

*Tomasz Abramowski**, *Tadeusz Szelangiewicz***

EKSPLOATACJA ZŁOŻ POLIMETALICZNYCH KONKRECCI Z DNA OCEANU

1. Wstęp

Kurczenie się lądowych zasobów rud metali, surowców energetycznych i innych użytecznych kopalin a także nierównomierne rozmieszczenie lądowych złóż surowców na świecie będące przyczyną napięć politycznych i ewentualnych kryzysów gospodarczych zmuszają ludzkość do poszukiwania nowych złóż na obszarach dna i pod dnem mórz i oceanów. Poszukiwanie złóż surowców i ich wydobycie z dna lub spod dna morskiego trwają już od kilkudziesięciu lat (ropa naftowa, gaz ziemny, kruszywa, piaski rudonośne) z małych i średnich głębokości. Od lat 70. XX wieku prowadzone są także badania nad możliwością wydobycia polimetalicznych konkrecji, zawierających wiele cennych metali, z dużych głębokości rzędu 4–6 tys. m.

Podczas ekspedycji badawczej brytyjskiej korwety HMS „Challenger” [13] trwającej od grudnia 1872 roku do maja 1876 roku, w trakcie pobierania próbek z dna oceanicznego, wydobyto bryłki wyglądem przypominające ziemniaki. Wydobyte bryłki, będące rudami metali, zostały wstępnie zbadane i wyniki tych prac zostały opublikowane w 1891 r. przez J. Murray’a i A. F. Renarda. Informacja ta nie wywołała jednak większego zainteresowania i dopiero od 1957 roku amerykański badacz J. Mero rozpoczął ponowne badania i poszukiwania tych rud metali [12]. Na początku lat 60. XX wieku zorganizował ekspedycje naukowe na Pacyfiku w celu poszukiwań i wydobycia tych rud metali, które nazwane zostały konkrecjami żelazowo-manganowymi. Nazwa tych rud pochodzi od sposobu ich formowania się oraz od przeważającego składnika — żelaza lub manganu. Konkrecje, oprócz żelaza i manganu zawierają wiele innych cennych metali: nikiel, miedź, kobalt oraz w bardzo ma-

* Wydział Techniki Morskiej i Transportu, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie; Wspólna Organizacja Interoceanmetal (IOM), Szczecin

** Wydział Techniki Morskiej i Transportu, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

łych ilościach ołów, molibden, wanad, tytan i inne metale. Ze względu właśnie na te cenne metale, od lat 60. XX wieku rozpoczęto poszukiwania złóż koncentracji żelazowo-manganowych za pomocą statków badawczych: „Albatros” (USA), „Meteor” i „Valdivia” (RFN), „Discoverer” (Anglia), Witiaż (ZSRR). W wyniku tych badań złoża koncentracji żelazowo-manganowych odkryte zostały na Oceanie Atlantyckim i Indyjskim oraz na Pacyfiku. Najliczniejsze i najbogatsze złoża koncentracji znajdują się na głębokościach 4000–6000 m. W bardzo małych ilościach występują one i na innych akwenach i na mniejszych głębokościach (śladowe ilości koncentracji są także na Bałtyku [11]). Konkrety manganowe częściej pokrywają dno morskie przeważnie jako pojedyncza warstwa w ilości od kilku do 20 kg/m². Mają kształt nieforemnych bryłek o obłych kształtach. Średnice ich wynoszą najczęściej 3–5 cm, a waga do kilku kilogramów (zdarzają się okazy o wadze od kilkunastu do kilkuset kilogramów. Masa właściwa koncentracji zależy od ich składu chemicznego i średnio wynosi około 2–3 g/cm³.

2. Przemysłowa eksploatacja złóż koncentracji

Bardzo duże trudności techniczne wynikające z dużej głębokości wydobywania, możliwości występowania ciężkich warunków pogodowych oraz duża odległość złóż od stałych lądów powodują, że eksploatacja tych złóż wiąże się z bardzo dużymi kosztami najpierw badań a później z budową przemysłowego systemu wydobywczego. Przemysłową eksploatację tych złóż należy więc rozpatrywać w całości jako system urządzeń wydobywczych, transportowych i przetwórczych (rys. 1).

