

# MOŻLIWOŚCI I UWARUNKOWANIA TECHNOLOGICZNE EKSPLOATACJI KONKREKCI POLIMETALICZNYCH

## POSSIBILITIES AND TECHNOLOGICAL CONDITIONS OF POLYMETALLIC NODULES EXCAVATION

Wiesław Koziol - AGH w Krakowie, Katedra Górnictwa Odkrywkowego

Marcin Mazur - AGH w Krakowie, Katedra Maszyn Górniczych Przeróbczych i Transportowych

*W artykule przedstawiono metody i układy technologiczne wykorzystywane lub projektowane do eksploatacji oceanicznych złóż konkrecji polimetalicznych. Przytoczono podział tych metod ze względu na techniki urabiania i odstawy. Opisano poszczególne rozwiązania agregatów wykorzystywanych podczas pozyskiwania konkrecji. Dokonano oceny poszczególnych technologii. Dodatkowo przedstawiono przykładowy podział oceanicznych zasobów surowców mineralnych ze szczególnym uwzględnieniem konkrecji polimetalicznych.*

**Słowa kluczowe:** górnictwo morskie, podmorskie złoża surowców, konkrecje polimetaliczne

*The article presents methods and technological systems used or designed for excavation of oceanic deposits of polymetallic nodules. Presented division of those methods due to the technology of mining and haulage. The different solutions of devices used during polymetallic nodules excavation were presented. An assessment of each technology was done. In addition, presented an example of division of ocean mineral resources with particular emphasis on polymetallic nodules.*

**Key words:** marine mining, offshore raw materials deposits, polymetallic nodules

### Wstęp

Wiek XXI rozpoczął się dalszym, szybkim rozwojem zjawisk globalnych takich, jak nasilony przyrost ludności, rosnące zapotrzebowanie na energię oraz intensywny wzrost zanieczyszczeń. Populacja świata pod koniec XX wieku osiągnęła prawie 7,0 miliardów, a według niektórych prognoz w 2050 r. osiągnie około 10,0 miliardów [10]. Głównym wyzwaniem w XXI wieku jest więc zapewnienie rozwoju cywilizacji przy rosnącym zapotrzebowaniu na żywność, surowce przemysłowe i energetyczne, a także zabezpieczenie dostępu do złóż kopalin, zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Pewnym rozwiązaniem tego problemu jest poszukiwanie nowych zasobów na obszarach podmorskich. Wydobycie z dna i spod dna morza określonych surowców wiąże się z uzyskaniem paliw do wytwarzania energii elektrycznej lub surowców metalicznych do produkcji metali, surowców mineralnych do produkcji materiałów budowlanych czy też surowców stosowanych w przemyśle chemicznym [6]. Stąd podejmowane są działania zmierzające do racjonalnego wykorzystywania podmorskich złóż kopalin.

### Zasoby złóż oceanicznych

Podział kopalin i surowców mineralnych oceanu może być dokonany na podstawie różnych kryteriów. Można je wyróżnić w zależności od ich występowania w różnych elementach morfostukturalnych oceanu, przyjmując za kryterium zwiększający się dystans od granicy morze – ląd („podział poziomy”) lub głębokość zalegania („podział pionowy”). Użyteczny i praktyczny (oraz często stosowany) jest podział zasobów morskich według kryterium użyteczności na złoża kopalin: energetycznych, chemicznych, mechanogenicznych, polimetalicznych oraz złoża kruszyw naturalnych.

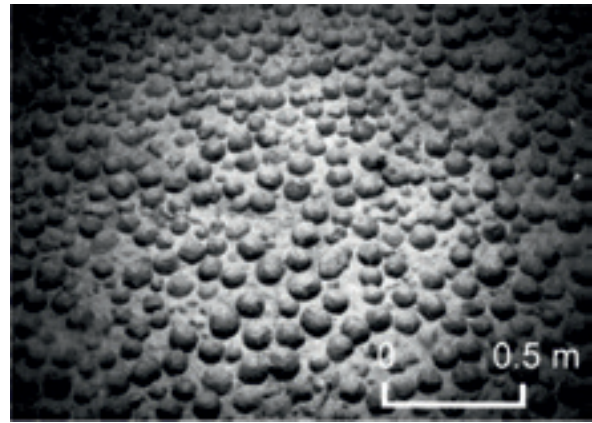
Kopaliny energetyczne to oczywiście ropa naftowa i gaz ziemny, ale również węgiel kamienny i gazohydraty metanu. Podmorskie złoża ropy i gazu eksploatowane są już od dawna i przewiduje się dalszy wzrost ich wydobywania. Eksploatacja węgla spod dna oceanu była prowadzona na niewielką skalę i tylko w kilku regionach (Wyspy Brytyjskie, Japonia, Spitsbergen). Obecnie wydobywanie zostało prawie całkowicie zaniechane i ze względów ekonomicznych i gospodarczych nie jest planowane jego wznowienie na większą skalę. Bardzo

obiecującą wydaje się perspektywa eksploatacji podmorskich złóż gazohydratów metanu. Ze wstępnych rozpoznawczych wyników wynika, że ilość metanu zawarta w tych utworach znacznie przekracza ilości odkryte dotychczas na lądzie. W najbliższej przyszłości należy spodziewać się zwiększonego zainteresowania eksploatacją złóż gazohydratów metanu.

Do kopaliny chemicznych wydobywanych z rejonów morskich należy zaliczyć złoża siarki rodzimej, fosforytów, soli kamiennej i soli potasowo magnezowych oraz barytu i glaukonitu.

Złoża mechanogeniczne (okruchowe, rozsypiskowe) są złożami wtórnymi. Oznacza to, że skała macierzysta zawierająca składnik użyteczny (minerał, pierwiastki w stanie rodzimym) znajduje się w innym, dalej położonym miejscu niż obecna lokalizacja takiego nagromadzenia. Złoża te mają najczęściej postać piasków zalegających w niewielkiej odległości od granicy ląd – morze. Najczęściej eksploatowane są złoża piasków: tytanonośnych, kasyterytowych (cynonośnych), złotonośnych i platynonośnych.

