



Barbara NAMYSŁOWSKA-WILCZYŃSKA\*, Artur WILCZYŃSKI\*\*, Henryk WOJCIECHOWSKI\*\*\*

## **Możliwości wykorzystania zasobów wodnych i energetycznych w podziemnych kopalniach surowców mineralnych**

Streszczenie: W kopalniach, oprócz tradycyjnie wydobywanych surowców mineralnych, występują jeszcze inne zasoby, tj. wodne i energetyczne, które w ogóle nie są wykorzystywane, lub też mają praktyczne zastosowanie w niewielkim stopniu. Pozyskiwanie wymienionych zasobów mogłoby poprawić efektywność ekonomiczną kopalń czynnych lub przedłużyłoby okres aktywności kopalń zamykanych. W artykule omówiono potencjalne możliwości wykorzystania zasobów energetycznych, pozostających poza sferą podstawowej działalności górniczej, związanej z wydobywaniem złóż węgla kamiennego, ale także z eksploatacją różnorodnych surowców użytecznych. Podjęto również aspekt szerszego zagospodarowania kopalnianych wód podziemnych. Nawiązano do skutków likwidacji kopalń węglowych, na przykładzie Wałbrzyskiego Zagłębia Węglowego. Podkreślono ważność i aktualność podjętej problematyki.

Przedstawione propozycje mogą stanowić wkład w urzeczywistnienie zasady zrównoważonego rozwoju, poprzez koncentrowanie się na trzech jego wymiarach – ekonomicznym, ekologicznym i społecznym. Jednocześnie byłby to sposób na zrównoważone zarządzanie środowiskiem wodnym na obszarach antropopresji, na terenach przemysłowych i post-przemysłowych, dla celów pozyskiwania wody, poprawy jej jakości oraz skorzystania z lokalnych źródeł energii, takich jak: ciepło i energia związana z potencjałem wodnym. Ponadto wskazano na możliwość magazynowania energii, co jest niezwykle ważne w dobie intensywnego rozwoju niekonwencjonalnych źródeł energii elektrycznej (farm wiatrowych, źródeł solarnych, elektrowni wodnych etc.), określanych wręcz jako źródła chimeryczne, gdyż ich cechą jest nieregularna praca.

Słowa kluczowe: kopalnie, surowce mineralne, zasoby wodne, zasoby energetyczne

## **Possibilities of the utilization of water and energy in underground mineral resources mines**

Abstract: In addition to the traditionally mined mineral resources, water resources and energy are still present in the mines. Those resources are not used at all, or are intended for practical use, but to a lesser degree.

\* Prof. dr hab., Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wroclawska, Wroclaw;  
e-mail: Barbara.Namyslowska-Wilczynska@pwr.edu.pl

\*\* Prof. dr hab. inż., \*\*\* Dr inż., Wydział Elektryczny, Politechnika Wroclawska, Wroclaw;  
e-mail: Artur.Wilczynski@pwr.edu.pl; Henryk.Wojciechowski@pwr.edu.pl

The acquisition of these resources could improve the economic efficiency of active mines or prolong the period of activity of the closed mines. The article discusses the possibilities of using energy resources which are outside the sphere of the core business of mining and have taken a broader aspect of the development of underground water from mines. The proposals constitute a contribution to the implementation of the principles of sustainable development by focusing on three of its dimensions - economic, environmental and social. At the same time it would be a way for the sustainable management of the water environment in the areas of anthropopressure, in industrial and post-industrial areas, for the purpose of collecting water, improving water quality and the use of local energy sources, such as heat and energy associated with potential water. The possibility of energy storage, which is extremely important in the era of an intensive development of unconventional sources of energy (wind farms, solar sources, hydroelectric, etc.), the characteristics of which are irregular, referred to simply as chimeric sources, also exists.

Keywords: mining, mineral resources, water resources, energy resources

## Wprowadzenie

Problemy pojawiające się w polskim górnictwie węglowym skłaniają do podjęcia prac, które mogłyby w pewnym stopniu poprawić sytuację ekonomiczną w tej branży. W kopalniach, oprócz wydobywanych tradycyjnie surowców mineralnych (np. węgla kamiennych, węgla brunatnych, rud miedzi, cynku, ołowiu i innych kopalin użytecznych), występują jeszcze inne zasoby, niewykorzystywane bądź mające praktyczne zastosowanie, ale w bardzo niewielkim stopniu. Za takie bogactwa należałoby uznać zasoby energetyczne oraz wody kopalniane. Pozyskiwanie tych zasobów mogłoby przyczynić się do poprawy efektywności ekonomicznej kopalń czynnych lub przedłużyłoby okres aktywności kopalń zamykanych. Istnieją realne możliwości wykorzystania kopalnianych zasobów energetycznych, które nie są bezpośrednio związane z wydobyciem złóż surowców mineralnych. Autorzy zwracają także uwagę na aspekt zagospodarowania wód podziemnych, pochodzących z odwodnienia kopalń (tzw. odwodnień górniczych). Takie podejście mieści się w preferencjach polityki Unii Europejskiej, dotyczącej tzw. zasobów krytycznych – energii i wody.