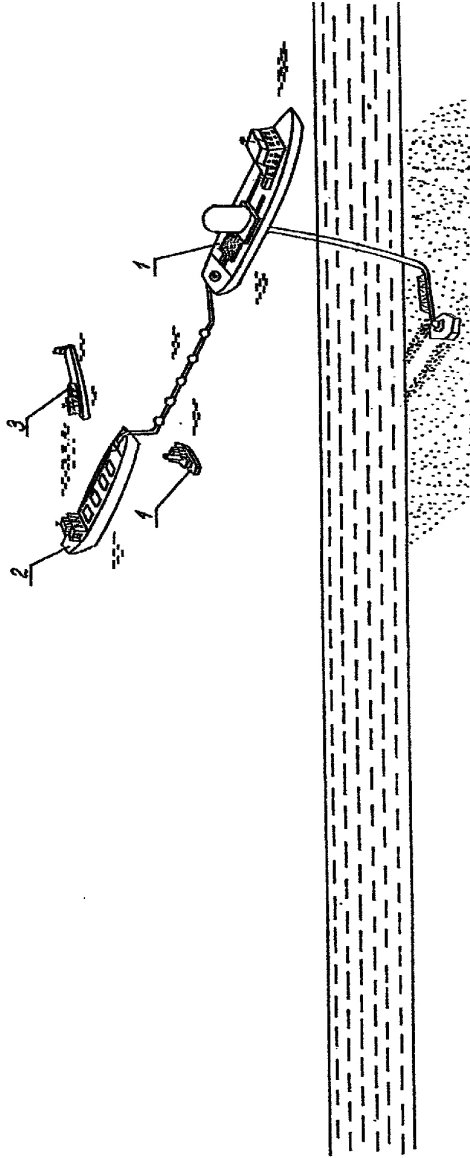
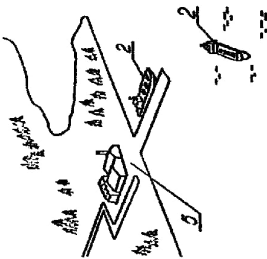
Najbardziej istotną częścią całego systemu eksploatacyjnego jest kompleks wydobywczy, który będzie realizował następujące zadania:

- zbieranie koncentracji z dna oceanu,
- wydobicie ich na powierzchnię morza (na jednostkę wydobywczą),
- wstępne oczyszczenie,
- okresowe składowanie w ładowni jednostki wydobywczej,
- przeładunek koncentracji na jednostki transportowe.

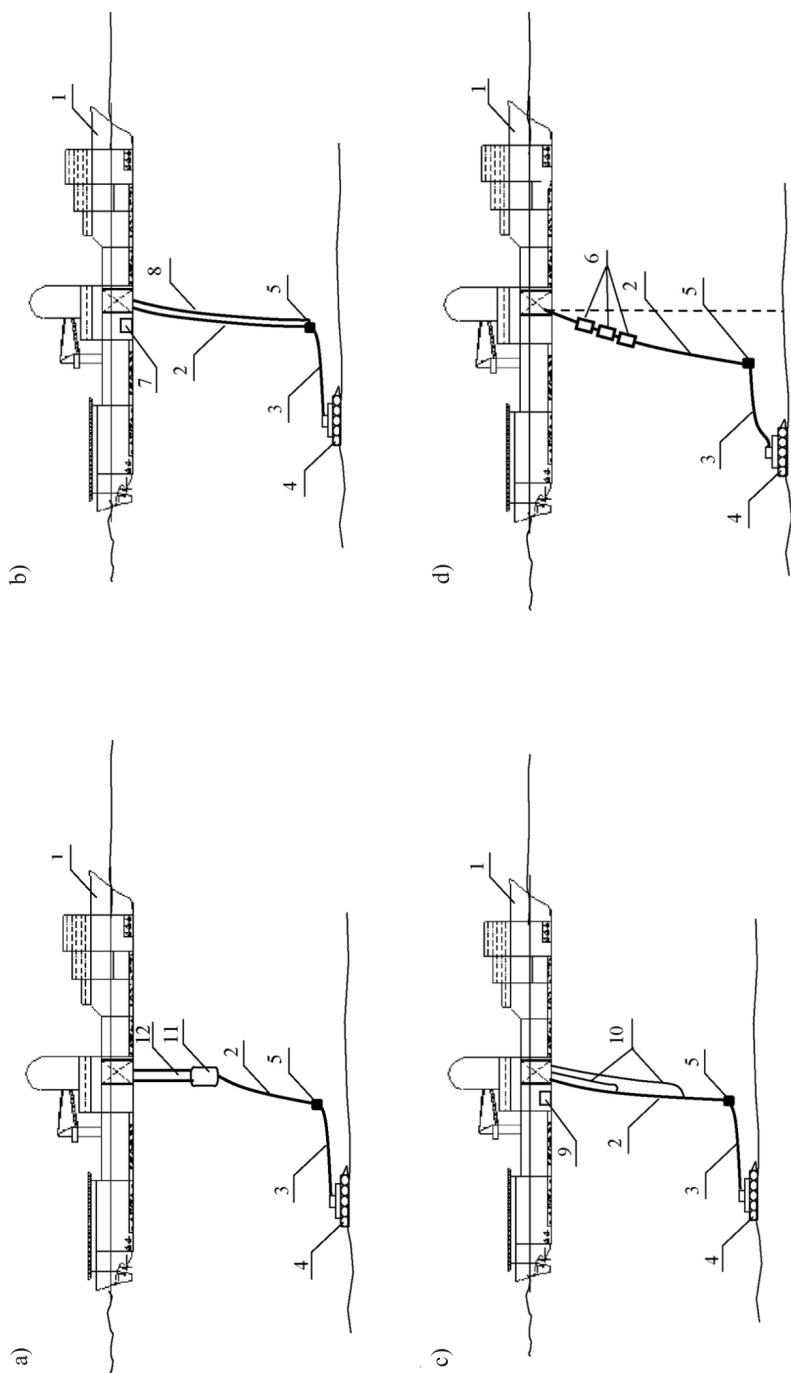
Proces wydobywania koncentracji, przedstawiony na rysunku 2 jest realizowany przez trzy podstawowe urządzenia, tj.:

