

Technologie wydobycia i odzysku metali z konkrecji polimetalicznych zalegających na dnie oceanów

Technologies of extraction and recovery of metals from polymetallic nodules lying at the bottom of oceans



Prof. dr hab. inż. Wiesław Kozioł^{*)}



Inż. Aleksander Brożyna^{*)}

Treść: W związku z wyczerpywaniem się lądowych zasobów kopalin, a zwłaszcza niektórych surowców metalicznych niezbędnych dla rozwoju gospodarczego, wstępnie rozpoznane na dnie oceanów polimetaliczne konkrecje coraz częściej traktowane są jako potencjalne źródło różnych metali. Bardzo duże głębokości zalegania, możliwość występowania bardzo niekorzystnych warunków pogodowych, falowanie, prądy morskie oraz duże odległości od lądów powodują, że przemysłowe wydobycie konkrecji jest trudnym technicznie i bardzo kosztownym przedsięwzięciem. W artykule przedstawiono podstawowe możliwe sposoby wydobycia konkrecji polimetalicznych, technologie odzysku metali z tego typu złóż, a także zagrożenia wynikające z eksploatacji.

Abstract: Due to the depletion of land mineral resources, especially some metallic raw materials necessary for the economic development of mankind, the polymetallic nodules initially recognized at the bottom of the oceans are increasingly treated as a potential source of various metals. Very large depth of occurrence, the possibility of bad weather, waves, ocean currents and large distance from landmasses make commercial production of nodules a technically complicated and very expensive business. This paper presents the basic methods of mining of polymetallic nodules, methods of metal recovery from this type of deposits as well as the hazards resulting from the exploitation.

Słowa kluczowe:

zasoby kopalin, konkrecje polimetaliczne, eksploatacja, odzysk, zagrożenia

Key words:

mineral resources, polymetallic nodules, exploitation, recovery, hazards

1. Wprowadzenie

W związku z wyczerpywaniem się lądowych zasobów kopalin [2] coraz częściej uważa się, że zagospodarowanie kopalin oceanicznych na większą skalę jest tylko kwestią czasu, najczęściej specjaliści mówią o perspektywie około 20 lat [7]. Polska jako kraj członkowski międzynarodowej organizacji InterOceanMetal (IOM), wspólnie z niektórymi krajami byłej RWPG (Bułgaria, Czechy, Kuba, Rosja, Słowacja) posiada status tzw. „inwestora pionierskiego” do prowadzenia prac badawczo-poszukiwawczych i uzyskania koncesji wydobywczej na przemysłowe zagospodarowanie złóż kopalin polimetalicznych na Oceanie Spokojnym w polu Clarion – Clipperton [7]. Pole to w porównaniu z innymi znanymi polami odznacza się wysokim wskaźnikiem

konkrecyjności powyżej 10 kg/m², przy równocześnie dużej koncentracji metali. Konkrecje zalegają w tym polu na głębokościach od 3800 – 5200 p.p.m., a średnie zawartości głównych metali wahają się: dla manganu 28÷32 %, niklu – 1,1÷1,4%, miedzi – 0,95÷1,3 % i kobaltu – 0,21% [1]. Zróżnicowanie górniczo-geologicznych warunków występowania, a przede wszystkim rozmieszczenia kopalin oceanicznych stawia ogromne wymagania oraz problemy dla ewentualnej eksploatacji. Do najważniejszych z nich należą: duże odległości od brzegu, falowanie, prądy morskie, gigantyczne ciśnienie hydrostatyczne na dnie oceanu, korozja powodowana przez wodę morską oraz bardzo zróżnicowana struktura geologiczna. W przypadku konkrecji rozpatrujemy złożę jako dwuwymiarowe, a to znaczy że eksploatacja będzie wymagała dużych powierzchni. Jeśli chodzi o sprawy typowo techniczne, to głównymi problemami są tu zapewnienie ciągłości wydobycia i stabilizacja wydajności. Przemysłową eksploatację tych złóż należy rozpatrywać w całości jako

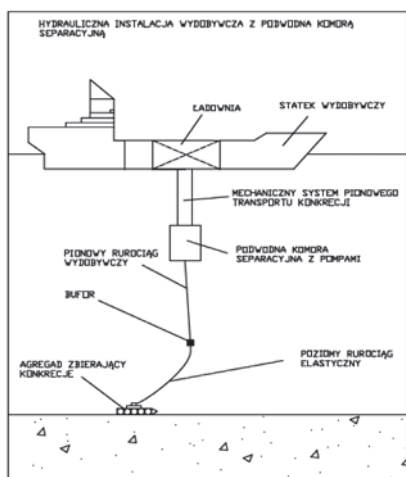
^{*)} AGH w Krakowie

system urządzeń wydobywczych transportowych oraz przetwórczych. Najbardziej wymagającym elementem z całego systemu jest sama jednostka wydobywcza. Opracowano różne systemy eksploatacji, polegające na zbieraniu konkrecji z dna morskiego wraz z ich transportem na powierzchnię morza, a następnie w celach przeróbki do zakładów hutniczych.

