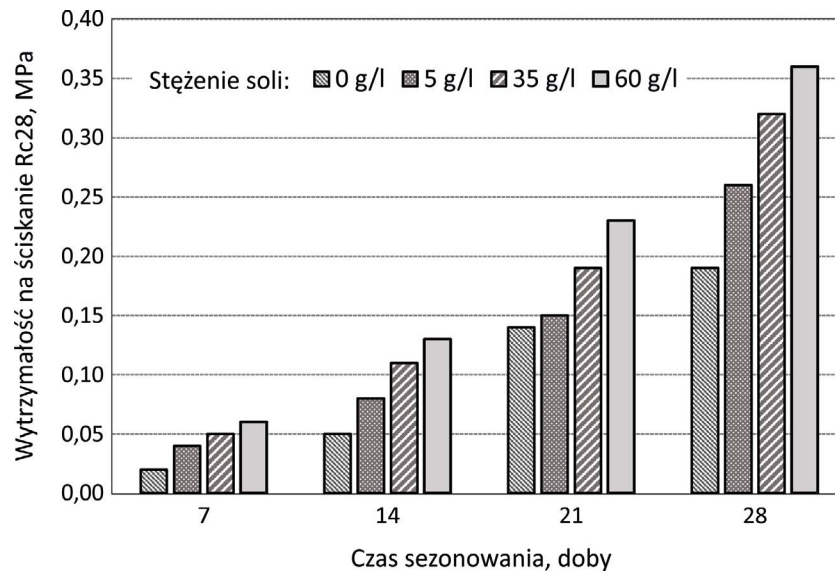


Rys. 1. Względna zawartość wody nadosadowej w mieszaninach popiołowo-wodnych wytworzonych z udziałem popiołów z różnych typów kotłów energetycznych przy rozlewności mieszanki 200 mm i 300 mm (Plewa i Mysiek 2001)

Fig. 1. Relative excessive water content in fly ash – water slurries made with ash from different types of combustion vessels, by the spread of 200 mm and 300 mm

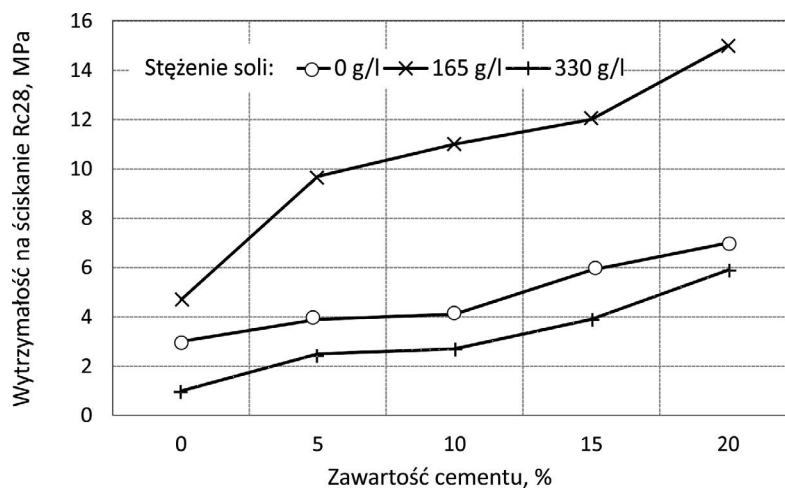
Zawartość soli w wodzie użytej do sporządzania mieszanin wiążących na bazie popiołów i środków wiążących (cementu) wpływa korzystnie na ich wytrzymałość mechaniczną po zestaleniu, co ilustruje wykres na rysunku 2 przedstawiający przykładową zależność wytrzymałości na ściskanie wybranej mieszanki od koncentracji soli w wodzie po 28 dobach sezonowania. Zastosowanie wody wysoko zasolonej dodatkowo zmniejsza ilość wody nadosadowej, co pozwala na zwiększenie procentowego udziału wody w mieszaninie bez pozostawiania niezwiązanej wody w zrobach. Należy jednak mieć na uwadze, że zawartość soli w mieszaninie popiołowo-wodnej może mieć negatywny wpływ na inne jej właściwości fizyczne, jak. np. wydłużony czas rozpoczęcia i zakończenia wiązania czy wzrost lepkości.