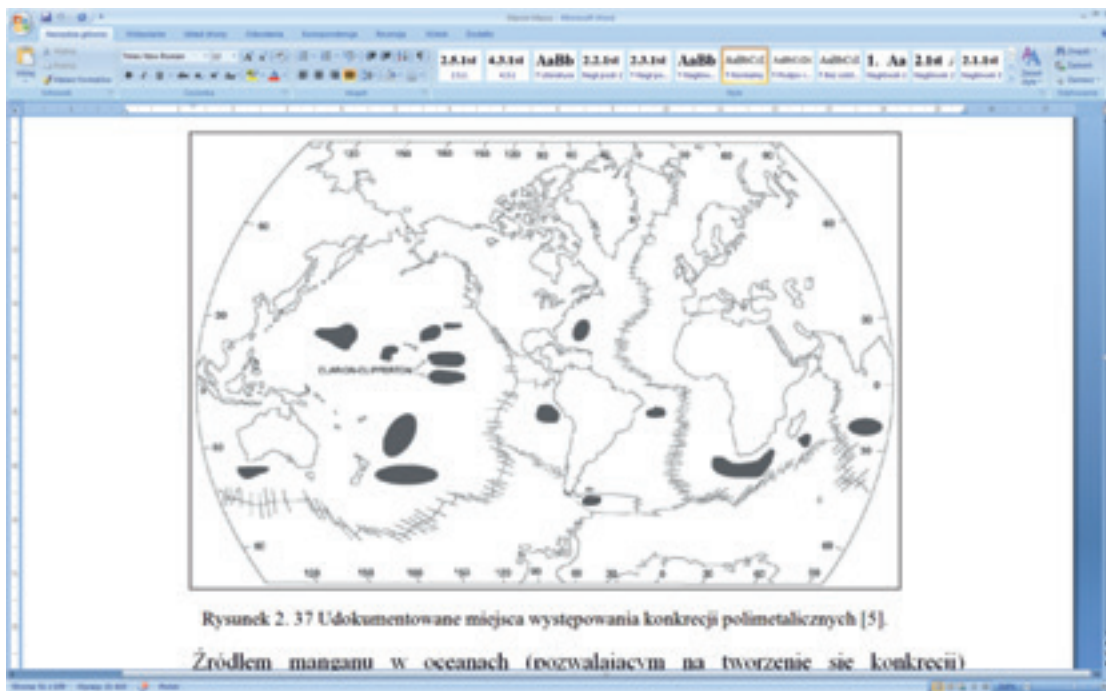
Złoża kruszyw naturalnych występują głównie w strefach brzegowych i przybrzeżnych, w obrębie ławic, płycizn i wałów brzegowych. Obejmują one piaski, żwiry i otoczaki, zajmując około 70% powierzchni szelfu. Tworzą je naturalne nagromadzenia okruchów skał magmowych i metamorficznych oraz ziarna



Rys. 1. Zdjęcie dna oceanicznego pokrytego konkrecjami [11]

Fig. 1. Picture of the ocean floor covered with polymetallic nodules [11]

idealnymi utworami mineralnymi, powstającymi w środowisku wodnym, zarówno wód słonych, jak i słodkich. Stanowią one naturalne, polimetaliczne skupienia tlenków żelaza i manganu oraz minerałów ilastych, zawierające ponad 50 pierwiastków, z których wiele występuje w zawartościach wyższych niż ich koncentracje w złożach lądowych. Występują prawie wyłącznie na powierzchni dna oceanicznego (sporadycznie tylko jako pogrążone w osadzie) w postaci konkrecji i mikrokonkrecji (rys. 1).



Rys. 2. Udokumentowane miejsca występowania konkrecji polimetalicznych [4]

Fig. 2. Documented locations of polymetallic nodules [4]

mineralne. W niektórych krajach Unii Europejskiej kruszywa pozyskiwane z dna morskiego w znacznym stopniu zastępują surowiec wydobywany ze złóż lądowych, mając niekiedy podstawowe znaczenie regionalne[6].

Kopaliny polimetaliczne są (obok kopaliny energetycznych) najważniejszą grupą surowcową, której potencjał w złożach morskich znacznie przewyższa zasoby złóż kontynentalnych. Wśród najważniejszych morskich kopaliny polimetalicznych należy wymienić: ily metalonośne, polimetaliczne rudy siarczkowe, naskorupienia kobaltonośne, oraz konkrecje polimetaliczne.

Konkrecje polimetaliczne (nazywane również konkrecjami Fe-Mn) są szeroko rozpowszechnionymi specyficznymi, sfero-

Podstawowymi składnikami konkrecji są minerały żelaza (getyt, akageneit) i manganu (todorokit, wernadyt). Oprócz grupy metali głównych (grupy żelaza) występują w nich metale nieżelazne, rzadkie i szlachetne. W grupie metali żelaza ważne znaczenie przemysłowe mają Mn, Ni, Co, Mo (ponadto V, W), a z pozostałych głównie Cu (a także Au, Pd, Ir, Pt, Nb, Hf, Ta, Cr, Nd, Yb, Cd, In, Sb, Tl, Pb, Bi). Konkrecje odznaczają się wilgotnością w stanie naturalnym 28-35% [5]. Pokrywają olbrzymie powierzchnie dna oceanicznego i występują na głębokości rzędu 3800-5500 m. Nagromadzenia o znaczeniu przemysłowym są jednak ograniczone tylko do kilku tzw. konkrecjonośnych obszarów złożowych (rys. 2). Za obszary

złożowe kongrecji polimetalicznych uznawane są takie partie dna oceanicznego, gdzie na 1 m<sup>2</sup> dna występuje więcej niż 10 kg kongrecji. Perspektywiczne znaczenie ma w zasadzie sześć pól. Są to: Clarion-Clipperton, peruwiańskie (rejon wschodni), kalifornijskie, Menarda, centralno pacyficzne i centralno indyjskie. Pierwsze z nich zajmuje szczególną pozycję wśród wyżej wymienionych. Charakteryzujące się ono wysokim średnim wskaźnikiem kongrecjoności (powyżej 10 kg/m<sup>2</sup>) oraz najwyższą koncentracją metali w kongrecjach. Średnie zawartości głównych metali w kongrecjach pozyskiwanych na tym polu wahają się dla manganu 25÷28%, niklu 1,14÷1,25%, miedzi 0,95÷1,1% i kobaltu 0,21%.