2. Koncepcje wydobywania

Proponowane metody wydobywania dzielimy na trzy charakterystyczne grupy: metody hydrauliczne, mechaniczne oraz z autonomicznymi zanurzalnymi barkami. W przypadku metod hydraulicznych wydobywanie konkrecji odbywa się w wyniku przepływu w rurociągu wydobywczym czynnika roboczego: wody lub też wody z wtłaczanym powietrzem. Do pionowego rurociągu wydobywczego konkrecje podawane są z agregatu zbierającego je z dna oceanicznego za pośrednictwem elastycznego rurociągu. Wśród metod hydraulicznych najczęściej wyróżnia się następujące warianty: jednorurowa z pompami głębinowymi, jednorurowa z wtłaczanym powietrzem, dwururowa z pompami tłoczącymi wodę umieszczonymi na pokładzie statku wydobywczego, jednorurowa z komorą separacyjną.

Ważniejsze z tych metod przedstawiono schematycznie.



Rys 1. Hydrauliczna instalacja wydobywcza z podwójną komorą separacyjną [1]

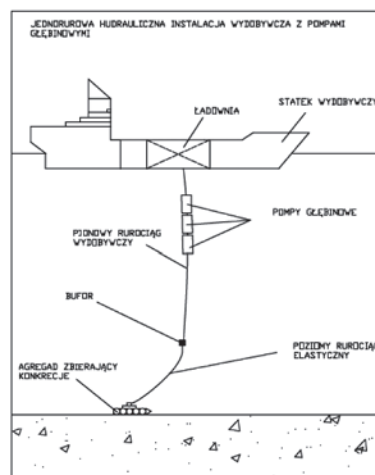
Fig. 1. Hydraulic mining installation of double separation chamber [1]

Metoda jednorurowa z podwójną komorą separacyjną (rys. 1) jest najbardziej atrakcyjna, jeżeli chodzi o zapotrzebowanie energii do podnoszenia konkrecji, jednak mechaniczne podniesienie konkrecji z komory separacyjnej na pokład statku wydobywczego jest na morzu trudne technicznie i niepewne [1].

Metoda jednorurowa z pompami głębinowymi (rys. 2) zapewnia lepsze warunki pracy pomp, ale konstrukcja jest bardzo kłopotliwa do montażu na morzu, powoduje to dużo większy opór w czasie ruchu statku wydobywczego oraz niesymetryczny opór instalacji rurowej, co powoduje skręcanie [1].

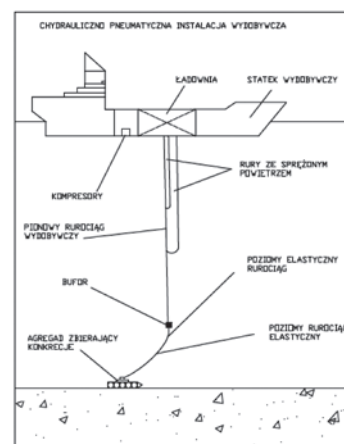
Metoda hydrauliczno-pneumatyczna (rys. 3) początkowo wydawała się być atrakcyjna, a jednak ma dużą wadę: rozprężające się w górnej części rurociągu powietrze powoduje przerwanie jednoczesnego przepływu mieszaniny i konkrecji. Próbowano wprowadzić możliwość częściowego odprowadzenia powietrza z górnego odcinka rurociągu, ale nie spowodowało to rozwiązania problemu [1].

W metodzie mechanicznej wydobywanie konkrecji jest realizowane za pomocą pojemników przymocowanych do



Rys 2. Jednorurowa instalacja hydrauliczna z pompami głębinowymi [1]

Fig. 2. Hydraulic single-pipe installation with submersible pumps [1]

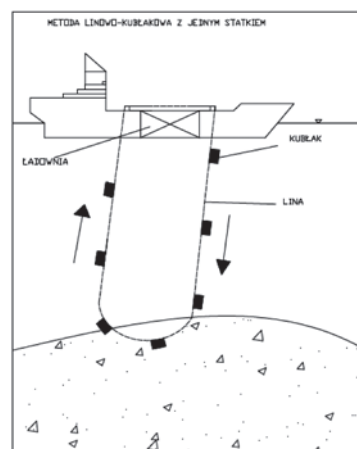


Rys 3. Hydrauliczno-pneumatyczna instalacja wydobywcza [1]

Fig. 3. Hydraulic-pneumatic mining installation [1]

lin przewijanych przez system wyciągarek znajdujących się na pokładzie statku wydobywczego.