Mieszaniny przeznaczone do zastosowań, w których wymagana jest duża wytrzymałość, takich jak budowa korków podsadzkowych, podsadzka zestalana czy tworzenie barier izolujących, przeważnie zawierają w swoim składzie dodatek środków wiążących i mogą być sporządzane z użyciem wód zasolonych i solanek. Zawartość soli umożliwia uzyskanie większej wytrzymałości zestalanej mieszanki, co ilustruje wykres na rysunku 3. Wykres przedstawia zależność wytrzymałości na ściskanie po 28 dobach sezonowania mieszanki sporządzonej w proporcji masowej części stałych do wody 1,1 : 1,0 od udziału cementu w materiale suchym od 0 do 20% i stężenia solanki (165 g/l i 330 g/l). Wysoka zawartość soli umożliwia uzyskanie mieszanki o znacznie większej wytrzymałości niż przypadku zastosowania wody słodkiej lub solanki o mniejszym stężeniu, przy znacznie mniejszym do-



Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie w zależności od czasu sezonowania mieszaniny i zasolenia wody; mieszanina o proporcji części stałych do wody 1 : 1, popiół z kotła fluidalnego (Palarski i in. 2011; Palarski 2013)

Fig. 2. Compressive strength of fly ash-water slurries in relation to cure time and salinity of water, solids to water ratio by mass 1:1, fly ash from fluidal bed vessels



Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie mieszanin popiołu lotnego, cementu i solanki po 28 dniach sezonowania w zależności od stężenia solanki i zawartości cementu w mieszaninie (objaśnienia w tekście) (Palarski i in. 2011; Palarski 2013)

Fig. 3. Compressive strength of fly ash – cement – brine slurries after a 28 day cure time in relation to the concentration of brine and percentage of cement (see text for details)



datku cementu. Należy dodać, że wzrost wytrzymałości na ściskanie postępuje wraz z upływem czasu sezonowania wykraczającym znacznie poza normowy okres 28 dni.

### **5. Ocena możliwości zagospodarowania słonych wód kopalnianych przy wypełnianiu pustek podziemnych mieszaninami popiołowo-wodnymi**

W sytuacji, gdy kopalnie stosują niemal wyłącznie systemy eksploatacji z zawalem stropu większość pustek podziemnych stanowią puste przestrzenie w gruzowisku zawałowym.

Podstawowym czynnikiem ograniczającym stosowanie mieszanin popiołowo-wodnych do doszczelniania zrobów i likwidacji wyrobisk górniczych jest dostępność popiołów. Górnictwo węgla kamiennego w ciągu ostatniej dekady zagospodarowywało między 2,35 a 2,60 milionów ton popiołów rocznie, co stanowiło nieco ponad połowę popiołów lotnych powstających w elektrowniach na węgiel kamienny (Palarski i in. 2011).

W około 45% ścian w polskich kopalniach stosowane jest doszczelnianie zrobów zawałowych, przy czym w instalacje umożliwiające ich dostarczanie wyposażonych jest 70 ścian (Palarski 2013).

Analiza statystyczna doszczelniania zrobów zawałowych 68 ścian wykazała, że współczynnik wypełnienia zrobów (rozumiany jako stosunek objętości mieszaniny wtłoczonej do pierwotnej objętości pustek), dla ścian o największej chłonności wynosi średnio około 0,5 (Strozik 2015). Dla większości ścian biorących udział w analizie, stopień doszczelnienia zrobów obliczany dla objętości pustki możliwej do wypełnienia (50% pustki pierwotnej) wynosił w granicach od 0,033 do 0,62. Oznacza to, że w ścianach, w których przewidywano stosowanie doszczelniania zrobów zawałowych, było ono prowadzone w ograniczonym, incydentalnym zakresie, najczęściej w związku z wystąpieniem objawów wzrostu zagrożenia pożarowego. Jednocześnie analizowane dane wskazują na możliwość uzyskania stosunkowo wysokiego stopnia wypełnienia zrobów zawałowych, wynoszącego nawet 85% wytworzonej pustki pierwotnej.