W 1987 r. Polska przystąpiła do międzynarodowej organizacji InterOceanmetal (IOM). Oprócz Polski do IOM należą również: Bułgaria, Kuba, Czechy, Słowacja oraz Rosja. Przedmiotem działalności tej organizacji jest prowadzenie prac w zakresie poszukiwania, rozpoznawania i przygotowania do przemysłowego zagospodarowania złóż polimetalicznych kongrecji oceanicznych na Pacyfiku (w obszarze złożowym Clarion-Clipperton), a także stworzenie podstaw do wspólnej eksploatacji przemysłowej tych złóż i produkcji z nich metali [5].

### Metody pozyskiwania kongrecji polimetalicznych

Bardzo duże trudności techniczne wynikające z dużej głębokości zalegania, możliwości występowania ciężkich warunków pogodowych oraz duża odległość złóż od stałych lądów powodują, że eksploatacja kongrecji polimetalicznych wiąże się z bardzo dużymi kosztami najpierw badań a później budowy systemu wydobywczego. Przemysłową eksploatację tych złóż należy więc rozpatrywać w całości jako zespół urządzeń wydobywczych, transportowych i przetwórczych. Najbardziej istotną częścią całego systemu eksploatacyjnego jest kompleks wydobywczy, który będzie realizował następujące zadania:

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

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

- metody mechaniczne (linowo-pojemnikowe),
- metody hydrauliczne,
- metody z zastosowaniem autonomicznych pojazdów zanurzalnych [1].

#### Metody mechaniczne

W metodach mechanicznych wydobywanie kongrecji jest realizowane za pomocą pojemników przymocowanych do cięgien przewijanych (podnoszonych i opuszczanych) przez system wciągarek umieszczonych na pokładzie statku wydobywczego. Jedne z pierwszych rozwiązań tego typu zostały opracowane i opatentowane w Japonii. Metoda ta została następnie udoskonalona przez Sumito Shoji Kaisha Ltd. a pierwsze testy przeprowadzono we wrześniu 1970 roku (na głębokości ok. 3700 m) [2]. W systemie tym naczynia wydobywcze są za pomocą liny przeciągane po dnie morskim,

zbierając w ten sposób luźne osady (rys. 3). Lina jest przeciągana pomiędzy dwoma statkami poruszającymi się z tą samą prędkością. Wzajemna odległość jednostek definiuje szerokość obszaru eksploatacji. Po wyciągnięciu naczynia na statek jest ono opróżniane na system przenośników i przeciągane liną na drugą jednostkę, gdzie jest ponownie zanurzane.



Rys. 3. Zasada mechanicznego (linowego) systemu wydobywania kongrecji [2]  
Fig. 3. The principle of mechanical (cable) system exploitation of polymetallic nodules [2]

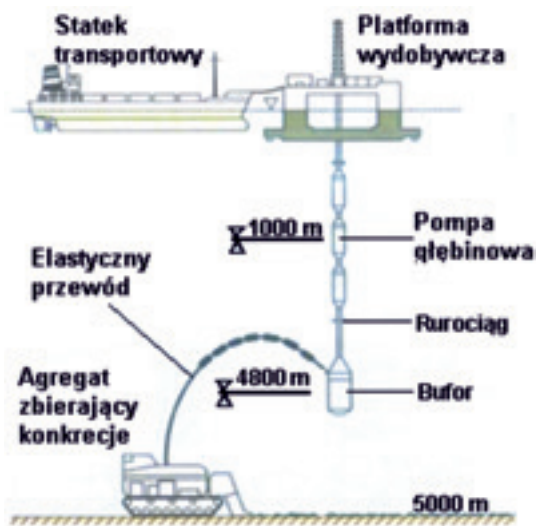
Główną wadą tego systemu jest brak zwrotności (ze względu na konieczność utrzymywania stałego wzajemnego położenia statków) oraz wydobywanie wraz z kongrecjami dużej ilości niepożądanych osadów dennych, a także straty urobku podczas transportu. Obecnie obserwuje się odchodzenie od metod ciągnowo – pojemnikowych na rzecz metod hydraulicznych (głównie) oraz autonomicznych pojazdów zanurzalnych [7].

#### Metody hydrauliczne

W metodach hydraulicznych wydobywanie kongrecji odbywa się w wyniku przepływu w rurociągu wydobywczym czynnika roboczego: wody lub też wody z wtłaczanym powietrzem. Do pionowego rurociągu kongrecje podawane są za pośrednictwem elastycznego przewodu z agregatu zbierającego je z dna oceanicznego. Klasyfikacja metody jako hydraulicznej odnosi się wyłącznie do sposobu transportu materiału. Samo urabianie może odbywać się zarówno w sposób hydrauliczny, mechaniczny jak i kombinowany. Ze względu na sposób wymuszania ruchu w rurociągu, metody hydrauliczne można podzielić na metody z zastosowaniem pomp hydraulicznych oraz z zastosowaniem sprężonego powietrza (Air Lift System).

W metodach wykorzystujących pompy hydrauliczne ruch pionowy mieszaniny wstępnie rozdrobnionych kongrecji i wody realizowany jest poprzez umieszczone na długości rurociągu pompy (rys. 4). Zaletą tego rozwiązania jest jego prostota oraz wysoka efektywność uzyskiwana dzięki możliwości szeregowego łączenia pomp. Najkorzystniejszy energetycznie efekt uzyskuje się stosując instalację dwururową (gałąź transportowa i gałąź powrotna). Niestety nastrocza to poważne trudności związane ze stabilnym pozycjonowaniem rurociągu oraz powoduje niesymetryczny opór instalacji rurowej w czasie ruchu statku, co skutkuje jej skręcaniem. Z tego względu najbardziej preferowana jest metoda z wykorzystaniem jednej rury.