- 1) denny pojazd zbierający,
- 2) instalację wydobywczą,
- 3) pływającą jednostkę wydobywczą.

Wprawdzie istnieją także inne rozwiązania systemów wydobywczych, niż przedstawiony na rysunku 2, jednak zawsze taki system musi wykonywać zadania — zbierania i wydobywania, które muszą być realizowane przez urządzenia współpracujące ze sobą i tworzące jedną całość.



Rys. 1. System wydobywczo-transportowy:
 1 — kompleks wydobywczy; 2 — statki transportowe; 3 — statek zaopatrzeniowy;
 4 — statek obsługi technicznej; 5 — baza ładowa



Rys. 2. Przykłady hydraulicznych instalacji wydobywczych: a) z podwodną komorą separacyjną; b) dwururowa z pompami na pokładzie statku wydobywczego; c) hydrauliczno-pneumatyczna; d) jednorurowa z pompami głębinowymi: 1 — statek wydobywczy, 2 — pionowy rurociąg wydobywczy, 3 — poziomy, elastyczny rurociąg, 4 — agregat zbierający konkreje, 5 — bufor, 6 — pompy głębinowe, 7 — pompy na pokładzie statku, 8 — rurociąg przesyłający czystą wodę, 9 — kompresory, 10 — rury dostarczające sprężone powietrze, 11 — podwodna komora separacyjna z pompami, 12 — mechaniczny system pionowego transportu konkreji

Pierwsze próby wydobywania polimetalicznych konkrecji rozpoczęto bardzo wcześnie bo już od początku lat 70. XX wieku.

Powstałe w USA przedsiębiorstwo Deepsea Venture Inc. jako pierwsze na świecie, latem 1970 roku, rozpoczęło próbne wydobywanie konkrecji z głębokości 750 m w rejonie Blake Plateau na Oceanie Atlantyckim [14]. Do tego celu wykorzystano mały statek transportowy, który po przebudowie nosił nazwę „Deepsea Miner”. Ta sama firma w roku 1976 przebudowała większy statek i przystosowała go do wydobywania konkrecji z dużych głębokości. Statek „Deepsea Miner II” w roku 1977 prowadził testy instalacji wydobywczej na Oceanie Spokojnym na głębokości około 5000 m [3, 9]. Także w USA w 1974 roku został zbudowany statek naukowo-badawczy „Hughes Glomar Explorer” [2] zaprojektowany do różnych prac oceanotechnicznych, m.in. do wydobywania polimetalicznych konkrecji. Na tym statku były prowadzone testy różnych instalacji wydobywczych na głębokościach ok. 6000 m. W 1977 roku w USA był statek wiertniczy „Sedco” 445” [1, 4] został przebudowany na statek do testów instalacji hydraulicznej do wydobywania konkrecji — testy rozpoczęto w 1988 roku. Testy instalacji wydobywczych na wymienionych statkach prowadzone były w bardzo korzystnych warunkach pogodowych i trwały po kilka dni. Mimo sprzyjających warunków pogodowych zdarzały się jednak awarie.