Urzeczywistnienie przedstawionych w pracy propozycji stanowiłoby wkład w realizację zasady zrównoważonego rozwoju, z uwzględnieniem trzech zasadniczych wymiarów – ekonomicznego, ekologicznego i społecznego (Brundtland red. 1991; Malko i in. 2015). Ich realizacja powinna przyczynić się do poprawy efektywności ekonomicznej kopalń działających – czynnych, a w przypadku kopalń już nieczynnych, wykorzystanie występujących w nich zasobów wodnych i energetycznych. Dyskutowane działania wiązałyby się z ochroną środowiska naturalnego, bez podejmowania działań zmierzających do pogarszania jego warunków, z uwagi na fakt, iż występuje możliwość użycia już istniejącej infrastruktury technicznej kopalń (np. instalacji odwadniania), co wpłynęłoby znacząco na obniżenie nakładów inwestycyjnych, dotyczących omawianych przedsięwzięć.

Jest to zatem pewien sposób postępowania, który jest zgodny z zasadą zrównoważonego zarządzania środowiskiem wodnym na obszarach antropopresji, na terenach przemysłowych i post-przemysłowych, dla zrealizowania celów poprawy jakości wód oraz wykorzystania lokalnych źródeł energii. Równocześnie stanowiłoby to przyczynek do spełnienia zasady zrównoważonej energii poprzez oferowanie nowoczesnych usług energetycznych, działań, w zakresie poprawy efektywności energetycznej oraz rozwoju odnawialnych źródeł energii. Pozyskiwana z odnawialnych źródeł energia, mogłaby być magazynowana w nośnikach

energii w kopalniach. W rezultacie podjęcie takich działań w pewnym stopniu przyczyniłoby się do osiągnięcia celów wytyczonych na rok 2030 przez dokument, pt. Zrównoważona Energia dla Wszystkich (Strategia... 2010; Sustainable... 2012).

Za niezwykle obiecującą perspektywę, zarówno z poznawczego, merytorycznego, jak i praktycznego punktu widzenia, Autorzy dostrzegają również możliwość wykorzystania ciepła odzyskiwanego z odwodnienia wyrobisk górniczych oraz magazynowania odpowiednio oczyszczonych wód podziemnych na powierzchni.

### **1. Pokłósie likwidowanych kopalń węglowych na przykładzie Zagłębia Wałbrzyskiego**

Następstwa po zlikwidowanych kopalniach węgla kamiennego zostaną przedstawione na przykładzie Wałbrzyskiego Zagłębia Węglowego (DZW).

W Zagłębiu Wałbrzyskim od 500 lat wykonywane były roboty górnicze. Górnictwo węgla kamiennego na Dolnym Śląsku trwało nieprzerwanie od 1434 do 2000 roku. Podczas wielowiekowej eksploatacji pokładów wybranych zostało około 450 mln ton węgla kamiennego, jednakże ogromne zasoby węgla Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego nie zostały wyczerpane. Dolnośląskie Zagłębie Węglowe, zlokalizowane w rejonie Wałbrzycha i Nowej Rudy, obecnie wyłączono z eksploatacji (Jarosz 1984; Piątek 1995).

Głównym ośrodkiem przemysłowym i usługowym DZW był i jest Wałbrzych. Jest to zagłębie węgla kamiennego, typu limnicznego (jeziornego), usytuowane w środkowych Sudetach, w Polsce i Czechach. Zajmuje powierzchnię wynoszącą, około 530 km<sup>2</sup>; węgiel kamienny (w 83% węgiel koksowy) występuje w 10–26 pokładach, na ogół cienkich, zalegających stromo i pociętych uskokami, występuje w nich duże zagrożenie gazowe.

Z uwagi na bardzo trudne warunki eksploatacji, skomplikowaną budowę tektoniczną, zagrożenia wyrzutami gazów i skał, a ponadto związane z tym wysokie koszty pozyskania węgla w Polsce, zaniechano jego wydobywania. W 1990 r. rząd podjął decyzję o zamknięciu kopalń. Pomimo występowania w DZW dobrej jakości węgla koksujących i antracytowych, zgodnie z założeniami przyjętymi w procesie restrukturyzacji górnictwa węglowego, w latach 1991–2000 prowadzono działania zmierzające do likwidacji kopalń węglowych. Ostatecznie wydobywanie węgla w rejonie Wałbrzycha zakończono w latach 1993–1998. Zasypano wszystkie szyby, z wyjątkiem szybu Pokój Zakładu Górniczego Julia (Doświadczenia... 1999). Oficjalnie 3.03.1999 r. zakończono likwidację części podziemnej wałbrzyskich kopalń i rozpoczęto stopniowe zatapianie górotworu, które w marcu 2002 r. osiągnęło fazę stabilizacji zwierciadła wód podziemnych.

W rejonie Wałbrzycha zostały zlikwidowane kopalnie węgla kamiennego: Julia (1998), Victoria (1994), Thorez (1996), Wałbrzych (1998), a ponadto kopalnia Nowa Ruda (2000).