Metody z zastosowaniem sprężonego powietrza polegają na wprowadzaniu powietrza do rurociągu transportowego (rys. 5). Powoduje to zmniejszenie gęstości mieszaniny i jej ruch ku górze wywołany różnicą ciśnień między punktem zasysania (dolnym) a punktem wyladunku (górnym). Metoda ta



Rys. 4. Przykład systemu pozyskiwania konkrekcji polimetalicznych z zastosowaniem transportu hydraulicznego [8]

Fig. 4. Example of polymetallic nodules excavation system using hydraulic transport [8]

ma poważną wadę: rozprężające się w górnej części rurociągu powietrze powoduje przerwanie przepływu mieszaniny wody i konkrekcji. Rozważano możliwość częściowego odprowadzenia powietrza z górnego odcinka, ale nie spowodowało to radykalnego rozwiązania tego problemu.

Kolejnym bardzo ważnym, jeśli nie najważniejszym elementem metod hydraulicznych jest agregat zbierający. Oprócz zbierania konkrekcji podstawowymi funkcjami tego urządzenia jest wstępne oczyszczanie ich z osadów oraz podawanie do bufora lub innego urządzenia, które dokonuje dalszej przeróbki i transportu. W zależności od rozwiązań konstrukcyjnych i specyfiki pracy agregaty zbierające konkrekcje możemy podzielić na aktywne i pasywne [7].

**Agregaty pasywne** charakteryzują się prostą budową i nie potrzebują zewnętrznego źródła zasilania. Posiadają dwa podstawowe podzespoły, umożliwiające im zbieranie konkrekcji oraz ich dostarczanie do układu transportowego. Podczas ciągnięcia takiego agregatu po dnie urobek jest zagarniany w kierunku wlotu do układu transportującego. Wyróżnia się kilka rozwiązań technicznych tych urządzeń:

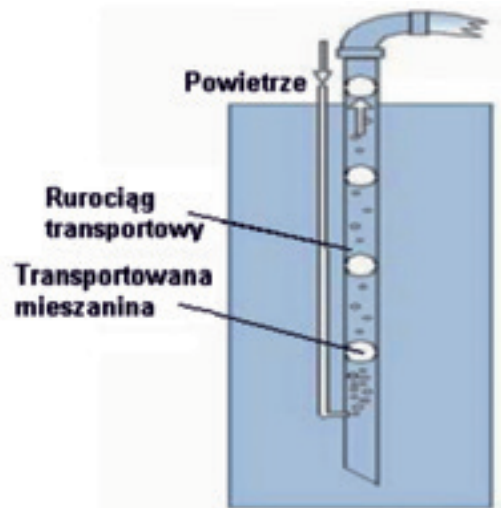
- *Zgarniarki pasywne* – wykorzystują specjalnie ukształtowane pionowe elementy (ang. rake – „grabie”) do zagarniania konkrekcji i ich transportowania w kierunku wlotu do systemu transportowego (rys. 6).

W miarę przeciągania urządzenia po dnie pierwszy zestaw zgarniaczy (odrzucające) pozwala konkrekcjom o akceptowalnych, maksymalnych rozmiarach na przejście, zatrzymując bryły ponadwymiarowe. Drugi zestaw natomiast (zbierające)



Rys. 6. Zasada działania zgarniaka pasywnego [8]

Fig. 6. The principle of passive scraper operation [8]

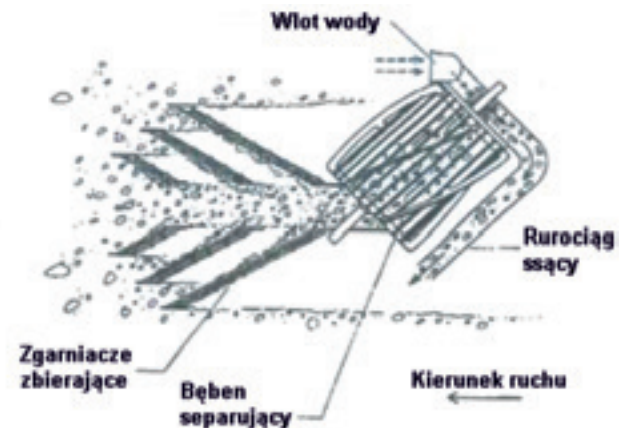


Rys. 5. Zasada działania systemu Airlift [2]

Fig. 5. The principle of the airlift system operation [2]

umożliwia zgarnianie konkrekcji do układu transportowego. Jednocześnie powoduje, że osady i bryły poniżej wymiaru minimalnego przechodzą pomiędzy jego elementami i pozostają za agregatem. Woda przepływająca przez urządzenie dostaje się do układu transportowego unosząc i przemieszczając konkrekcje dalej (do bufora).

- Rozwinięciem powyższego rozwiązania są tzw. *zgarniarki pasywne* z bębniem oczyszczającym. Urządzenie działa analogicznie jak zgarniak pasywny, ale posiada dodatkowo bęben ułatwiający oczyszczanie konkrekcji (rys. 7).



Rys. 7. Zasada działania zgarniaka pasywnego z bębniem oczyszczającym [8]

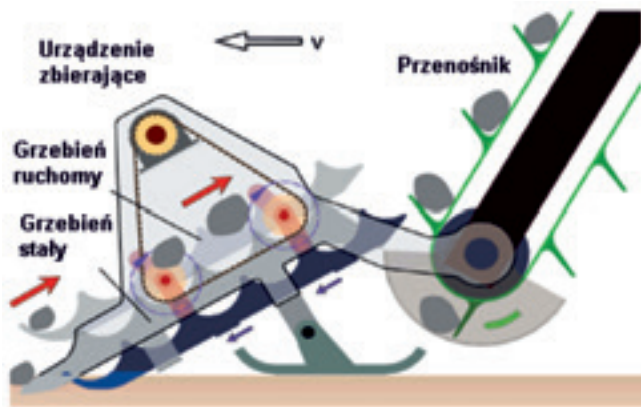
Fig. 7. The principle of operation of passive scraper with cleansing drum [8]

Obrót bębna powodowany jest przez ruch całego urządzenia. Konkrekcje dostające się do środka wpadają do specjalnych przegród i unoszone są w górę. Woda przepływająca przez bębni powoduje omywanie opadających konkrekcji, a tym

samym usuwanie większości niepożądanych osadów. Bęben posiada specjalne listwy na zewnątrz, które zagłębiają się w dno i wspomagają jego obrót. Powoduje to znaczne niekorzystne oddziaływanie na dno morskie.