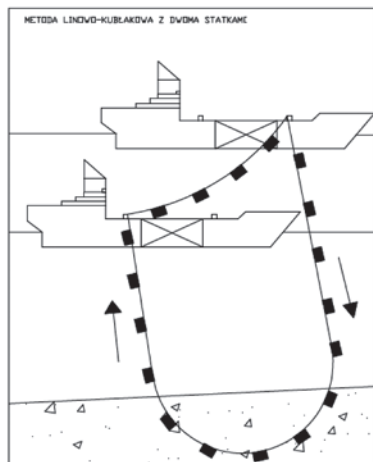
Na rys. 4 przedstawiono jeden z wariantów tej metody opracowany przez japońską firmę Sumito Shoji Kaisha Ltd [4].



Rys 4. Metoda linowo-kubelkowa z jednym statkiem [4]

Fig. 4. Rope-bucket method with one ship [4]

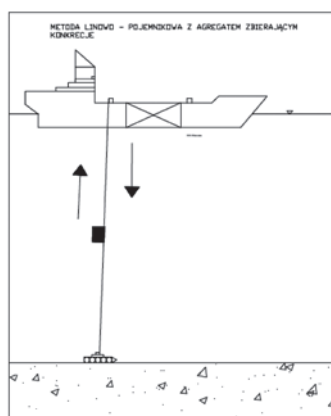
Innym wariantem tej metody był wariant zaproponowany przez francuskie firmy CNEXO i AFEROND, polegający na wykorzystaniu dwóch statków. [4], (rys. 5).



Rys 5. Metoda linowo-kubelkowa z dwoma statkami
Fig. 5. Rope-bucket method with two ships

Ze względu na brak zadowalających rezultatów oba powyższe warianty odrzucono. W zamian powstały następne, w których agregat zbiera конкреcje z dna i przeładowuje je na pojemniki podnoszone układem linowym na pokład statku wydobywczego.

Układ ten został przedstawiony na rys. 6.



Rys 6. Metoda linowo-pojemnikowa z agregatem zbierającym конкреcje [1]

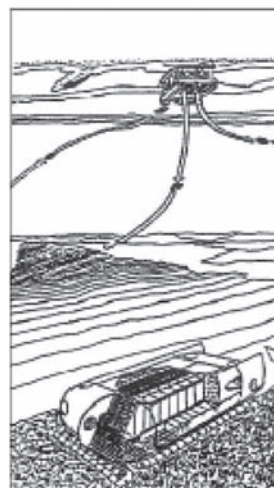
Fig. 6. Rope-bin method with aggregate collecting concretions [1]

Pierwsze dwa projekty instalacji mechanicznych nie zdały egzaminu ze względu na brak możliwości sterowania i kontroli umożliwiających ciągłość pracy i równomierne zbieranie конкреcji. Wszelkie nierówności dna uniemożliwiają prawidłową pracę systemu.

W ostatnim rozwiązaniu конкреcje z dna oceanicznego są zbierane przez agregat denny, a zebrane конкреcje są przeładowywane do pojemników układem linowym. Głównym problemem jest tu zasilanie agregatu, autonomiczne przeładowywanie, a także prawidłowe działanie układu linowego [1].

W metodach, w których używane są podwodne barki, конкреcje podnoszone są z dna, a następnie przechowywane w ładowniach. Konkrecje mogą być też załadowywane na dnie za pomocą agregatu [6].

Działanie takiego systemu pokazano na rys. 7.



Rys 7. Metoda eksploatacji złóż конкреcji polimetalicznych za pomocą autonomicznych pojazdów głębinowych [1]

Fig. 7. Exploitation method of polymetallic nodules using autonomous depth vehicles [1]

Najpoważniejszym problemem w tym systemie jest ciągle zanurzanie i wynurzanie się barek, a także nawigacja w pobliżu dna tak, aby pole było dokładnie wyeksploatowane [6].