Rozpoczęto prace nad restrukturyzacją przemysłu Zagłębia (DZW), będącego regionem o silnym ekologicznym zagrożeniu, ze względu na emisję pyłów i gazów, wyrażoną w równoważnej, pod względem szkodliwości ilości dwutlenku siarki SO<sub>2</sub>, wynoszącą 124 Mg/km<sup>2</sup> (średnio w Polsce 25 Mg/km<sup>2</sup>, 1991). Odpady przemysłowe, uciążliwe dla środowiska, nagromadzone na terenach zakładów pracy, szacowane są na 211 tys. Mg/km<sup>2</sup> (średnio w kraju 6 tys. Mg/km<sup>2</sup>, w 1991).

Prowadzono prace ukierunkowane na likwidację wszelkich obiektów, które wykazywały jakikolwiek związek z wałbrzyskim górnictwem, bądź też na zmianę przeznaczenia infrastruktury kopalnianej. Zamknięcie kopalń w Wałbrzychu spowodowało, iż pracę utraciło prawie 13 000 górników, zatem pojawił się problem bezrobocia w regionie, w wyniku czego ludzie opuszczali to miasto.

Podczas procesu zamykania kopalń wiele szybów kopalnianych uległo dewastacji i trwałej likwidacji. Pozostały tylko hałdy, osadniki powodujące nasilenie problemów zagrożenia skażenia środowiska, w tym między innymi zagrożenie wodno-gazowe. Natomiast w miarę upływu lat zaczęły pojawiać się szkody górnicze.

Od czasu likwidacji ostatniej wałbrzyskiej kopalni węgla kamiennego minęło 16 lat, a towarzyszące temu procesowi fakty to duże bezrobocie, narastająca frustracja, wyludnienie miasta, opieszałość w usuwaniu szkód górniczych, w wielu przypadkach dopuszczenie do zniszczenia obiektów (także zabytkowych).

Podejmując decyzję o zlikwidowaniu wałbrzyskich kopalni węglowych, nie wykorzystano doświadczeń zdobytych w trakcie likwidacji kopalń w takich krajach jak: Niemcy, Wielka Brytania, Czechy, czy USA. Prace te były wykonywane, w większości, w sposób nieprzemysłany, bez najmniejszej troski o przyszłość i ponoszone skutki dla miasta, regionu i jego mieszkańców. Wszystkie szyby kopalniane zostały zasypane masą popłuczkową oraz melafirem (magmaową skałą wulkaniczną), bądź likwidowane poprzez zawał, a następnie zalanie, a więc praktycznie są nie do odzyskania.

Aktualnie należy liczyć się z koniecznością rozwiązywania różnorodnych problemów miasta – Wałbrzycha, jak np. zagrożenia pogórnice. Pojawił się też pomysł reaktywacji górnictwa węgla kamiennego, którego pod powierzchnią Wałbrzycha i w jego okolicach nie brakuje. Świadczą o tym wyniki badań geologicznych, wykonywanych w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego stulecia, zdobyte doświadczenia, w związku z budową nowoczesnego szybu Kopernik. Dopuszcza się ewentualność ponownej eksploatacji złóż węgla kamiennego w zlikwidowanym DZW, podkreślając jednak, iż sposób w jaki zostało ono zlikwidowane, utrudnia możliwości powrotu do eksploatacji tych złóż. W przyszłości może być bardziej dostępna technologia zgazowania węgla po ziemi, bądź inne nowe technologie, co pozwoliłoby na użytkowanie istniejących zasobów węgla, w sposób efektywny ekonomicznie i przyjazny dla środowiska naturalnego.

Minęło kilkanaście lat od wydobycia ostatniej tony węgla kamiennego z kopalni w Nowej Rudzie (13 lat) oraz od podobnego wydarzenia w Wałbrzychu (15 lat). W ostatnich latach pojawiła się szansa na reaktywację Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego (Nowa Ruda – rejon Ludwikowic Kłodzkich). Należy tutaj zauważyć, iż znaleźli się inwestorzy (m.in. australijska firma), planujący budowę nowej kopalni węgla kamiennego w okolicy Nowej Rudy. Są tam bowiem bogate złoża najlepszego jakościowo węgla antracytowego. Jest on rzadki i cenny ze względu na małą zawartość siarki oraz fosforu. Taki sam węgiel zalega pod Wałbrzychem i w jego okolicy.

Na tle omówionych wyżej uwarunkowań dotyczących węglowego rejonu wałbrzyskiego zrodził się pomysł zrealizowania projektu badawczego, związanego z obszarem antropopresji, całościowo obejmującego przedstawioną tematykę, tj. zagospodarowania zasobów energetycznych i wodnych w nieczynnych kopalniach węgla kamiennych, jednocześnie z podjęciem stosownych działań, w kierunku zapewnienia odpowiedniej jakości wody podziemnej. Propozycja koncepcji była prezentowana kilkakrotnie w Urzędzie Miejskim w Wałbrzychu

(lata 2014–2015). Została ona również przedstawiona na Międzynarodowej Konferencji w Dusseldorfie, w Niemczech (Namysłowska-Wilczyńska i Wilczyński 2015). Została ona wyróżniona przez Prowadzącego Sesję Energy, który stwierdził, iż Niemcy mają podobne problemy w Nadrenii-Westfalii, związane z nieczynnymi kopalniami węglowymi, a także spotkała się z zainteresowaniem niektórych uczestników z Wielkiej Brytanii i Hiszpanii, deklarujących zamiar współpracy.