**Agregaty aktywne** do swojej pracy potrzebują zewnętrznego zasilania. Ze względu na sposób zbierania konkrecji możemy je podzielić na: mechaniczne, hydrauliczne i hybrydowe (mechaniczno – hydrauliczne). Konstrukcja tych urządzeń jest dużo bardziej skomplikowana niż agregatów pasywnych, ale charakteryzują się one dużo wyższym stopniem oczyszczania konkrecji z osadów. Na urządzeniach tego typu możliwe jest zaimplementowanie kruszarki co pozwala na zbieranie i wstępne przerabianie konkrecji o dużych rozmiarach [7].

- Agregaty aktywne *mechaniczne* charakteryzują się wykorzystaniem ruchomych części i mechanizmów do zbierania i transportowania konkrecji. Jednak ze względu na duży stopień skomplikowania, a tym samym niższą niezawodność w trudnych warunkach ich rozwój jest ograniczony. Została opracowana dość duża liczba rozwiązań konstrukcyjnych tego typu urządzeń.



Rys. 8. Przykład rozwiązania mechanicznego systemu zbierającego z wykorzystaniem ruchomych „grzebień” [2]

Fig 8. Example of mechanical system using a moving „combs” collector [2]

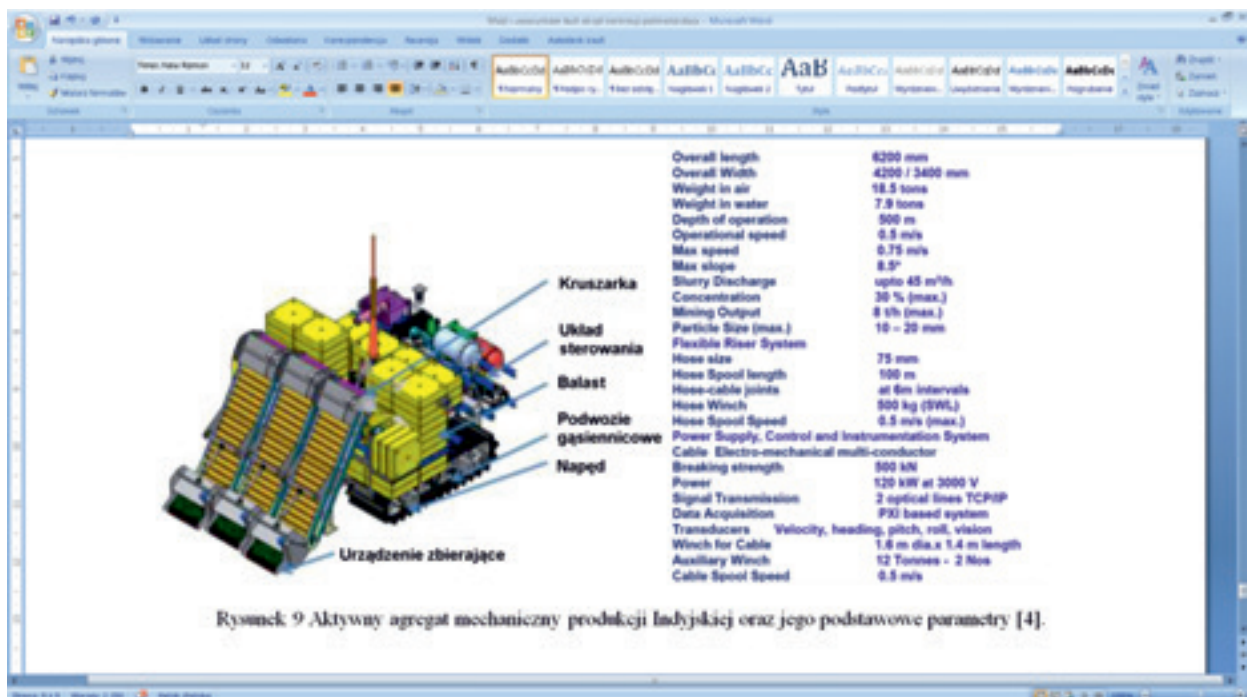
Jednym z przykładów jest urządzenie przedstawione na rysunku 8, które wykorzystuje układ 3 „grzebień” (dwóch ruchomych i jednego stałego) do podnoszenia konkrecji z dna.

Ich wzajemny ruch powoduje transport urobku w kierunku przenośnika a następnie do kruszarki. Po wstępnym przetworzeniu konkrecje są podawane do hydraulicznego układu transportu pionowego. Dodatkowo do układu „grzebień” może być dołączony wibrator powodujący zwiększenie efektywności oczyszczania konkrecji z osadów.

Na rysunku 9 przedstawiono urządzenie produkcji indyjskiej zbierające konkrecje w sposób mechaniczny. Podnoszenie urobku z dna odbywa się przy pomocy przenośników członowych wyposażonych w specjalne zęby. Następnie konkrecje są przenoszone przez kolejny przenośnik do kruszarki, a potem już w postaci zawiesiny do hydraulicznego systemu transportu pionowego.

- Agregaty aktywne *hydrauliczne* wykorzystują generowany przez nie strumień wody morskiej do zbierania z dna i oczyszczania konkrecji. Podstawową ich zaletą w stosunku do agregatów mechanicznych jest niższy poziom pobieranej energii i wyższa niezawodność związana z niewielką liczbą ruchomych części i mechanizmów. Dodatkowo, rozwiązania te charakteryzują się dużo mniejszym poziomem oddziaływania na dno co ogranicza negatywny wpływ na środowisko morskie. Rozróżnia się kilka stosowanych obecnie rozwiązań agregatów hydraulicznych.