Równoległe z pracami projektowymi i eksperymentalnymi związanymi z wydobywaniem konkrecji, opracowywane były technologie ich przeróbki. Jedną z takich technologii [29], opracowaną przez przedsiębiorstwo Depsea Ventures, dotyczyła przeróbki konkrecji za pomocą skomplikowanego hydrometalurgicznego procesu chemicznego [13]. W zbudowanym eksperymentalnym zakładzie w Wirginii (USA), przerabiającym dziennie 1 tonę pokruszonych konkrecji, otrzymane czyste metale stanowiły około 98% pierwotnej wagi metali zawartych w oczyszczonych konkrecjach. Zaletą tego typu zakładów przetwórczych jest mniejsze zanieczyszczenie naturalnego środowiska niż podczas przeróbki rud metali w konwencjonalnych zakładach stosujących technologię hutniczą.

Przygotowania do przemysłowej eksploatacji złóż konkrecji żelazowo-manganowych rozpoczęto z chwilą podjęcia pierwszych testów instalacji do ich wydobywania.

Jeden z pierwszych programów został opracowany przez firmę Depsea Ventures Inc. (USA), który składał się z 4 etapów [5]:

- 1) do 1974 — badania geologiczne, metalurgiczne ekonomiczne i techniczne instalacji wydobywczej;
- 2) w latach 1975–1977 — dalszy rozwój technik wydobywczych, doświadczalna przeróbka konkrecji, weryfikacja kosztów wydobycia;
- 3) w latach 1978–1980 — budowa systemu wydobywczo-transportowego, budowa lądowego zakładu przetwórczego, negocjacje handlowe;
- 4) po 1981 roku — działalność komercyjna — przemysłowa eksploatacja złóż konkrecji.

Ten optymistyczny projekt został szybko zweryfikowany. Ogromne trudności natury technicznej a także konkretne uregulowania prawne wynikające z III Konwencji Prawa Morskiego i utworzenie Organizacji Dna Morskiego, podlegającej ONZ (Organizacja Dna

Morskiego ustaliła rozciągniętą w czasie procedurę podjęcia przemysłowej eksploatacji) bardzo opóźniły moment rozpoczęcia przemysłowej eksploatacji rud metali z dna oceanu.

3. Metody wydobywania konkrecji

Od momentu rozpoczęcia badań nad możliwością przemysłowego wydobywania konkrecji, opracowano wiele metod wydobywania, które można podzielić na 3 grupy:

- 1) metody hydrauliczne,
- 2) metody mechaniczne (linowo-pojemnikowe),
- 3) metody z autonomicznymi zanurzalnymi barkami.