W 2016 r. autorzy projektu uznali, iż zaprezentowana propozycja ma charakter uniwersalny i może być przydatna w odniesieniu do kopalń innych surowców mineralnych.

## 2. Zasoby wody i energii możliwe do wykorzystania

Rozważenia prowadzone w artykule dotyczą możliwości perspektyw zarządzania zasobami występującymi w kopalniach złóż surowców mineralnych, w szczególności zasobami wód i energii. Chodzi tutaj o realizowanie zasady zrównoważonego zarządzania środowiskiem wodnym na obszarach antropopresji dla celów komunalnych, poprawy jakości wód oraz wykorzystania odnawialnych i odpadowych zasobów energii (Namysłowska-Wilczyńska i Wilczyński 2015).

Można tutaj wskazać na możliwości podejmowania i realizowania tak istotnych celów, jak:

- poprawa jakości wód powierzchniowych i podziemnych, m. in. opracowanie hydro-geochemicznych modeli geostatystycznych (2D, 3D) przestrzenno-czasowej zmienności różnych parametrów jakościowych wody podziemnej, wody uzdatnionej i wody w sieci wodociągowej, obejmujących modelowanie, szacowanie i prognozowanie parametrów jakościowych; unowocześnienie istniejących stacji uzdatniania i instalowanie nowoczesnych stacji oraz urządzeń uzdatniania, co będzie stanowić wkład do rozwiązania problemów zaopatrzenia w wodę,
- wykorzystanie wody jako źródła ciepła niskotemperaturowego,
- magazynowanie energii wytwarzanej z wykorzystaniem układów technologicznych, wykorzystujących lokalne odnawialne źródła energii,
- magazynowanie oczyszczonych wód powierzchniowych w wyrobiskach górniczych,
- możliwość odzyskiwania metanu ( $\text{CH}_4$ ) z powietrza wentylacyjnego kopalń,
- zapewnienie odpowiedniej retencji wody, jako ochrony przed podtopieniami i lokalnymi powodziąmi, wówczas, gdy kopalnia znajduje się na terenie podgórskim.

Kontynuując ten wątek, należałoby też wspomnieć o konieczności podjęcia działań zmierzających do:

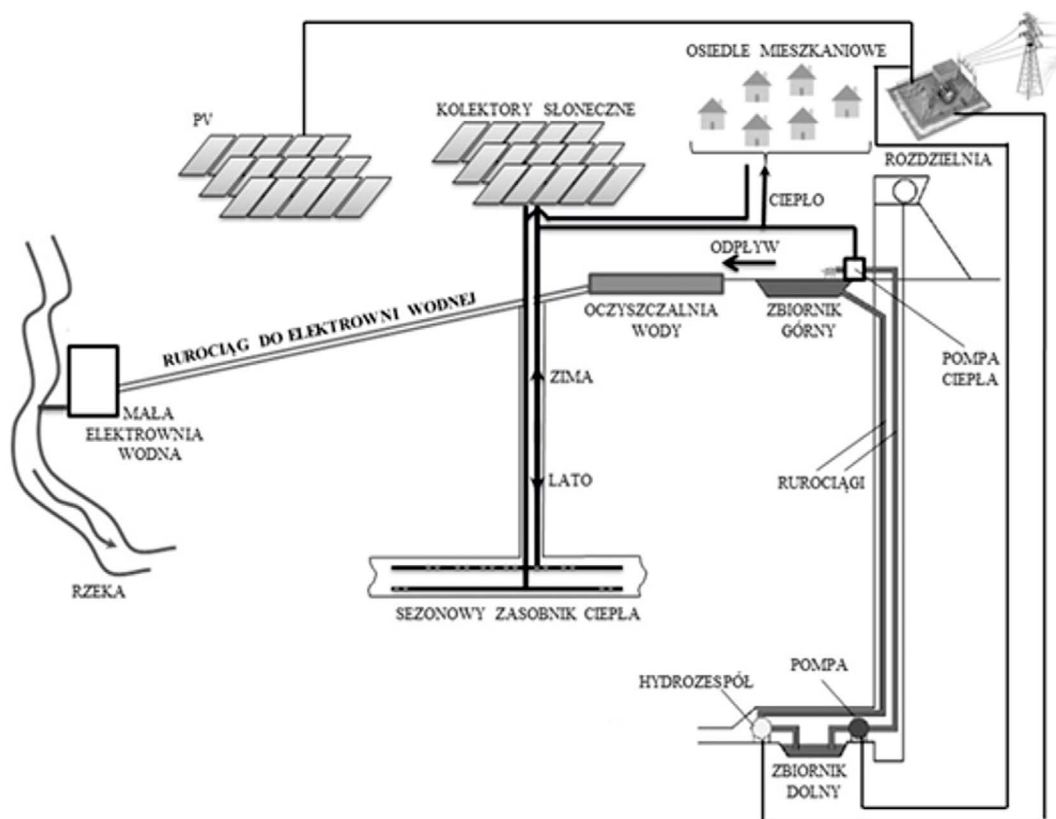
- polepszenia jakości wód płynących w istniejących ciekach wodnych,
- rozpoznania możliwości sterowania cyrkulacją wód kopalnianych dla poprawy ich jakości, pod względem chemicznym i mikrobiologicznym,
- rozpoznania możliwości magazynowania ciepła w wodzie, w wybranych szybach i chodnikach byłych kopalń.