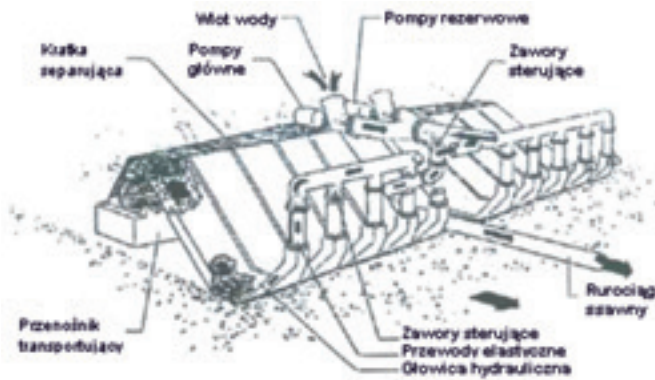
Pierwszym z nich są tzw. *rampy hydrauliczne*. Zasada działania przypomina pochylnię na którą pod wpływem jej ruchu nasuwany jest materiał. Tutaj, dodatkowo ruch konkrecji (wraz z osadami) w górę pochylni wymuszany jest przez strugę cieczy produkowaną przez pompę (rys. 10). Ważne jest, że w tym rozwiązaniu krawędź „urabiająca” rampy nie wbija się w dno a jedynie po nim przesuwają. Zapobiega to nadmiernemu zbieraniu osadów dennych oraz niszczeniu powierzchni dna morskiego. Osady, które jednak zostały zebrane ze względu na ich mniejszą masę i dużą prędkość strugi cieczy usuwane są w górnej części rampy.



Rysunek 9 Aktywny agregat mechaniczny produkcji indyjskiej oraz jego podstawowe parametry [4].

Rys. 9. Aktywny agregat mechaniczny produkcji indyjskiej oraz jego podstawowe parametry [3]

Fig. 9. Active mechanical unit of Indian production and its basic parameters [3]



Rys. 10. Przykład rozwiązania konstrukcji rampy hydraulicznej [8]  
Fig. 10. Example of the hydraulic ramp solution [8]

Kolejnym rozwiązaniem są agregaty działające na zasadzie *podnośnika hydraulicznego*. Działają one bardzo podobnie do ramp hydraulicznych z tą różnicą, że elementy zbierające takiego agregatu nie dotykają powierzchni dna morskiego. Odpowiednio ustawione dysze wymuszają przepływ wody oraz wytwarzanie się zawirowań i obszarów niższego ciśnienia (rys. 11). Powoduje to unoszenie leżących na dnie konkrecji, a następnie ich transport rampą.



Rys. 11. Działanie organu zbierającego agregatu hydraulicznego oparte na zasadzie podnośnika hydraulicznego [8]  
Fig. 11. Principle of operation of hydraulic collecting unit based on a hydraulic lift technical solution [8]

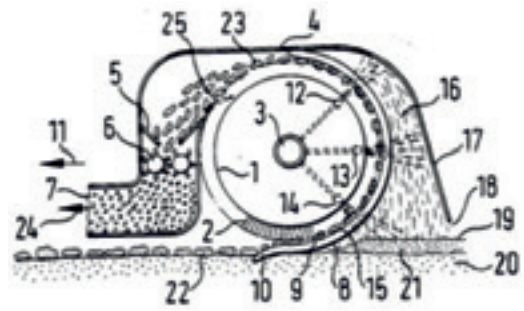
Przeprowadzone w warunkach podmorskich doświadczenia wykazały, że sprawność zbierania konkrecji była stosunkowo duża i wynosiła ok. 87%. Zaobserwowano również duże ilości niepożądaných osadów denných podnoszonych wraz z konkrecjami [8].

- Agregaty aktywne *hybrydowe* łączą zalety dwóch powyższych. W urządzeniach tych konkrecje zbierane są mechanicznie (najczęściej) ze wspomaganie hydraulicznym. Zdolność systemów mechanicznych do efektywnego (dokładnego) urabiania zostaje podniesiona przez dodanie dysz hydraulicznych, które powodują usunięcie niepożądaných osadów denných. Rozróżniamy trzy podstawowe rozwiązania tych systemów.

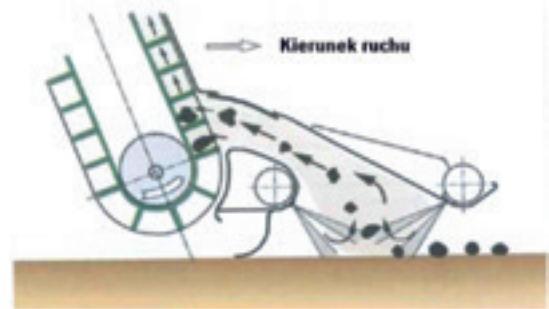
*Bębny hybrydowe* (rys. 12) – posiadają kołowe organy urabiające wyposażone w specjalne czerpaki (2). Wewnątrz bębna zbierającego (1) umieszczone są dysze (12, 13, 14), które zapewniają oczyszczenie konkrecji z osadów denných (21). Zanieczyszczenia są splukiwane (16) zanim osiągną najwyższy punkt organu zbierającego i opadają za urządzenie (19).

*Podnośniki hybrydowe* – umożliwiają hydrauliczne (za pomocą dysz) podnoszenie konkrecji oraz ich mechaniczny transport do urządzenia kruszącego lub bezpośrednio do systemu odstawy pionowej (rys. 13).

Dodatkowo, na przenośniku zamontowany jest wibrator, który wspomaga oczyszczanie konkrecji z osadów. Urządzenie z takim układem zostało zaprojektowane przez były Research Institute of Hydraulic Engineering and Naval Architecture w Berlinie. Agregat został wykonany i przetestowany przez firmę IKS (rys. 14) [8].



