

Marian MICHĄLEK  
Politechnika Śląska, Gliwice

## WYBRANE ZAGADNIENIA TECHNICZNO-ORGANIZACYJNE ADAPTACJI WYROBISK POGÓRNICZYCH

**Streszczenie.** W warunkach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego obszar węglonośny podzielony jest polami nadania górniczego, tworzącymi, z małymi wyjątkami, jeden zwarty obszar. Likwidacja poszczególnych kopalń czy pól górniczych nie może być zatem traktowana jako proces jednorazowy i definitywny. W istocie po wyłączeniu z eksploatacji poszczególnych jednostek wydobywczych muszą one być i tak utrzymywane i monitorowane przez dłuższy okres czasu, ponieważ stanowią część swoistego systemu naczyń połączonych z funkcjonującymi nadal kopalniami.

W pracy przedstawiono kilka rozważań na temat możliwości ponownego wykorzystania tych budowli do celów generujących korzyści ekonomiczne po wyczerpaniu się ich funkcjonalności górniczej.

## SELECTED ORGANISATIONAL AND ECONOMICAL ASPECTS OF THE SECONDARY USE OF MINING UNDERGROUND STRUCTURES

**Summary.** Upper Silesian Coal Region is divided into areas of several hard coal mines. Liquidation of any of separate coal mine causes real impact on neighbouring mines. The underground water from the liquidated mine must be pumped on the surface for many years after the mine closing.

In this paper have shown some ideas for adopting abandoned underground structures for another commercial purposes.

### 1. Wprowadzenie

Kopalnie węgla kamiennego są obiektami o wielorakich możliwościach użyteczności, zmieniającymi się stopniowo wraz ze zmianą ich funkcji podstawowej, czyli źródła węgla i pracy górniczej. Kopalnia może pozostać użyteczna także po zaprzestaniu eksploatacji węgla. Jednak plany wykorzystania poeksploatacyjnych walorów kopalni należy przygotować

możliwie wcześniej [1]. Prace koncepcyjne nad wykorzystaniem trwałych elementów podziemnej infrastruktury kopalń węgla kamiennego (szyby, podszybia) muszą się rozpocząć na kilka lat przed wyłączeniem ich z eksploatacji. Liczne przykłady światowe wskazują na szeroki wachlarz możliwości wykorzystania budowli pogórnich, jednakże ze względu na wysokie koszty adaptacji do nowych funkcji najbardziej perspektywiczne wydaje się przeznaczenie przyszłej użyteczności na cele energetyczne. Zaopatrzenie bowiem gospodarki każdego kraju w energię nabierać będzie z czasem coraz większego długofalowego znaczenia w kontekście następujących zagrożeń [1].

1. Wyczerpywanie się zasobów paliw kopalnych takich jak ropa naftowa gaz ziemny, węgiel (najwcześniej ropa naftowa).
2. Zagrożenia wynikające z powiększającego się efektu cieplarnianego, emisja CO<sub>2</sub> do atmosfery.
3. Uzależnienie się krajów od tzw. „Pętli obcego źródła energii”, które jest często powodem napięć politycznych. Bezpieczeństwo energetyczne jest obecnie równoznaczne z bezpieczeństwem i niezależnością polityczną państw.