Hydrogeochemiczne modele geostatystyczne (3D) zmienności najróżniejszych parametrów jakościowych wody podziemnej oraz wody uzdatnionej i wody w sieci na obszarze Kłodzka zostały opracowane dla obszaru ujęć wody w Kłodzku (SW część Polski) (Marek 2015; Namysłowska-Wilczyńska 2014, 2015, 2016, 2017). Wyniki tych prac przedstawiono

na konferencjach międzynarodowych w Paryżu (Namysłowska-Wilczyńska 2014) i Wiedniu (Namysłowska-Wilczyńska 2015, 2016) oraz opublikowano w zagranicznych czasopiśmie. Opracowane modele, z zastosowaniem metod statystyki stosowanej (przestrzennej), tj. funkcji wariogramu kierunkowego i kriginu zwyczajnego, pozwoliły na scharakteryzowanie tendencji zmian wartości parametrów jakościowych na obszarze ujęć wody w Kłodzku, ale także zaznaczających się na przestrzeni lat 1977–2012 i 2007–2011. Umożliwiają one analizowanie jakości wody na obszarze sprecyzowanym przez badaczy i użytkowników, z przyjęciem różnego horyzontu czasowego.

Podobną metodykę badawczą, dostosowaną do specyfiki poruszanych zagadnień, z powodzeniem można by zastosować w niniejszej pracy.

Na rysunku 1 przedstawiono różne warianty zagospodarowania zasobów wodnych i energetycznych, spośród których należy wybrać właściwy, wynikający z uwarunkowań techniczno-ekonomicznych poszczególnych kopalń. Zachodzi zatem konieczność przeprowadzenia badań i analiz uwarunkowań występujących w danej kopalni, co mogłoby stanowić podstawę do podjęcia decyzji dotyczącej sposobu efektywnego wykorzystania zasobów wodnych i energetycznych.



Rys. 1. Konwersja energii z odnawialnych źródeł energii, z wykorzystaniem wód kopalnianych

Fig. 1. Conversion of energy from renewable energy sources with the use of mine water

### *Wykorzystanie wody jako źródła ciepła niskotemperaturowego*

Utrzymywanie kopalń czynnych, jak i nie eksploatowanych wymaga usuwania wód i zużytego powietrza z wyrobisk kopalnianych. Wody dołowe, jak i usuwane powietrze posiadają temperaturę, wahającą się w granicach 13–40°C. Wynika stąd, że są one potencjalnymi źródłami niskotemperaturowej energii i mogą stanowić dolne źródło energii dla pomp ciepła. Systemy grzewcze, wykorzystujące ciepło wód, które odzyskiwane jest z odwadniania kopalń, mogą być stosowane, ze względu na niezbyt dużą moc cieplną, lokalnie dla celów grzewczych. Instalacja geotermalna może być wspomagana z konwencjonalnych kotłowni węglowych, olejowych lub gazowych, w okresie szczytowym.

### *Magazynowanie energii z lokalnych układów technologicznych, wykorzystujących odnawialne zasoby energii*

Zagadnienia magazynowania energii były przedmiotem obrad konferencji Energy Storage w Dusseldorfie w dniach 13–14.03.2012 i konferencji Fachforum Energiespeicher w Kolonii, w dniach 19–20.03.2012 (Kotowski i Konopka 2013). Podczas obrad obu konferencji stwierdzono, że wielkość koniecznych do wybudowania magazynów energii elektrycznej winna wynosić 200% zainstalowanych mocy elektrowni wiatrowych oraz 350% mocy instalacji fotowoltaicznych. Energia elektryczna, wytwarzana w układach technologicznych o stochastycznej zmienności produkcji, we współpracy z zasobnikiem energii, może być pozyskiwana w sposób ciągły. W ten sposób uzyskuje się pewniejsze źródło energii, w mniejszym stopniu zależne od nagłych zmian warunków atmosferycznych. Najefektywniejszymi magazynami energii elektrycznej są elektrownie pompowe w kawernach pozostających po kopalniach soli, w wyeksploatowanych kopalniach węgla oraz rud metali.

Magazyny ciepła w kawernach znajdujących się w wydzielonych chodnikach kopalń, są sezonowymi magazynami ciepła, wykorzystującymi wodę jako medium magazynujące, która może być podgrzewana za pomocą kolektorów słonecznych, powierzchniowych. Do zasadniczych zalet tego typu magazynu można zaliczyć: stabilność mechaniczną, dobrą izolacyjność cieplną i odizolowanie od otoczenia oraz możliwość zachowania stratyfikacji termicznej w zbiorniku. Zaletą magazynowania w kawernach i podziemnych zbiornikach jest możliwość magazynowania dużej ilości energii, podczas gdy minusem są znaczne nakłady finansowe.

## *2.1. Sposoby wykorzystania zasobów energetycznych*

### *Wykorzystanie wody jako źródła ciepła niskotemperaturowego*

W wyniku odwadniania kopalni uzyskuje się 50–60 m<sup>3</sup> wody na minutę. Schłodzenie jej o 10°C pozwala uzyskać moc cieplną 34–42 MW, co stanowi dla pompy ciepła o współczynniku cieplnym 3, możliwość uzyskania mocy cieplnej 50–60 MW (Kubski 2001; Tokarz 2013).