3. Technologie odzysku metali z конкреcji

W celu pozyskania metali z конкреcji polimetalicznych w literaturze proponowanych jest wiele różnych metod. Niektóre z nich były testowane w skali pilotażowej. Generalnie można je podzielić na trzy główne grupy [8]:

1. Procesy pirometalurgiczne (np. wytop).
2. Procesy hydrometalurgiczne (np. ługowanie kwaśne).
3. Procesy kombinowane, tzn. takie, w których początkowo przeprowadza się wstępną przeróbkę termiczną, a następnie hydrometalurgiczną.

3.1. Procesy pirometalurgiczne

Prowadzą do skoncentrowania metalicznych składników w stopie, który stanowi około 5% masy przetwarzanego surowca. W metodach tych już w pierwszych operacjach następuje przejście żelaza i manganu do żużla. Ze względu na dużą zawartość wilgoci są one jednak mniej atrakcyjne od przeróbki конкреcji. Przeciwny proces przetwarzania конкреcji metodą pirometalurgiczną polega na następujących operacjach technologicznych:

Suszenie: zmielone конкреcje trafiają do pieca obrotowego, gdzie są suszone, odwadniane, podgrzewane oraz redukowane w określonej temperaturze za pomocą węgla i innych reduktorów. Następnie poddawane są wytopowi w temperaturze około 1500°C, skąd otrzymuje się stop metaliczny i żużel.

Utlenianie i konwersja: ciekły stop podawany do obrotowego konwertora w celu wydzielenia większości Mn i otrzymania kamienia kierowanego do dalszej przeróbki przez ługowanie hydrometalurgiczne różnymi roztworami wodnymi [3].

3.2. Procesy hydrometalurgiczne

Metale użyteczne są bardzo rozproszone w конкреcji, co sprawia, że nie mogą być one wzbogacone znanymi metodami przeróbki. Przy zastosowaniu termicznej obróbki

porowata struktura kongrecji jest przyczyną bezpowrotnych strat znacznych ilości energii zużywanej na usuwanie zawartej w nich wody, która stanowi nawet ponad 50 % wagi. Obróbka hydrometalurgiczna przeprowadzona w sposób bezpośredni pozwala na eliminację wymienionych strat. Dodatkowo liczba operacji w jednostkowych technologiach hydrometalurgicznych jest znacznie mniejsza. Procesy hydrometalurgiczne przetwarzania kongrecji polimetalicznych można zaliczyć do trzech ogólnych grup: ługowanie roztworami kwasu solnego, ługowanie amoniakalne oraz ługowanie roztworami kwasu siarkowego [3].

3.3. Procesy kombinowane

Wyróżnia się następujące rozwiązania technologiczne połączenia procesów termicznych z ługowaniem: prażenie chlorujące (uważane jest za najskuteczniejsze ze względu na bardzo wysoką wydajność, małe koszty oraz łatwość dostępu chloru gazowe np. z wody morskiej. Jego główną zaletą jest możliwość selektywnego wybierania metali w dobranych warunkach), prażenie nasiarczające (wysuszone kongrecje ogrzewa się w temperaturze 250-600°C w atmosferze SO₂ i powietrza) oraz prażenie z ługowaniem amoniakalnym (kongrecje ogrzewa się reduktorami, a następnie po wychłodzeniu ługuje się je roztworem wodnym amoniaku i węglanów) [3].

4. Potencjalne zagrożenia eksploatacji kongrecji polimetalicznych

Morskie operacje górnicze związane z eksploatacją złóż zasobów kopalnin wiążą się z licznymi zagrożeniami. Różne konstrukcje wchodzące w skład kompleksu wydobywczego posadowione na większych i mniejszych głębokościach oraz pływające, połączone rurociągami czy kablami z obiektami całkowicie zanurzonymi posadowionymi na dnie są narażone na działanie sił morza, fali, prądów morskich oraz wiatru działającego na nawodną część układu. Największe zagrożeniu występuje ze strony falowania morskiego. Przy projektowaniu wszelkich konstrukcji dla operacji górniczych na morzu należy przeprowadzić szczegółową analizę ryzyka, a także liczyć się z możliwością wystąpienia tzw. fali monstrialnej. Innym typem zagrożeń są wypadki morskie. Do takich wypadków zaliczamy: zderzenie statków, zetknięcie statku z dnem lub przeszkodą, uderzenie statków w budowlę, z urządzeniem lub instalacją, wszelkiego rodzaju pożary, a także zdarzenia wywołane przez wady konstrukcyjne. Wszelka pomoc w takich przypadkach jest z reguły utrudniona ze względu na warunki środowiskowe. Podjęcie działalności ludzkiej na morzu obarczone jest dużym ryzykiem. Nowe wyzwania w rodzaju przeprowadzenia wydobywania na pełnym morzu lub oceanie, wiążą się z powstaniem nierozpoznanych jeszcze zagrożeń [5]. Eksploatacja złóż kongrecji polimetalicznych stanowi potencjalne zagrożenie związane z ingerencją w ekosystem odznaczający się określoną dynamiką oraz złożonością różnych procesów oraz zjawisk. Wyniki dotychczasowych badań [1] wskazują jednak na naturalną zdolność środowiska do rekultywacji dna. W dalszych badaniach koordynowanych przez Międzynarodową Organizację Dna Morskiego ONZ (ISA), przewidywane jest występowanie poligonów, w tym na obszarze Interocyanmetal (IOM) oraz włączenie ich w sieć monitoringową pola Clarion – Clipperton (ok. 2 mln km²), w celu oceny stopnia dopuszczalnej ingerencji oraz ustalenia zakresu kontrolnych badań monitoringowych [1].