Rys. 12. Projekt bębnowego urządzenia mechaniczno – hydraulicznego [12]  
Fig. 12. Example of design of mechanical – hydraulic drum device [12]



Rys. 13. Zasada działania podnośnika hybrydowego [8]  
Fig. 13. The principle of the hybrid lift operation [8]



Rys. 14. Agregat produkcji IKS przedstawiony na targach „Industrie '92” w Niemczech [8]  
Fig. 14. Device of IKS production presented at the „Industrie '92” in Germany [8]

*Plugi hydrauliczne* – działają na podobnej zasadzie jak rampy hydrauliczne (rys. 15). Różnica polega na sposobie urabiania. Podczas gdy dolna część rampy hydraulicznej była zawieszona nad dnem podstawa pługa spoczywa na nim, podpierając dolną część urządzenia. Powoduje to zagłębienie się krawędzi urabiającej w osadach denných i ich skrawanie. Dysze hydrauliczne powodują wytworzenie strugi wody, a tym samym przemieszczanie urobku w górę rampy transportowej. Na wlocie rampy znajduje się urządzenie, które zapobiega dostawaniu się ponadwymiarowych brył do układu transportującego. Zasada działania pługa umożliwia teoretycznie zebranie 100% ilości konkrecji o założonych maksymalnych wymiarach. Wadą tego rozwiązania jest duża moc potrzebna do zapewnienia ruchu urządzenia (skrawanie osadów denných) oraz powoduje bardzo dużą dewastację powierzchni dna oceanicznego i urabianie bardzo dużych ilości osadów denných.

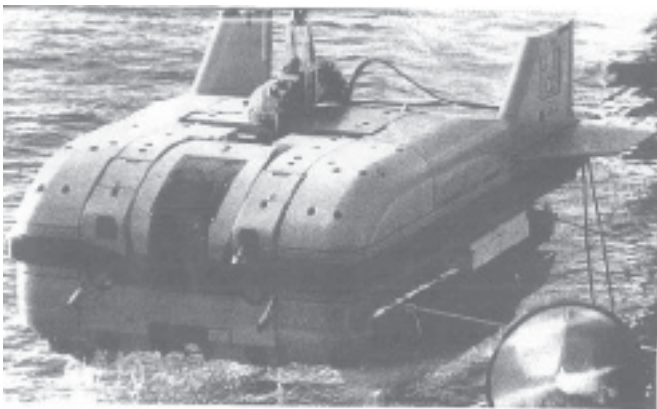
W agregatach aktywnych możemy wyróżnić trzy główne typy podwozi umożliwiających ruch tych jednostek, tj.: podwozia kołowe, gąsienicowe oraz oparte o działanie śruby Archimedesesa [7].



Rys. 15. Zasada działania pługa hydraulicznego [2]  
Fig. 15. Principle of hydraulic plow operation [2]

### Autonomiczne pojazdy zanurzalne

Zarówno systemy mechaniczne jak i hydrauliczne charakteryzują się działaniem ciągłym. Są to bardzo korzystne rozwiązania, jeśli chodzi o wykorzystanie czasu pracy, a tym samym efektywność wydobywania. Problem pojawia się w przypadku awarii jednego z elementów układu. Powoduje to najczęściej przestój całego ciągu wydobywczotransportowego. Pewnym rozwiązaniem może być zastosowanie systemu cyklicznego. Jednym z takich rozwiązań jest układ wykorzystujący autonomiczne pojazdy zanurzalne nazywanych również głębinowymi pojazdami wydobywczymi. Sporządzono kilka koncepcji takich systemów wydobywczych. Jedną z nich została opracowana na zlecenie organizacji Interoceanmetal przez Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej [9]. Na rysunku 16 przedstawiono jedyny, jak do tej pory, przetestowany w warunkach naturalnych autonomiczny pojazd zanurzalny. Jest to urządzenie o nazwie PLA 26000 opracowane przez francuskie konsorcjum Afernod. W 1985 r. przeprowadzono na Morzu Śródziemnym szereg testów mających określić możliwości ruchowe urządzenia (proces zanurzania, poruszania się w pobliżu dna i wynurzania). Wynikły wtedy problemy skłoniły konsorcjum do odłożenia programu autonomicznych pojazdów zanurzalnych na bliżej nieokreśloną przyszłość.



Rys. 16. Autonomiczny pojazd zanurzalny PLA 2-6000 opracowany przez Afernod [8]  
Fig. 16. The autonomous submersible vehicle PLA 2-6000 developed by the Afernod [8]

Podczas opracowywania technologii wykorzystującej autonomiczne pojazdy zanurzalne natknięto się na szereg problemów technicznych. Przede wszystkim problematyczne jest rozwiązanie samego napędu takiego pojazdu. Bardzo ważne są również kwestie nawigacji i współpracy kilku takich jednostek oraz wstępnie szacowany bardzo duży koszt ich produkcji i eksploatacji. Obecnie, nie ma informacji o próbach wydobywania konkracji polimetalicznych prowadzonych przy zastosowaniu autonomicznych pojazdów zanurzalnych.

### Podsumowanie

Przykładem surowców, których eksploatacja spod powierzchni mórz i oceanów znajduje się w bardzo wczesnej fazie są kopaliny polimetaliczne, a w szczególności konkracje polimetaliczne. Rodzi to szereg problemów związanych z opracowaniem i przetestowaniem technologii możliwych do wykorzystania w tych specyficznych warunkach górniczo geologicznych (eksploatacja spod powierzchni wody). Największym problemem wydaje się być zapewnienie ciągłości eksploatacji przy założonym poziomie wydajności wydobywania. Specyfika warunków górniczo geologicznych narzuca na poszczególne technologie oraz na stosowane w nich urządzenia szereg wymagań. Należy nadmienić, że środowisko morskie charakteryzuje się dużo większą złożonością problemów mających wpływ na przebieg eksploatacji, niż lądowe. Połączony od gwałtownych zmian warunków atmosferycznych i idących za tym niebezpieczeństw dla jednostek wydobywczych, a skończony na specyficznych kwestiach związanych z ochroną środowiska morskiego. Na przestrzeni lat zostały opracowane różnorodne technologie wydobywania konkracji polimetalicznych. Większość z nich była projektowana pod kątem warunków górniczo geologicznych występujących w polu złożowym Clarion – Clipperton, znajdującym się w strefie podrównikowej północnego Pacyfiku. Ze względu na sposób transportu konkracji z dna na powierzchnię możemy je podzielić na: metody mechaniczne (linowo pojemnikowe), hydrauliczne oraz metody z zastosowaniem autonomicznych pojazdów zanurzalnych. W obszarze tych technologii można wyodrębnić różne rozwiązania techniczne poszczególnych urządzeń, odpowiadających za konkretne operacje procesu pozyskiwania konkracji polimetalicznych.