Trzeci powód wskazuje na konieczność maksymalnego oparcia bezpieczeństwa energetycznego kraju na własnych zasobach. Wszystkie wymienione czynniki spowodowały wzrost nakładów nad wdrożeniem badań nad alternatywnymi źródłami energii. W przodujących technologicznie krajach, takich jak USA, powstało wiele rządowych programów wspierających rozwój gospodarki wodorowej: „Road Map”, „Freedom Car”, „Future Gen” itp. W roku 2003 w Ramach Unii Europejskiej powstała „Europejska Platforma Wodoru i Ogniw Paliwowych”. Odpowiednikiem tej Platformy w Polsce jest „Polska Platforma Technologiczna Wodoru i Ogniw Paliwowych”, którą tworzy 40 podmiotów. Trzydzieściami z nich to koncerny, zakłady przemysłowe oraz spółki, m.in.: PKN ORLEN S.A., Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A., Zakłady Azotowe w Tarnowie-Mościcach S.A., Zakłady Azotowe Puławy S.A., Kompania Węglowa S.A., Południowy Koncern Energetyczny S.A., Polimex-Mostostal SIEDLCE S.A., Seven Rocks Mining Sp. z o. o. W skład Platformy wchodzi również piętnaście jednostek naukowych, m.in. Politechnika Warszawska, Politechnika Śląska, Główny Instytut Górnictwa, Instytut Nafty i Gazu, Akademia Górniczo-Hutnicza, a także trzy Centra Zaawansowanych Technologii, jedno Centrum Doskonałości oraz Polska Izba Przemysłu Chemicznego i Polskie Stowarzyszenie Wodoru i Ogniw Paliwowych.

Rozwój gospodarki energetycznej opartej na wodorze stanowi atrakcyjną alternatywę dla obecnego systemu energetycznego, ale nigdy najprawdopodobniej nie będzie w stanie

stworzyć całkowitego monopolu z powodu niższej sprawności pełnego cyklu obiegu energetycznego opartego na wodorze, a składającego się z 3 kroków:

- 1) wytwarzanie energii dla produkcji wodoru,
- 2) konwersja wytworzonej energii na wodór,
- 3) konwersja wodoru na energię elektryczną w ogniwach paliwowych.

Innymi słowy, pomimo nadchodzących znacznych zmian dotyczących deregulacji systemu energetycznego, swobodnego wyboru dostawcy prądu oraz wchodzeniem do powszechnego użytku nowych zaawansowanych technologii zagadnieniem podstawowym jest i pozostanie problem efektywnego wykorzystania dostępnych źródeł energii.

Tabela 1

Przykładowe sprawności obiegów energetycznych:[2]

Rodzaj magazynowanej energii	Sposób magazynowania energii	Sprawność obiegu energetycznego	Zakres czasu magazynowania	Zakres mocy
		%	[Jedn. Czasu]	[J.Mocy]
Kinetyczna	Wirujące Koła „flywheel”	90-95	<1 godzina	<10KW
Kinetyczna	Elektrownie szczytowo - pompowe (SP)	75-80	Bez ograniczeń	>100 MW
Elektrochemiczna	Baterie, akumulatory	70-80	godziny	<10MW
Kinetyczna	Sprężone powietrze (CAES)	75	godziny	>100MW
Chemiczna	Produkcja i rekonwersja wodoru na energię elektryczną	30-50	Bez ograniczeń	<10MW
Magazynowanie ciepła	Nagrzewanie akumulatorów ciepła	0-40	Szeroki zakres	Brak danych

## 2. Funkcje pogórnich budowli podziemnych

W procesie restrukturyzacji przemysłu węgla kamiennego w Polsce zlikwidowano znaczące ilości majątku produkcyjnego kopalń, w tym wiele szybów. Znane są koncepcje wykorzystania zlikwidowanych szybów oraz wybranych wyrobisk podszybia dla celów budowy elektrowni szczytowo-pompowej [3].

Obecnie znane są następujące sposoby wykorzystania pogórnich budowli podziemnych.

Składowanie odpadów przemysłowych. Najbardziej znane i od szeregu lat praktykowane sposoby wykorzystania podziemnych wyrobisk górniczych dotyczą składowania w nich wszelkiego rodzaju odpadów – od górniczych począwszy, a na toksycznych i radioaktywnych skończywszy [5].

Studnie głębinowe. Odwadnianie likwidowanych kopalń tradycyjnym sposobem, ze stacjonarnych dołowych pompowni głównych, w świetle obowiązujących przepisów oraz wymogów bezpieczeństwa, związane jest z koniecznością utrzymania zakładu odwadniania będącego praktycznie zakładem górniczym podziemnym.