5. Podsumowanie

Przedstawione propozycje różnych instalacji wydobywczych są znane już od wielu lat. Wciąż jednak brak jest (lub nie są publikowane oceny) rozwiązań konstrukcyjnych, doświadczeń oraz rzetelnych analiz teoretycznych i obliczeniowych. Każda metoda ma swoje wady i zalety i aż do dzisiaj jest zbyt mało danych, aby jednoznacznie wskazać, która z nich jest najlepsza. Obecne prace laboratoryjne i testy mają charakter poufny i nie można ich wykorzystać do wyboru odpowiedniej instalacji i budowy prototypu. Dlatego niezbędne jest przeprowadzenie odpowiednich badań teoretycznych, wykorzystując np. technologie wirtualne. Innym problemem jest określenie konkretnych parametrów projektowych całego systemu. Problemem są przede wszystkim bardzo duże trudności techniczne, które wynikają z dużej głębokości eksploatacji, rozmieszczenia surowców, geologii morskiej, prawdopodobieństwa wystąpienia trudnych warunków pogodowych oraz dużej odległości od stałych lądów. To wszystko wiąże się z ogromnymi kosztami badań i budowy przemysłowego kompleksu wydobywczego. Przemysłową eksploatację tego typu należy więc rozpatrywać w całości jako system urządzeń wydobywczych, transportowych i przerobczych. Stanowi to niezwykle trudne wyzwanie dla konstruktorów tego typu obiektów. Opłacalność eksploatacji zależy przede wszystkim od cen danych kopalnin.

Zagospodarowanie złóż wiąże się z zagrożeniem ekosystemów morskich w wyniku eksploatacji. W przyszłości inwestorzy będą zmuszeni do uwzględnienia barier ekologicznych w swoich planach wkraczania w ten mało zmieniony ekosystem Ziemi.

Literatura

1. *Abramowski T., Kotliński R.*: Współczesne wyzwania eksploatacji oceanicznych kopalnin polimetalicznych. „Górnictwo i Geoinżynieria” 2011, R. 35, z. 4/1.
2. *Brożyna A., Kozioł W.*: Prognozy wyczerpywania się bazy zasobów kopalnin – teoria i praktyka. „Przeгляд Górnicy” (w druku)
3. *Charewicz W., Chmielewski T., Kubista V., Chaoyin Z.*: Metody przetwarzania kongrecji oceanicznych. XXXVI Seminarium Fizykochemiczne Problemy Metalurgii 1999 (<http://www.minproc.pwr.wroc.pl/journal/pdf/1999%20sem/str13-31.pdf>)
4. *Depowski S., Kotliński R., Ruhle E., Szamalek K.*: Surowce Mineralne Mórz i Oceanów. Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR, Warszawa 1998.
5. *Gerigk M.*: Metoda oceny bezpieczeństwa obiektów oceanotechnicznych zorientowana na ocenę zachowania się obiektu i ocenę ryzyka wypadku. Procedura zarządzania bezpieczeństwem obiektu. „Górnictwo i Geoinżynieria” 2011, R. 35, z. 4/1.
6. *Rowiński A.*: Wydobywanie Kongrecji Polimetalicznych za pomocą autonomicznych pojazdów głębinowych. „Górnictwo i Geoinżynieria” 2011, R. 35, z. 4/1.
7. *Szamalek K., Mizerski W.*: Surowce mineralne z dna mórz i oceanów – stan rozpoznania i perspektywy. „Górnictwo i Geoinżynieria”, 2011, R. 35, z. 4/1.
8. *Sanak-Rydlewska S., Gala A.*: Metody odzysku niektórych metali z kongrecji oceanicznych. „Górnictwo i Geoinżynieria” 2011, R. 35, z. 4/1.