W metodach mechanicznych bardzo trudne jest uzyskanie zadowalającej efektywności wydobywania z powodu znikomej kontroli nad procesem zbierania konkracji z dna. Realizacja tego procesu (zgarnianie czerpakami) jest wysoce niedoskonała i nie gwarantuje pozyskania większości urobku. Należy również zaznaczyć, że ten sposób zbierania konkracji (zgarnianie) powoduje dużą dewastację dna morskiego i bardzo negatywnie wpływa na organizmy zamieszkujące to środowisko. Ze względu na przedstawione niedoskonałości, mechaniczne metody pozyskiwania konkracji polimetalicznych zostały zarzucone i nie przewiduje się powrotu do nich w przyszłości.

W metodzie hydraulicznej urobek transportowany jest z dna na powierzchnię za pomocą pionowego rurociągu. Możemy tu wyróżnić różne konfiguracje instalacji transportowej (jedno- lub dwururowa) oraz metody wymuszania w nich ruchu (czysto hydrauliczne lub z zastosowaniem sprężonego powietrza). Obecnie, najczęściej stosowanym wariantem jest ten z wykorzystaniem jednej rury i transportem czysto hydraulicznym. Do zbierania konkracji z dna wykorzystuje się tzw. agregaty, które mogą dodatkowo wstępnie oczyszczać i rozdrabniać urobek oraz podają go do systemu transportu pionowego. Ze względu na sposób poruszania się tych urządzeń po dnie możemy je podzielić na aktywne i pasywne. W obrębie tych dwu rodzajów agregatów możemy wyróżnić kilka konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych m.in. ze względu na sposób poruszania się po dnie morskim (aktywne lub pasywne). Podczas analizy obecnie stosowanych rozwiązań zauważono, że agregaty hydrauliczne i hybrydowe stosowane są w większości technologii hydraulicznych.

Bardzo ciekawą i perspektywiczną jest metoda z zastosowaniem autonomicznych pojazdów zanurzalnych. Koncepcja ta jest obecnie na etapie rozważań teoretycznych. Pomimo zalet, które oferuje (zwiększenie niezawodności, a tym samym efektywności wydobywania, mniejsza od innych systemów wrażliwość na warunki zewnętrzne) charakteryzuje ją wiele trudności wynikłych już na etapie projektowania systemu. Są to kwestie związane z realizacją napędu i nawigacji takich pojazdów oraz ich wysoki koszt jednostkowy. Na obecną chwilę programy zakładające wykorzystanie autonomicznych pojazdów zanurzalnych zostały zawieszono lub odroczone. Jednakże w przyszłości, wraz z rozwojem technik nawigacji i zaawansowanych systemów napędowych, można spodziewać się powrotu do wykorzystania tej koncepcji w procesie eksploatacji konkrecji.

Obecnie znakomita większość technologii eksploatacji konkrecji polimetalicznych oparta jest o metody hydrauliczne z wykorzystaniem agregatów aktywnych, najczęściej hydraulicznych i hybrydowych. W najbliższej przyszłości można spodziewać się dalszego rozwoju systemów eksploatacji ze szczególnym naciskiem na kwestie uzyskania dużych wydajności wydobywania oraz ochrony środowiska oceanicznego.

Artykuł przygotowany w ramach realizacji pracy statutowej nr 11.11.100.597

## Literatura

- [1] Abramowski T., Szlangiewicz T.: *Eksploatacja złóż polimetalicznych konkrecji z dna oceanu Górnictwo i Geoinżynieria*, Rok 35 Zeszyt 4/1, Kraków 2011
- [2] Agarwal B., Hu P., Placidi M., Santo H., Zhou J. J.: *Feasibility Study on Manganese Nodules Recovery in the Clarion-Clipperton Zone The LRET Collegium*, Volume 2, Southampton 2012
- [3] Athmanad M. A., *Status of India polymetallic nodule programme The 21st Offshore (Oceanic) and Polar Engineering Conference*, Maui 2011
- [4] Egorov L., Elosta H., Kudla N.L., Shan S., Yang K.K., *Sustainable Seabed Mining: Guidelines and a new concept for Atlantis II Deep Seabed Exploitation The LRET Collegium*, Volume 4, Southampton 2012
- [5] Kotliński R., Szmałek K. (red.): *Surowce mineralne mórz i oceanów*. Wyd. Scholar, Warszawa 1998
- [6] Kozioł W., Ciepliński A., Goleniewska J., Machniak Ł., *Eksploatacja kruszyw z obszarów morskich w Polsce i Unii Europejskiej*. Górnictwo i Geoinżynieria, Rok 35 Zeszyt 4/1, Kraków 2011
- [7] Mazur M., *Analiza możliwości eksploatacji polimetalicznych konkrecji na przykładzie pola ClarionClipperton*. Praca dyplomowa AGH 2013, Praca niepublikowana
- [8] *Proposed Technologies for Mining Deep Sea – Bed Polymetallic Nodules* Proceedings of International Seabed Authority's Workshop, Kingston 1999
- [9] Rowiński L., *Wydobycie konkrecji polimetalicznych przy użyciu autonomicznych pojazdów głębinowych Górnictwo i Geoinżynieria*, Rok 35 Zeszyt 4/1, Kraków 2011
- [10] *World Population to 2013* Department of Economic and Social Affairs – Population Division, United Nations, New York 2004
- [11] [www.teara.gov.nz](http://www.teara.gov.nz) – dostęp 16.11.2014
- [12] Patent nr: US4652055 "Device for Collecting Manganese Nodules of Ocean Floor"