Przy rocznym wydobyciu węgla kamiennego wynoszącym około 70 mln ton, pierwotną objętość powstających pustek można w przybliżeniu oszacować na około 50 mln m<sup>3</sup>, co przy wartości współczynnika wykorzystania pustki pierwotnej równej 0,5 pozostawia 25 mln m<sup>3</sup> pustek podziemnych potencjalnie możliwych do wypełnienia mieszaninami popiołowo-wodnymi. Następnie uwzględniając fakt, że doszczelnianie zrobów zawałowych jest możliwe w 70% ścian (co można przełożyć na 70% objętości powstających w ciągu roku pustek podziemnych), kubatura pustek mogących realnie zostać poddana doszczelnieniu wynosi 17,7 mln m<sup>3</sup>. Przestrzeń tę można wykorzystać do ulokowania w nich wód zasolonych, w tym także solanek, w zależności od rodzaju wód kopalnianych wypompowywanych na powierzchnię przez poszczególne kopalnie. Oprócz mieszanin popiołowo-wodnych wytwarzanych z użyciem wód słonych można także rozpatrywać zastosowanie mieszanin cementowo-wodnych z dodatkiem innych rodzajów odpadów (np. gipsów poreakcyjnych) oraz zatłaczanie samych wód słonych do stref odizolowanych od czynnych wyrobisk górniczych korkami i barierami wykonywanymi z mieszanin wiążących o odpowiednio wysokiej odporności na wtórne oddziaływanie wód słonych. Ze względu na znaczną liczbę trudnych

do oceny czynników ograniczających, oszacowanie objętości wód słonych, realnie możliwej do zagospodarowania w ramach wyżej przedstawionej metody wymagałoby przeprowadzenie szeregu odrębnych studiów i analiz.

W ramach bardzo ogólnych założeń, hipotetyczny bilans wód słonych wprowadzonych do zrobów można przedstawić następująco:

- (1,0–1,5) mln m<sup>3</sup> do doszczelniania zrobów zawałowych za pomocą mieszanin popiołowo-wodnych,
- (0,5–1,0) mln m<sup>3</sup> do tworzenia korków, pasów podsadzkowych i barier izolujących za pomocą mieszanin z dodatkiem środków wiążących,
- (2–4) mln m<sup>3</sup> w formie gromadzenia wód w odizolowanych podziemnych zbiornikach wodnych.

Ostatecznie objętość wód zasolonych wykorzystywana rocznie w technologiach górniczych mogłaby wynosić od około 3,5 mln m<sup>3</sup> w wariacie pesymistycznym do 6,5 mln m<sup>3</sup> w wariacie optymistycznym. W stosunku do całkowitego rocznego ładunku soli zrzucającego do rzek są to ilości nadal niewielkie, wynoszące odpowiednio od 2,9 do 5,5%, tj. od około 38 do 71 tys. ton soli rocznie. Należy jednak zaznaczyć, że przy tak skalkulowanym poziomie wykorzystania dostępnych pustek podziemnych pozostaje jeszcze od 11,2 do 14,2 mln m<sup>3</sup> przestrzeni do wykorzystania w ramach rozszerzenia zakresu wymienionych metod zagospodarowania wód słonych, względnie wprowadzenia innych, innowacyjnych rozwiązań, niezależnych od dostępności popiołów lotnych czy innych środków wiążących.

### Podsumowanie

Sole zawarte w wodach kopalnianych stanowią jeden z głównych czynników oddziaływania górnośląskich kopalń węgla kamiennego na środowisko.