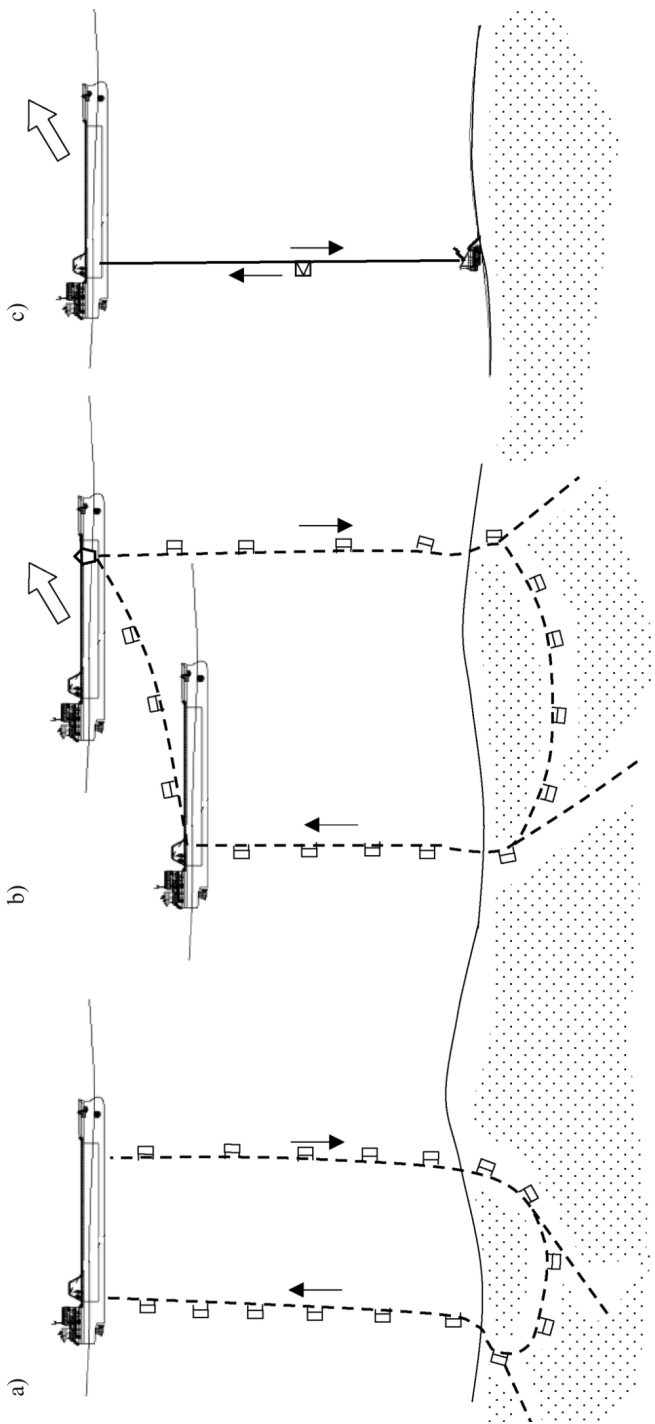
W metodach hydraulicznych wydobywanie konkrecji odbywa się w wyniku przepływu w rurociągu wydobywczym czynnika roboczego: wody lub też wody z wtłaczanym do rurociągu powietrzem. Do pionowego rurociągu wydobywczego konkrecje podawane są z agregatu zbierającego je z dna oceanicznego za pośrednictwem elastycznego rurociągu.

W grupie instalacji hydraulicznych najczęściej rozpatrywane są następujące warianty (rys. 2):

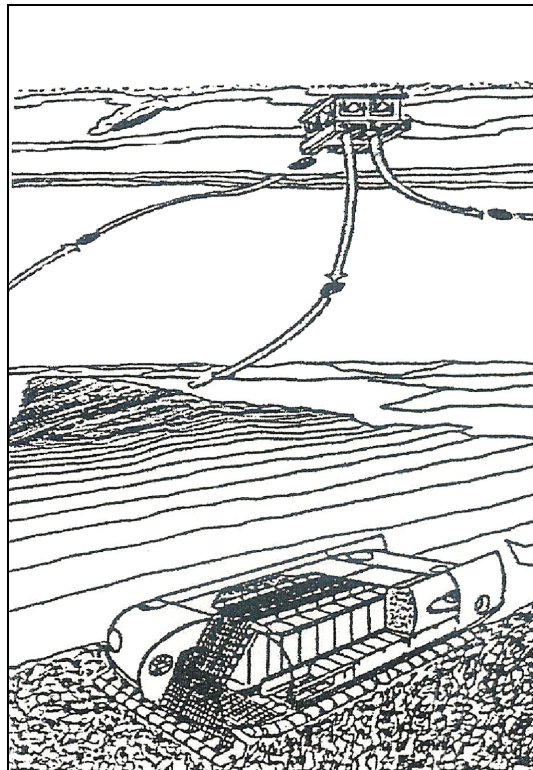
- jednorurowa z pompami głębinowymi (testy były prowadzone m.in. na statkach: „Hughes Gloman Explorer”, „Sedco 445”);
- jednorurowa z wtłaczanym powietrzem (testy na statkach „Deepsea Miner” i „Deepsea Miner II”);
- dwururowa z pompami tłoczącymi wodę umieszczonymi na pokładzie statku wydobywczego;
- jednorurowa z podwodną komorą separacyjną (z komory separacyjnej konkrecje mogą być wydobywane na statek urządzeniem mechanicznym).