## *Magazynowanie energii z lokalnych układów technologicznych, wykorzystujących odnawialne zasoby energii*

### **Magazynowanie ciepła**

Przykładem może być podziemny zasobnik ciepła o pojemności 105 000 m<sup>3</sup> w Lyckebo – Szwecja, współpracujący z kolektorami słonecznymi o powierzchni 4300 m<sup>2</sup>, ogrzewającymi w lecie wodę w zbiorniku, uzyskując 19800 GJ ciepła (Miecznik 2016). Zgromadzone w zbiorniku w lecie ciepło umożliwia w 90% zaopatrzenie 550 domów jednorodzinnych w ciepło, w zimie. Układ wyposażony jest w pompę ciepła.

### **Magazynowanie energii elektrycznej**

W wyeksploatowanej kopalni można zainstalować elektrownię pompową, wykorzystując istniejącą instalację odwadniania kopalni do zasilania w wodę turbiny wodnej (Fabian 2016; Oksińska 2016; Parau i in. 2014). Elektrownia pompowa w kopalni charakteryzuje się bardzo wysokim spadem, co przy stosunkowo niskim przepływie umożliwia uzyskanie znacznej mocy w turbozespolu wodnym. Przy przepływie wody, wynoszącym 1 m<sup>3</sup>/s i spadzie 500 m, uzyskiwana moc w turbozespolu wodnym wynosi 3,5 MW, a przy spadzie 1000 m – 7,0 MW. Dwugodzinna praca generacyjna elektrowni pompowej o przepływie 1 m<sup>3</sup>/s, z uwzględnieniem dopływu wody do kopalni na poziomie 1 m<sup>3</sup>/s, wymaga, aby zbiornik wody na dole kopalni miał pojemność co najmniej 29 000 m<sup>3</sup>.

### *Możliwość odzyskiwania metanu z powietrza wentylacyjnego kopalń*

Istnieje możliwość odzyskiwania metanu CH<sub>4</sub> z powietrza wentylacyjnego kopalń w procesie technologicznym Liquefied Air Energy Storage (LAES), którego głównym celem jest skraplanie powietrza dla potrzeb magazynowania energii (Mirek 2016). Metan posiada wyższą temperaturę skraplania (112 K) niż powietrze (90 K) i w procesie skraplania powietrza może zostać wydzielony z powietrza wentylacyjnego kopalń ciekły metan. Sprawność magazynowania w ciekłym powietrzu wynosi 63%, natomiast w procesie odwrotnym można uzyskać 67%.

## *2.2. Gospodarka zasobami wodnymi*

### *Poprawa jakości wód powierzchniowych i podziemnych*

W nieczynnych wyrobiskach górniczych kopalń złóż surowców mineralnych istotną rolę może odegrać migracja, a więc przemieszczanie się wód podziemnych, co wiąże się z jednej strony z zaprzestaniem wypompowywania wód dołowych po zakończeniu likwidacji kopalń, zaś z drugiej strony z podniesieniem się poziomu tych wód (Strzelecki 2008). Wymaga to ciągłych nakładów, pełnego monitoringu oraz utrzymania urządzeń zabezpieczających w odpowiednim stanie technicznym. Odpowiednie ujęcia wód podziemnych, związanych z odwodnieniami górniczymi i przekierowywanie ich na powierzchnię terenu, a następnie poddanie procesowi oczyszczania (Marek i in. 2015), mogłoby okazać się bezcennym dobrem, możliwymi zasobami do wykorzystania. Jest to problem o szerszej skali, propozycja do rozważenia i mogąca znaleźć zastosowanie, nie tylko w kopalniach węglowych, ale także w nieczynnych kopalniach innych surowców mineralnych. Roczna ilość wód pochodzących



z odwadniania kopalń węgla kamiennego, brunatnego, rud metali i surowców mineralnych wynosi około 1000 mln m<sup>3</sup>, z czego około 100 mln m<sup>3</sup> przeznaczona jest na cele konsumpcyjne kopalni i okolicznych gmin (Frankowski i in. 2009).

Zasadniczo należy zauważyć, iż konieczność przeprowadzenia badań i określenie struktury, wielkości poboru całkowitego wód podziemnych w skali całego kraju, w kontekście potrzeb oceny stanu ilościowego tych wód, wynika z krajowych i unijnych regulacji (Ustawa... 2001; Dyrektywa... 2006; Ramowa... 2000). Zinventaryzowanie poboru wody i bilansowanie jego aktualnej wartości oraz porównywanie jej z dostępnymi zasobami wód podziemnych stanowią strategiczne zadania gospodarki wodnej kraju, mając na celu osiągnięcie zrównoważonej gospodarki zasobami wodnymi (Ustawa... 2001).

W bilansie całkowitego poboru wód podziemnych uwzględnia się wody zwykłe, z włączeniem odwodnień górniczych, w tym m.in. zrzuty wód zmineralizowanych jako ścieków. Poczynając od lat osiemdziesiątych można zaobserwować wyraźny trend zmniejszający się odwodnień kopalnianych (Frankowski 2009).