W chwili obecnej problem wprowadzania znacznych ładunków soli do środowiska naturalnego jest rozwiązywany przede wszystkim za pomocą metody hydrologicznej, polegającej na kontrolowanym dopływie wód zasolonych do cieków powierzchniowych w sposób zapewniający nieprzekraczanie stężeń dopuszczalnych przez przepisy ochrony środowiska. W przypadku kopalń nie mających możliwości retencji wód słonych oraz wód wysoko zasolonych korzystne jest ich odsalanie lub zagospodarowanie wyłączające zrzut soli do cieków powierzchniowych. Jedną z bardziej efektywnych i możliwych do zastosowania w znaczącej w skali metod ograniczania ładunku soli wprowadzanych do środowiska jest wypełnianie pustek podziemnych. Oprócz zagospodarowania wód zasolonych i solanek, zapewnia ono także korzyści w zakresie poprawy warunków prowadzenia robót górniczych, nie wymaga ponoszenia dużych nakładów inwestycyjnych i przynosi wymierne korzyści w postaci redukcji kosztów opłat za korzystanie ze środowiska.

Jak wykazano, technologia wypełniania pustek podziemnych za pomocą mieszanin popiołów lotnych i wody posiada znaczny potencjał w zakresie zagospodarowania wód słonych, który pozostaje w znacznej mierze niewykorzystany.

## Literatura

- Andrusikiewicz, W i Tora, B. 2016. Możliwość odzyskiwania odpadów z produkcji soli kamiennej. *Inżynieria mineralna* R. 17, nr 1, s. 135–142.
- Bobik, M. i Labus, K. 2014. Metody odsalania wód kopalnianych w praktyce przemysłowej – stan obecny technologii i nowe wyzwania. *Przegląd Górniczy* 4, s. 99–105.
- Bondaruk i in. 2015 – Bondaruk, J., Janson, E., Wysocka, M. i Chałupnik, S. 2015. Identification of Hazards for Water Environment in The Upper Silesian Coal Basin Caused by The Discharge of Salt Mine Water Containing Particularly Harmful Substances and Radionuclides. *Journal of Sustainable Mining* 14, s. 179–187.
- Childress, A.E. 2011. Latest Technologies in Water Desalination. First Arab-American Frontiers. Symposium, Kuwait Institute for Scientific Research and U.S. National Academies, October 17–19.2011. [Online] Dostępne w: [http://sites.nationalacademies.org/cs/groups/pgasite/documents/webpage/pga\\_06641.pdf](http://sites.nationalacademies.org/cs/groups/pgasite/documents/webpage/pga_06641.pdf) [Dostęp: 1.08.2017].
- Gromiec i in. 2014 – Gromiec, M., Sadurski, A., Zalewski, M. i Rowiński, P. 2014. Zagrożenia związane z jakością wody. *Nauka* 1, s. 99–122.
- Gruszczyński i in. 2014 – Gruszczyński, S., Motyka, J., Mikołajczyk, J. i Kasprzak, A. 2014. Potrzeba wdrożenia zintegrowanego systemu monitorowania i dozowania wód kopalnianych do rzeki Wisły. *Przegląd Górniczy* 8, s. 142–149.
- Gunther, P. i Mey, W. 2006. Selection of Mine Water Treatment Technologies for the Emalahleni (Witbank) Water Reclamation Project, Anglo Coal, WISA. [Online] Dostępne w: [www.ewisa.co.za/literature/files/122%20Gunther.pdf](http://www.ewisa.co.za/literature/files/122%20Gunther.pdf) [Dostęp: 18.08.2017].
- Harat i in. 2015 – Harat, J., Rapantova, N., Grmela, A. i Adamczyk, Z. 2015. Impact Of Mining Activities in The Upper Silesian Coal Basin on Surface Water and Possibilities of its Reduction. *Journal of Ecological Engineering* 16(3), s. 61–69.
- Heviankova i in. 2015 – Heviankova, S., Klimko, T., Lusk, K., Vsetecka, M. i Marschalko, M. 2015. Mine Waters from Ore and Coal Mining in Czech Republic. *Inżynieria Mineralna – Journal of Polish Mineral Engineering Society* 1, s. 97–102.
- Informacja o wynikach kontroli 2015. Odwadnianie nieczynnych zakładów górniczych prowadzone w związku z likwidacjami kopalń. Najwyższa Izba Kontroli. [Online] Dostępne w: <https://www.nik.gov.pl/plik/id,9886,vp,12177.pdf> [Dostęp: 2.03.2017].
- Krzysztołik i in. 2011 – Krzysztołik, R., Runge, J., Spórna, T. 2011. Delimitacja regionu Górnśląsko-Zagłębiowskiej Metropolii „Silesia”. Uniwersytet Śląski, Sosnowiec.
- Miller, J.E. 2003. Review of Water Resources and Desalination Technologies [online], Sand National Laboratories. [Online] Dostępne w: [https://www.researchgate.net/publication/255654844\\_Review\\_of\\_Water\\_Resources\\_and\\_Desalination\\_Technologies](https://www.researchgate.net/publication/255654844_Review_of_Water_Resources_and_Desalination_Technologies) [Dostęp: 18.08.2017].
- Molenda, T. 2014. Impact of Saline Mine Water: Development of a Meromictic Reservoir in Poland. *Mine Water Environ* 3, s. 327–334.
- Ochrona środowiska Environment 2009. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny, s. 163–164.
- Ochrona środowiska Environment 2014. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny, s. 168–169.
- Ochrona środowiska Environment 2016. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny, s. 163–164.
- Palarski, J. 2013. Environmentally Friendly Mining Technologies in Polish Coal Mining Industries [W:] Proceedings of the 23rd World Mining Congress & Expo, Montreal, 11-15 August [online]. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. [Online] Dostępne w: <http://www.cim.org/en/Publications-and-Technical-Resources/Publications/Proceedings/2013/8/23rd-World-Mining-Congress/WMCO-2013-08-327> [Dostęp: 5.03.2017].
- Palarski i in. 2011 – Palarski, J., Plewa, F. i Stozik, G. 2011. Backfill and Grouting Technology in Underground Coal Mining Using Saline Mine Water [W:] H. Ilgner, ed. Proceedings of The 10th International Symposium on Mining with Backfill, Cape Town, 21–25 March. *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy* s. 15–20.
- Plewa, F. i Mysiek, Z. 2001. *Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w technologiach górniczych*. Gliwice: Wyd. PŚ.
- Plewa i in. 2013 – Plewa, F., Popczyk, M. i Pierzyna, P. 2013. Możliwości wykorzystania wybranych odpadów energetycznych z udziałem środka wiążącego do podszkibi zastalanej w podziemiu kopalń. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 16, z. 4, s. 257–270.