Wykorzystanie wyrobisk górniczych jako zbiornika wody pitnej. Głównym czynnikiem uzasadniającym takie wykorzystanie wyrobisk pokopalnianych jest obecność wody o dobrych parametrach. Woda wypływająca ze szczelin skał powinna być badana przez stację sanitarno-epidemiologiczną. Powinna charakteryzować się stałością składu chemicznego w granicach dopuszczalnych norm i nie może być zanieczyszczona pod względem bakteriologicznym.

Hydroelektrownie szczytowo – pompowe. Budowa elektrowni szczytowo – pompowych stanowić może potencjalnie dodatkowy element dochodu w procesie odwadniania kopalń. Odwadnianie kopalni często musi być prowadzone również przez długi okres, wynoszący kilkanaście a nawet kilkadziesiąt lat po zakończeniu eksploatacji.

Antropogeniczne zbiorniki wód geotermalnych - podziemne magazyny wód termalnych – pozyskiwania czystej ekologicznie i odnawialnej energii geotermalnej zawartej w wodach z powierzchni. Z punktu widzenia klasyfikacji temperaturowej wody kopalniane z obszaru GZW zaliczane są więc do wód geotermalnych ciepłych lub niskotemperaturowych (20-35°C) oraz gorących lub średnotemperaturowych (35-80°C).

Obecnie wydaje się, że pojawiające się możliwości związane z funduszami europejskimi mogłyby stworzyć szanse realizacji tego typu projektów dla dobra regionu śląskiego w duchu zasad zrównoważonego rozwoju.

### **3. Czynniki wyboru szybu kopalnianego oraz innych wyrobisk przyszybowych do perspektywicznego wykorzystania**

Jest rzeczą oczywistą, że proces kwalifikacji budowli musi się opierać na określeniu potencjału funkcjonalnego budowli i właściwym doborze jego przyszłej funkcji gospodarczej.

W tym celu należy przeprowadzić ciąg powiązanych ze sobą czynności oraz ekspertyz prowadzących do określenia następujących parametrów szybu i podszybia:

- a) stan techniczny obudowy
- b) szczelność obudowy
- c) kubatura szybu
- d) wiek szybu
- e) funkcja szybu
- f) agresywność wód dołowych w stosunku do obudowy
- g) kubatura podszybi
- h) lokalizacja czynnych podszybi
- i) zakres prac adaptacyjnych koniecznych do wykonania

Dodatkowo konieczne jest sprawdzenie następujących kryteriów:

- a) kryterium jednorodności betonu obudowy szybu - współczynnik zmienności  $V_r$  (dla betonu określonej klasy)
- b) kryterium stopnia korozji betonu - grubość skorodowanej warstwy betonu w stosunku do grubości obudowy %
- c) kryterium szczelności obudowy  $>150\text{m}^3/\text{min}$
- d) kryterium nośności obudowy - stopień zagrożenia obudowy, wartość współczynnika pewności przeniesienia naprężeń ( $n$ )

Po przeprowadzeniu stosownych badań i inwentaryzacji należy określić zakres i koszty koniecznych robót adaptacyjnych na obiekcie, a mianowicie:

- a) wykonanie badań obudowy z oceną jej stanu i nośności
- b) budowa tam odcinających podszybie od reszty kopalni
- c) uszczelnienie i wzmocnienie górotworu wokół wyrobisk
- d) uszczelnienie i wzmocnienie powierzchni obudowy szybu i podszybi
- e) wykonanie badań obudowy z oceną jej stanu i nośności

#### 4. Zalecane technologie wykonawcze

Na etapie wykonawczym inwestycji kluczowym zagadnieniem technicznym jest wykorzystanie technik i technologii budowlanych zapewniających wysoką stateczność, szczelność i długowieczność wykonanych konstrukcji i zabezpieczeń. Należy zwrócić uwagę

na następujące cechy materiałów służących do uszczelnienia i wzmocnienia górotworu wokół adaptowanych wyrobisk podszybia oraz szybu:

Kleje uszczelniające:

Klej uszczelniający – wzmacniający, np. GÓROPUR W [5]

Zalety:

- 1) dwukrotne zwiększenie objętości w procesie reakcji klejenia
- 2) głębokie wnikanie spienionego kleju do szczelin (szczególnie istotne)

Klej uszczelniający – wzmacniający, np. CHEMOPUR AW+B

Zalety:

- 1) dobra przyczepność do podłoża
- 2) odporność na działanie zasolonych wód (szczególnie istotne)
- 3) trudnopalność

Beton natryskowy z mikrokrzemionką

Zalety:

- 1) wielokrotnie zwiększona odporność na obciążenia dynamiczne
- 2) zwiększona odporność na obciążenia zmęczeniowe
- 3) mniejsza nasiąkliwość i wodoprzepuszczalność (szczególnie istotne)
- 4) zwiększona odporność na korozję (szczególnie istotne)
- 5) ograniczenie powstania mikrorys skurczowych w betonie

Mineralny torkret górniczy

Zalety:

- 1) szybkie wiązanie spoiwa
- 2) odporność na działanie agresywnych wód kopalnianych (szczególnie istotne)
- 3) szybkie uzyskanie wstępnej wytrzymałości
- 4) dzięki odczynowi zasadowemu zabezpieczenie metalowych elementów obudowy przed korozją (szczególnie istotne)
- 5) mała szkodliwość dla zdrowia
- 6) ekonomiczność i wydajność

## 5. System monitoringu stateczności obudowy

Dla zapewnienia bezpieczeństwa funkcjonowania szybu w jego nowej roli proponuje się zamontowanie zespołu następujących czujników:

- a) MCH – czujnik do kontroli zawartości metanu w atmosferze,
- b) MCO – dwuzakresowy czujnik do kontroli zawartości tlenu i dwutlenku węgla w atmosferze,
- c) MO2 – czujnik do kontroli zawartości tlenu w atmosferze (w przypadku prowadzenia badań lub prac konserwacyjnych).

Wszystkie czujniki muszą być połączone do centrali telemetrycznej (komputera sterującego), która będzie w przypadku nieprawidłowości informować upoważnioną osobę za pomocą systemu zintegrowanego.

Obudowa szybu wymaga także okresowej kontroli stanu technicznego.

Proponowany zakres badań obudowy szybu:

- a) ocena makroskopowa,
- b) badania niszczące,
- c) badania nieniszczące,
- d) badania introskopowe w otworach.

## 6. Propozycja oceny porównawczej przydatności szybów i podszybi do wykorzystania na cele niegórnicze [6],[7],[8],[9]

Tabela 2

Tabela ewaluacyjna szybów i podszybi

Czynniki oceny	Szyb	PKT	Szyb I	szyb II	szyb III	Szyb.n
Wiek szybu [lata]						
<25		3				
25-60		2				
>60		1				
Stan techniczny szybu /wyposażenie,dźwigary//ekspertyza/						
b.dobry		3				
dobry		2				
średni		1				
Szczelność obmurza szybu /ilość wycieków/						
<10 wycieków		2				
10-30		1				
>30		0				
Głębokość szybu [m]						
>850		3				
500-850		2				
<500		1				
Średnica szybu [m]						
>7		3				
5-7		2				
<5		1				