W metodach mechanicznych wydobywanie konkrecji ma być realizowane za pomocą pojemników przymocowanych do lin przewijanych (podnoszonych i opuszczanych) przez system wciągarek umieszczonych na pokładzie statku wydobywczego (rys. 3). Metoda przedstawiona na rysunku 3a została opracowana przez japońską firmę Sumito Shoji Kaisha Ltd. [10] a testy przeprowadzono we wrześniu 1970 roku na statku „Chiyoda Maru No. 2” na głębokości 3700 m (wydobywano głównie piasek). Metoda ta była dalej rozwijana przez francuskie spółki CNEXO [7] i AFERNOD [6] (rys. 3b). Ze względu na brak zadowalających rezultatów oba te warianty zarzucono a powstały następne (rys. 3c), w których agregat zbiera konkrecje z dna i przeladowuje na pojemniki podnoszone układem linowym na pokład statku wydobywczego.

W metodach z podwodnymi barkami, konkrecje są podnoszone z dna w ładowniach autonomicznych zanurzalnych barek, które mogą same zbierać konkrecje lub też mogą być załadowywane na dnie za pomocą agregatu zbierającego konkrecje (rys. 4).



Rys. 3. Przykłady mechanicznych instalacji wydobywczych:
 a) metoda linowo-kubłowa z jednym statkiem (wersja japońska); b) metoda linowo-kubłowa z dwoma statkami (wersja francuska); c) metoda linowo-pojemnikowa z agregatem zbierającym konkreje



Rys. 4. Przykład systemu wydobywczego z samozanurzalnymi barkami zbierającymi konkracje [8]

Z tego krótkiego opisu wynika, że w literaturze jest przedstawionych wiele metod wydobywczych, istnieje bardzo dużo patentów i nie jest wykluczone, że mogą być opracowywane nowe, o których aktualnie brak jest informacji.

4. Wstępna ocena metod w zastosowaniu do przemysłowego wydobywania konkracji

W grupie metod hydraulicznych najbardziej preferowana jest metoda jednorurowa z pompami głębinowymi. Brak jest jednak analiz dotyczących zużycia rur i pomp w wyniku przepływu konkracji, ich stopnia rozdrobnienia oraz ewentualnego osadzania rozdrobnionych konkracji na ściankach rurociągu. Brak jest też informacji o wpływie lokalnych zmian prędkości przepływu konkracji i ewentualnego zagrożenia zaczopowaniem rurociągu. Metoda pneumatyczno-hydrauliczna, początkowo bardzo atrakcyjna, ma poważną wadę: rozprężające się w górnej części rurociągu powietrze powoduje przerwanie przepływu

mieszaniny wody i konkrecji. Rozważano także możliwość częściowego odprowadzenia powietrza z górnego odcinka rurociągu, ale nie spowodowało to radykalnego rozwiązania tego problemu. Metoda hydrauliczna 2-rurowa wprawdzie zapewnia lepsze warunki pracy pomp to jednak jej konstrukcja (2 rury) jest bardzo kłopotliwa do montażu na morzu, powoduje dużo większy opór w czasie ruchu statku wydobywczego oraz niesymetryczny opór instalacji rurowej, co powoduje jej skręcanie. Metoda z podwójną komorą separacyjną jest najbardziej atrakcyjna jeżeli chodzi o zapotrzebowanie energii do podnoszenia konkrecji. Jednak mechaniczne podnoszenie konkrecji z komory separacyjnej na pokład statku wydobywczego jest na morzu trudne technicznie i niepewne.

Pierwsze projekty instalacji mechanicznych (rys. 3 a i b) nie zdały egzaminu, ponieważ brak jest możliwości sterowania i kontroli umożliwiających równomierne zbieranie konkrecji z wyznaczonej działki dna oceanicznego. Także wszelkie nierówności dna uniemożliwiają prawidłową pracę tego typu instalacji wydobywczych. W ostatnio proponowanych rozwiązaniach (rys. 3c), konkrecje z dna oceanicznego ma zbierać agregat denny (tak jak w metodach hydraulicznych) a zebrane konkrecje przeładowywać do pojemników podnoszonych układem linowym na pokład statku. Problemem jest zasilanie agregatu zbierającego, automatyczne przeładowywanie konkrecji oraz prawidłowe działanie układu linowego na tak dużych głębokościach wody.