- Policht-Latawiec, A. 2014. The Effect of Saline Mine Waters Discharge from Hard Coal Mine on The Ecological State of The Vistula River. *Acta Horticulturae et Regiotecturae* 2, s. 4–47.
- Różkowski, A. i Różkowski, J. 2015. Impact of Saline Waters on River Water Quality in the Upper Silesian Coal Basin. *Proceedings of The International Mine Water Association*, s. 811–821.
- Smoliński, A. 2006. Gospodarka zasolonymi wodami kopalnianymi. *Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko* 1, s. 5–15.
- Strozik, G. 2015. *Wypełnianie pustek podziemnych w górotworze naruszonym eksploatacją górnictwą*. Gliwice: Wyd. PŚ.
- Tong, T. i Elimeleh, M. 2016. The Global Rise of Zero Liquid Discharge for Waste Water Management: Drivers, Technologies, and Future Directions. *Environmental Science & Technologies* 50, s. 6846–6855.
- Xu i in. 2013 – Xu, P., Cath, T.Y., Robertson, A.P. i Reinhard, M. 2013. Critical Review of Desalination Concentrate Management, Treatment and Beneficial Use. *Environmental Engineering Science* 30(8), s. 502–514.
- Zgórska i in. 2016 – Zgórska, A., Trząski, L. i Wiesner, M. 2016. Environmental Risk Caused by High Salinity Mine Water Discharge from Active And Closed Mines Located in The Upper Silesia Coal Basin (Poland) [W:] C. Drebensted, M. Paul, editors. *Proceedings of The International Mine Water Association: Mining Meets Water – Conflicts and Solutions*, s. 85–92.