cd. tabeli 2

Funkcja szybu					
Wydobywczo-zjazdowy	1				
Materiałowy	2				
Wentylacyjny	3				
Ilość wód dopływających do rzepia [l/min]					
<50	3				
50-150	2				
>150	0				
Agresywność wód					
Nieagresywne	3				
Srednioagresywne	2				
Wysoko agresywne	1				
Ilość wyrobisk podszybi do otamowania /liczba tam/					
<5	3				
5-10	2				
>10	1				
Lokalizacja podszybi (własności wytrzymałościowe skał)					
Piaskowiec	3				
Łupek piaszczysty	2				
Łupek ilasty	1				
Kubatura podszybi /tys. [m <sup>3</sup> ]/					
>80	4				
40-80	3				
10-40	2				
<10	1				
Jednorodność betonu					
Współczynnik zmienności vR,[%] dla betonu klasy:					
B7,5-B25					
vR≤10	4				
10<vR≤13	3				
13<vR≤16	2				
16<vR≤20	1				
>20	0				
Lub B30-B50					
vR≤7	4				
7<vR≤10	3				
10<vR≤13	2				
13<vR≤15	1				
>15	0				
Stan obudowy ze względu na stopień korozji [%] /Grubość skorodowanej warstwy betonu w stosunku do grubości obudowy/					
≤10, lecz nie więcej niż 6cm	2				
10÷20, lecz nie więcej niż 12cm	1				
>20, więcej niż 12cm	0				
Stopień zagrożenia obudowy /Wartość współczynnika pewności przeniesienia naprężeń (n)/					
≥1	3				
1±0,75	2				
< 0,75	1				
<b>SUMA</b>		Suma 1	Suma 2	Suma 3	Suma n

Tabela 2 stanowi narzędzie pomocnicze ewaluacji obiektów podziemnych pod kątem możliwości ich wykorzystania na inne cele. Tabela ujmuje jedynie parametry techniczne obiektów, które można ze sobą porównać. Oprócz tych parametrów muszą być brane pod



uwagę również inne czynniki związane z powierzchnią, tj. np. stanem prawnym i własnościowym obiektu oraz jego lokalizacją. Na podstawie uzyskanych ilości punktów dla każdego rozpatrywanego obiektu można dokonać porównania oraz wyboru obiektów posiadających największy potencjał do wykorzystania na cele lokalizacji przedsięwzięć gospodarczych.

## **7. Proponowany zakres studium wykonalności projektu adaptacji szybu i podszybia**

### 1. Lokalizacja projektu

### 2. Uwarunkowania projektu

- 2.1. Struktura jednostki administracyjnej, na terenie której znajduje się planowana inwestycja
- 2.2. Beneficjent(ci) projektu – sektor finansów publicznych, sektor prywatny, partnerstwo publiczno-prywatne
- 2.3. Stosunek prawny pomiędzy beneficjentami
- 2.4. Uwarunkowania pomiędzy beneficjentami i jednostką administracyjną – rodzaj i czasokres zawartych umów

### 3. Charakterystyka projektu

#### 3.1. Cel projektu

- Cel inwestycji oraz uzasadnienie jej realizacji
- Ogólny opis inwestycji
- Klienci - odbiorcy wytworzonej energii - formy współpracy

#### 3.2. Rozwiązania techniczne

- Opis techniczny inwestycji
- Planowany harmonogram realizacji
- Dokumentacja inwestycji
- Ochrona środowiska

#### 3.3. Adekwatność projektu do innych planowanych działań inwestycyjnych na terenie jednostki administracyjnej

### 4. Informacja o finansowaniu projektu

#### 4.1. Koszt projektu

- 4.2. Struktura finansowania projektu
- 4.3. Zdolności inwestycyjne jednostki administracyjnej
- 4.4. Zdolności inwestycyjne beneficjanta(ów)
5. Analiza wartości dodanej projektu.
  - 5.1. Analiza dochodowości projektu
  - 5.2. Analiza zwiększenia potencjału gospodarki lokalnej
  - 5.3. Zakładana liczba nowych trwałych miejsc pracy
6. Wnioski i zalecenia realizacyjne