W świetle Ustawy Prawo wodne (Ustawa 2001), np. odwodnienie złóż węgla kamiennego i brunatnego poprzez odprowadzanie znacznych ilości wód kopalnianych do środowiska, rozumiane jest jako szczególne korzystanie z wód, zgodnie z tą ustawą, wody kopalniane, wprowadzane do cieków powierzchniowych, są ściekami. Należy przy tym zauważyć, że są to ścieki zanieczyszczone różnymi substancjami.

Zakłady górnicze, prowadzące eksploatację węgla lub innych surowców mineralnych, muszą zatem mieć pozwolenia wodno-prawne na: odwodnienia wyrobisk górniczych; wprowadzanie ścieków do wód lub ziemi. Należy zaznaczyć, że zakłady górnicze nie muszą uzyskiwać pozwoleń na korzystanie z wód kopalnianych na potrzeby własne, natomiast mają obowiązek budować i eksploatować urządzenia zabezpieczające wody przed zanieczyszczeniem. Jest to zgodne z założeniami koncepcji planowanego projektu badawczego.

Jak już wyżej wspomniano w dniu 3.03.1999 r. oficjalnie zakończono likwidację części podziemnych wałbrzyskich kopalń węglowych, następowało stopniowe zatapianie – górotworu, które w marcu 2002 r. weszło w fazę stabilizacji zwierciadła wód podziemnych. Symulacjami procesu przepływu wód podziemnych, z wykorzystaniem NMT – Numerycznego Modelu Terenu (narzędzi GIS) dla obszaru byłych kopalń w Wałbrzychu zajmowano się w pracy (Strzelecki 2008). Analizowano przyczyny okresowego podnoszenia się zwierciadła wód gruntowych w rozpatrywanym obszarze filtracji, w wyniku zalewania nieeksploatowanych kopalń. Od tego czasu minęło kilkanaście lat, a w celu kompleksowego zagospodarowania wód kopalnianych we wspomnianych kopalniach węglowych, dotychczas nie podjęto żadnych konkretnych działań.

## Podsumowanie

Rozważania przeprowadzone w artykule dotyczą zarządzania potencjalnymi zasobami, występującymi w kopalniach złóż węglowych, a także innych surowców mineralnych, dotychczas pozostającymi poza obszarem ich praktycznego wykorzystania, w szczególności dotyczy to zarządzania zasobami wód i energii. Chodzi o zrównoważone zarządzanie środowiskiem wodnym na obszarach antropopresji, ale także w kopalniach czynnych oraz stwarzanie możliwości najefektywniejszego sposobu wykorzystania odnawialnych i odpadowych

zasobów energii. Wskazano na wiele możliwych koncepcji wykorzystania tych zasobów. W praktyce, niektóre z nich znalazły zastosowanie w innych krajach, zaś w naszym kraju wprowadza się je w bardzo niewielkim stopniu.

Praktyczne wdrożenie przedstawionych w pracy propozycji, stanowiłoby wkład w realizację zasady zrównoważonego rozwoju. Jednocześnie ich zrealizowanie powinno przyczynić się do poprawy efektywności ekonomicznej kopalń czynnych, a w przypadku kopalń już zamkniętych, wykorzystanie istniejących w nich zasobów wodnych i energetycznych. Jednocześnie proponowane działania wiązałyby się z ochroną środowiska naturalnego, bez podejmowania działań zmierzających do pogarszania jego walorów, gdyż występuje możliwość dysponowania już istniejącą infrastrukturą kopalnianą.

Wskazano także na możliwość magazynowania ciepła i energii, co jest niezwykle istotne w sytuacji, zaznaczającej się tendencji coraz to większego udziału w bilansie energetycznym źródeł odnawialnych (elektrowni wiatrowych, solarnych), których praca ma charakter w znacznym stopniu losowy.