Podwodne autonomiczne barki nie są rozwiązaniem nowym jednak najpoważniejszym problemem jest system do ciąglego zanurzania i wynurzania się barek (procesu tego nie można realizować przy pomocy sprężonego powietrza) a także nawigacja w pobliżu dna tak aby pole konkrecji było dokładnie wyeksploatowane.

5. Wnioski końcowe

- 1) Mimo, że przedstawione wyżej propozycje instalacji wydobywczych, łącznie z ich różnymi modyfikacjami i odmianami znane są od wielu lat, to jednak w literaturze światowej brak jest szczegółowych rozwiązań konstrukcyjnych, wyników doświadczeń z instalacjami laboratoryjnymi lub prototypami, lub też rzetelnych analiz teoretycznych i obliczeniowych. Każda z metod wydobywania konkrecji ma swoje wady i zalety, i do dnia dzisiejszego jest zbyt mało opublikowanych danych aby można było jednoznacznie wskazać, która z nich będzie najbardziej niezawodna i efektywna ekonomicznie. Wyniki aktualnie prowadzonych prac laboratoryjnych i testów na morzu są poufne, i nie można ich wykorzystać najpierw do wyboru odpowiedniej instalacji, a następnie budowy jej prototypu. Niezbędne jest więc przeprowadzenie badań teoretycznych łącznie z modelowaniem komputerowym wirtualnych systemów aby móc wybrać najbardziej efektywną i niezawodną metodę do przemysłowego wydobywania konkrecji.
- 2) Oddzielnym problemem, po ustaleniu jaka metoda wydobywania będzie najbardziej efektywna i niezawodna, jest określenie parametrów projektowych urządzeń i całego

systemu przedstawionego na rysunku 1 — wydajność wydobywania konkrecji, objętość ładowni statku wydobywczego, liczba i nośność statków transportowych itp. parametry. Cały system przedstawiony na rys. 1 musi zostać zoptymalizowany tak aby koszty wydobycia i transportu na ląd 1 tony konkrecji były jak najniższe. W literaturze są przedstawione wyniki takich optymalizacji ale niestety bazują one na zbyt mało wiarygodnych danych lub są zbyt uproszczone. W tym zakresie należy także prowadzić obliczenia optymalizacyjne bazujące na dokładniejszych modelach matematycznych systemów wydobywczych oraz dla bardziej wiarygodnych danych np. ekonomicznych.

LITERATURA

- [1] Converted drillship will begin deepsea mining test in October. *Ocean Industry*, 1977, No. 6, pp. 79–84.
- [2] *Conzens A.*: Mystery ship awaits new identity in the offshore. *Offshore*, 1976, No.6, pp. 58–64.
- [3] Depsea Miner II completes the first phase of sea trials. *Ocean Industry*, 1977, No. 4, pp. 75–76.
- [4] Erfolgreicher Mangankollen-Födertest. *Hansa*, 1979, No. 8, pp. 651–652.
- [5] *Flipse J.E.*: Ocean mining — its promises and its problems. *Ocean Industry*, 1975, No. 8, pp. 133–136.
- [6] *Lenoble J.P.*: The French Research Program for Deep Sea Mining as the Polymetallic Nodules Deposits, Institut Francais de Recherche pour l'Exploitation, 1993.
- [7] Les nodules polymetalliques. *Revue Maritime*, 1980, No. 352, pp. 28–45.
- [8] *Lin F., Yang N.*: Environmentally Friendly Deep Seabed Mining System, International Seabed Authority, 1999, pp. 187–211.
- [9] Mangankollen-Förderung im Pilotmasstat angelaufen“, *Meerestechnik*, 1978, No. 2, pp. 47–50.
- [10] *Masuda Y., Cruickshank M.J., Mero J.L.*: Continuons Bucket-Line Dredging at 12.000 Feet. OTC Houston, 1971, ref. 1410.
- [11] *McKelvey V.E., Wang F.H.*: World Subsea Mineral Resources. U.D. Geol. Survey, 1969.
- [12] *Mero I.L.*: Ocean — mining — a Potencjal Major new Industry. World Dredging Conf., 1967, New York, pp. 625–641.
- [13] *Swan D.A.*: The Potential of Manganese Nodules as a Future Mineral Resourec. *Marine Technology*, 1974, No. 1, pp. 9–18.
- [14] *Weber M.*: The airlift method and its applicability to deep-sea mining. *Meerestechnik*, 1976, No. 6, pp. 189–199.