## 8. Uwagi końcowe

1. Oprócz wymienionych w artykule zastosowań jako studnie głębinowe oraz składowiska odpadów niebezpiecznych zdecydowanie największe perspektywy mają rozwiązania wspomagające system energetyczny.
2. Dla efektywnego funkcjonowania systemu energetycznego opartego na węglu konieczne jest utrzymywanie w sieci masowych akumulatorów energii.
3. Wykorzystanie wyrobisk likwidowanej kopalni do pozyskania czystej ekologicznie i odnawialnej energii geotermalnej jest stosunkowo nowatorskim rozwiązaniem, stwarzającym dobre perspektywy ze względu na wysoki gradient geotermiczny w GZW, który wynosi 30- 35 [°C/km].
4. Najbardziej niezawodnymi akumulatorami energii w dużej skali są elektrownie szczytowo-pompowe oraz w perspektywie magazynowanie energii sprężonego powietrza.
5. Proponowany sposób wykorzystania szybu i podszybia na elektrownię szczytowo-pompową przy dobrym stanie technicznym obudowy szybu i podszybi oraz obecnym wzroście zapotrzebowania na czystą ekologicznie energię elektryczną jest bardzo uzasadnione.
6. Oprócz energii elektrycznej, jaką można wytwarzać za pomocą turbin lub turbozespołów, należy zastanowić się nad wykorzystaniem dodatkowo pomp ciepła, dzięki którym można uzyskać energię cieplną.
7. W przypadku wystąpienia metanu na wyższych poziomach proponuje się założenie sieci odmetanowania i wykorzystania metanu dla celów wspomagających działanie elektrowni

- szczytowo–pompowej, tzn. wykorzystanie generatorów z silnikiem gazowym do pozyskania dodatkowego źródła energii.
8. Integracja systemów energetycznych rozproszonych za pomocą wodoru nie spowoduje zaniku konieczności magazynowania energii szczytowej dla uwolnienia jej w czasie niedoboru w sieci.
  9. Istnieje konieczność dokonywania z wyprzedzeniem oceny potencjału budowli pogórnich dla celów komercyjnych.
  10. Pozostawienie szybu jako studni głębinowej realizuje się w przypadku konieczności stałego pompowania dopływającej do niego wody.
  11. Wycofane z użytkowania budowle pogórnice są balastem dla kopalń i celowe wydaje się programowanie ich ponownego wykorzystania przy uwzględnieniu udziałów inwestorów spoza kopalń, takich jak spółki komunalne, czy w partnerstwie publiczno-prywatnym.

## LITERATURA

1. Solik – Heliasz E.: Informacje wstępne w zakresie geotermii. Spotkanie promocyjne na temat: „Możliwości wykorzystania ciepła z wód kopalnianych”. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2002.
2. Australian Greenhouse Office, Department of the Environment and Heritage; Energy Storage Technologies-a review paper, December 2005.
3. Drzęzła B., Musioł S., Kołodziejczyk P., Ząber Z.: Wykorzystanie szybów kopalnianych i istniejących systemów odwadniania kopalń do budowy lokalnych elektrowni szczytowo – pompowych. Międzynarodowa Konferencja. VI Szkoła Geomechaniki. Materiały naukowe, Gliwice 2003.
4. Maciej Guliński: O likwidacji kopalń. Strona internetowa [www.cortex.pl](http://www.cortex.pl).
5. Strona internetowa firmy interchemol; <http://www.interchemol.com.pl/index.php?lang=pl>.
6. Jeleński A.: Badania wytrzymałości oraz stateczności murowych i betonowych obudów szybowych. Przegląd Górnictwa nr 3, 2001.
7. Kawęcki Z., Wąsik J.: Zasady projektowania kopalń. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1993.
8. Chudek M., Janiczek S., Majchrzak R.: Zagadnienia oceny stanu technicznego czynnych szybów górniczych oraz sposoby ich zabezpieczeń. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 174, Gliwice 1989.
9. PN-74/ G-06001: Szyby górnicze. Obudowa murowa i betonowa. Wymagania i badania.