## Literatura

- Brundtland, G.H. i inni. 1991. *Nasza wspólna przyszłość, Raport Światowej Komisji do Spraw Środowiska i Rozwoju*. Warszawa: PWE.
- Dyrektywa wód podziemnych, 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniami i pogorszeniem ich stanu.
- Fabian, G. 2016. Z kopalni podziemna...elektrownia szczytowo-pompowa. [Online] Dostępne w: <http://www.gwar-kowie.pl/pliki/z-kopalni-podziemna-elektrownia-szczytowo-pompowa-670.pdf> [Dostęp: czerwiec 2016].
- Frankowski i in. 2009 – Frankowski, Z., Gałkowska, P. i Mitreğa, J. 2009. *Struktura poboru wód podziemnych w Polsce. Informator Państwowej Służby Hydrogeologicznej*. Warszawa: PIG.
- Jaros, J. 1984. *Słownik historyczny kopalń węgla na ziemiach polskich*. Katowice: Śląski Instytut Naukowy.
- Kotowski, W. i Konopka, E. 2013. Aby czasowo nie wyłączać odnawialnych źródeł energii. *Magazyn energii Energia Gigawat* nr 10.
- Kubski, P. 2001. Koncepcja ciepłowni zagospodarowującej energię zawartą w wodzie kopalnianej. *Materiały Konferencji Geothermal Energy in Underground Mines*. Ustroń, listopad 2001.
- Malko i in. 2015 – Malko, J., Wilczyński, A. i Wojciechowski, H. 2015. Bezpieczeństwo energetyczne, dostępność energii i zrównoważony rozwój a strategia unii energetycznej. *Rynek Energii* nr 2 (117).
- Marek i in. 2015 – Marek, A., Sobolczyk, J. i Bicz, W. 2015. Changes of water composition in filtration processes due to natural geological formations obtained from opencast mines [W:] *Uranium – Past and Future Challenges, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Uranium Mining and Hydrology*, ed. Merkel B.J., Arab Alireza, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Springer 2015.
- Miecznik, M. 2016. Podziemne magazynowanie energii cieplnej – metody i zastosowania. *Przegląd Geologiczny* vol. 64, nr 7.
- Mirek, P. 2016. Technika magazynowania energii w ciekłym powietrzu. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 19, z. 1.
- Namysłowska-Wilczyńska, B. i Wilczyński, A. 2015. Sustainable management of environment in intensive anthropopressure area for municipal purposes, water quality improvement and utilization of renewable and waste energy sources. International Conference on Successful R&I in Europe 2015 – 7th European Networking Event, Düsseldorf, Germany, 5–6 November 2015. [Online] Dostępne w: [http://www.horizont2020.zenit.de/fileadmin/2015/Successful2015/Energy\\_2.6\\_Namyslowska-Wilczynska.pdf](http://www.horizont2020.zenit.de/fileadmin/2015/Successful2015/Energy_2.6_Namyslowska-Wilczynska.pdf) [Dostęp: listopad 2015].
- Namysłowska-Wilczyńska, B. 2015. Geostatistical characteristic of space-time variation in quality parameters in Klodzko water supply system (SW part of Poland). EUROPEAN GEOSCIENCES Union General Assembly 2015 Vienna Austria 12–17 April 2015. Paper presented in the Session: Geo-statistics for spatio-temporal analysis of hydrological events and environmental problems (13.04.2015). Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU2015-15693-2, 2015 EGU General Assembly 2015.

- Namysłowska-Wilczyńska, B. 2015. Geostatistical studies of space-temporal variation in selected quality parameters in Klodzko water supply system (SW part of Poland). *Journal of Geological Resource and Engineering* vol. 3, No. 2, Company. [Online] Dostępne w: [www.David.Publisher.com](http://www.David.Publisher.com), USA [Dostęp: czerwiec 2016].
- Namysłowska-Wilczyńska, B. 2016. Geostatistical characteristic of space-time variation in selected underground water quality parameters in Klodzko water intake area (SW Part of Poland). EUROPEAN GEOSCIENCES UNION – General Assembly 2016 Austria Center Vienna Austria 17–22 April 2016. Geophysical Research Abstracts Vol. 18, EGU 2016-9019, 2016 EGU General Assembly 2016. Poster paper presented in the Session: Hydrological Sciences Hydroinformatics HS HS3.2/NH1.26 Spatio-temporal and/or geostatistical analysis of hydrological events, extremes, and related hazards (Thursday, 21 April 2016, A.133).
- Namysłowska-Wilczyńska, B. 2016. Space-temporal variation in underground water some quality parameters in Klodzko water intake area using statistical and geostatistical methods (SW part of Poland). *Journal of Geological Resource and Engineering* 2016, Vol. 4, No. 3, USA, David Publishing Company, [www.David.Publisher.com](http://www.David.Publisher.com), March 2016 (Serial Number 12).
- Oksińska B., Elektrownie wodne w starych kopalniach. [Online] Dostępne w: <http://www.rp.pl/Energianews/301109958-Elektrownie-wodne-w-starych-kopalniach.html> [Dostęp: 10.01.2016].
- Parau i in. 2014 – Parau, E., Zillman, A. i Nieman, A. 2014. Steinkohlebergbaus als unterirdische – Pumpenspeicherkraftwerke – Uebersicht und geotechnische Aspekte. *Bergbau* nr 11.
- Piątek, Z. 1995. Górnictwo węgla kamiennego na Dolnym Śląsku (1434-1945-1994). *Przegląd Górniczy* nr 1, s. 11–13.
- Praca zbiorowa 1999. *Doświadczenia z likwidacji zakładów górniczych*, Wałbrzych Książ, s. 27–48, 65–72.
- RAMOWA DYREKTYWA WODNA, Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r. ustanawiającą ramy wspólnego działania w dziedzinie polityki.
- Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu. Komunikat Komisji EUROPA 2020, KOM(2010) 2020, Bruksela, 3.3.2010.
- Strzelecki, M. 2008. Wykorzystanie narzędzi GIS do analizy hydrogeologicznej w obszarze byłych kopalń w Wałbrzychu. *Górnictwo i Geoinżynieria* r. 32, z. 1.
- Sustainable Energy for All: Opportunities for the Utilities Industry. Global Compact ONZ, Accenture, 2012.
- Tokarz, M. 2013. Wykorzystanie energii geotermalnej pochodzącej z odwadniania zakładów górniczych, na przykładzie rozwiązań zastosowanych w SRK SA Zakładzie CZOK w Czeladzi. *Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój* nr 1.
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (Dz.U. nr 115, poz. 1229, z późn. zm.).

