

Wiesław Koziół, Andrzej Ciepliński*,
Joanna Goleniewska*, Łukasz Machniak**

EKSPLOATACJA KRUSZYW Z OBSZARÓW MORSKICH W POLSCE I UNII EUROPEJSKIEJ

1. Wprowadzenie

Morza i oceany stanowią niemalże 71% powierzchni kuli ziemskiej. Nic więc dziwnego, że duża część surowców mineralnych zalega na lub pod ich dnem. Już od wieków człowiek sięgał po surowce dostarczane przez morza, początkowo zbierając je z plaż, później nurkując z łodzi, aż wreszcie budując specjalistyczne urządzenia pływające służące wyłącznie do eksploatacji surowców dna morskiego.

Aktywność geologiczno-górnica człowieka w obrębie mórz i oceanów można podzielić na cztery grupy:

- 1) podmorskie wiercenia geologiczno-poszukiwawcze;
- 2) podmorskie górnictwo naftowe i gazowe — otworowa eksploatacja ropy naftowej i gazu;
- 3) podmorskie górnictwo odkrywkowe — odkrywkowa eksploatacja kopalin stałych;
- 4) podmorskie górnictwo szybowe i pochylniane — podziemna eksploatacja kopalin stałych.

Podmorskie wiercenia geologiczno-poszukiwawcze prowadzone są w wielu rejonach świata. Mają na celu nie tylko poszukiwanie i dokumentowanie złóż, ale również poznanie budowy geologicznej dna oceanicznego, które szczególnie w najgłębszych rejonach kryje wciąż wiele tajemnic. Oprócz wierceń stosuje się również inne metody poszukiwawczo-badawcze, takie jak geofizyka, czy badania lotnicze.

Najszerzej rozpowszechnioną wśród wymienionych aktywności jest eksploatacja złóż ropy naftowej i gazu ziemnego prowadzona techniką otworową. Platformy wiertnicze są budowane i eksploatowane w wielu rejonach świata dostarczając dużej części ze zużywanych na świecie ciekłych i gazowych surowców energetycznych.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Podziemna eksploatacja złóż dna morskiego polega na wykonywaniu tradycyjnych wyrobisk podziemnych udostępniających złoża zalegające pod dnem zbiorników wodnych. Szyby i pochylnie wykonywane są na lądzie lub sztucznie usypanych wyspach, prowadzone z nich przecznice i przekopy, a dalej wyrobiska eksploatacyjne sięgają często wiele kilometrów pod dno morskie. Historia takiej eksploatacji jest dość długa (prawie 400-letnia). W ten sposób między innymi eksploatowano złoża węgla (Szkocja), rud metali (Bałtyk) i innych surowców.

Podwodna eksploatacja odkrywkowa, a więc prowadzona z powierzchni wody¹, bez wykonywania dodatkowych wyrobisk, jest jednocześnie jedną z najstarszych i najmniej rozwiniętych technologii eksploatacji. Posiada ona duży potencjał rozwojowy, który obecnie jest coraz szerzej dostrzegany.

Odkrywkową eksploatację kopalin stałych z dna morskiego można podzielić na eksploatację szelfu kontynentalnego (wód płytkich, do 200 m pod poziomem morza) oraz eksploatację wód głębokich (stoku kontynentalnego i głębi oceanicznej).

Eksploatacja szelfu jest stosunkowo szeroko rozpowszechniona i może być prowadzona różnymi metodami, podczas gdy eksploatacja głębokich części oceanu, a zwłaszcza głębi oceanicznej, jest wciąż na granicy możliwości człowieka.

2. Eksploatacja podmorska surowców mineralnych w Unii Europejskiej

Zasoby naturalne mórz i oceanów dzielą się na zasoby odnawialne i nieodnawialne. Wśród zasobów odnawialnych wyróżnia się zasoby żywe (ryby, mięczaki, skorupiaki itp.) oraz inne zasoby, jak energia pływów, woda, źródła geotermalne itd. Zasoby nieodnawialne dzielą się na zasoby wód głębokich (głębokowodne) oraz zasoby wód płytkich (płytkowodne). Zasoby wód głębokich to głównie surowce polimetaliczne i energetyczne. Zasoby płytkowodne to podobnie jak w przypadku surowców lądowych surowce metaliczne, energetyczne, niemetaliczne (w tym chemiczne, skalne i kamienie szlachetne) oraz inne (pierwiastki z wody morskiej).

Spośród wymienionych surowców nieodnawialnych najpowszechniej eksploatowane są kruszywa naturalne (piaskowo-żwirowe). Przykładem takiej eksploatacji może być Morze Północne, gdzie eksploatuje się zarówno węglowodorowe surowce energetyczne jak również w coraz większym zakresie kruszywa naturalne.

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

¹ Taką eksploatację na dużą skalę stosuje się na wodach śródlądowych. W Polsce około 2/3 kruszyw żwirowo-piaskowych (około 100 mln ton) wydobywa się spod lustra wody.

Do krajów tych należą między innymi:

- | | |
|-------------------|-----------------------------------|
| — Holandia | — wydobyte z morza 30–40 mln ton, |
| — Wielka Brytania | — 20–25 mln ton, |
| — Niemcy | — ok. 5–10 mln ton, |
| — Dania | — ok. 10 mln ton, |
| — Francja | — ok. 6 mln ton, |
| — Belgia | — ok. 3 mln ton, |
| — Estonia | — ok. 3 mln ton. |

Przykładowo w południowo-wschodniej Anglii wraz z Londynem około jedna trzecia podstawowego zapotrzebowania na kruszywa zaspakajana jest ze złóż morskich (10 mln t), a w Południowej Walii kruszywa z morza stanowią ok. 90% zużywanych kruszyw drobnoziarnistych (piaskowych).

Wydobycie piasku i żwiru odgrywa ważną rolę przy budowie systemów ochrony wybrzeża przed podwyższonym poziomem mórz w rejonach o niskich brzegach (Holandia), a w przyszłości w związku ze zmianą klimatu w wielu rejonach budowa takich systemów może być kwestią bezpieczeństwa narodowego. Dla uzupełnienia wybrzeży i plaż najbardziej racjonalne i efektywne z ekonomicznego, technicznego i środowiskowego punktu widzenia są surowce wydobywane z morza. Wydobycie kruszywa ze złóż morskich zastępuje konieczność eksploatacji wielu złóż lądowych, a średniej wielkości pogłębiarka-statek dostarcza w jednym cyklu masę kruszywa odpowiadającą ładunkowi 200–300 samochodów transportowych. Wydobycie tych surowców może obejmować znaczne obszary, powinno być zatem uwzględniane w krajowych oraz ponad krajowych planach zagospodarowania terenów morskich.

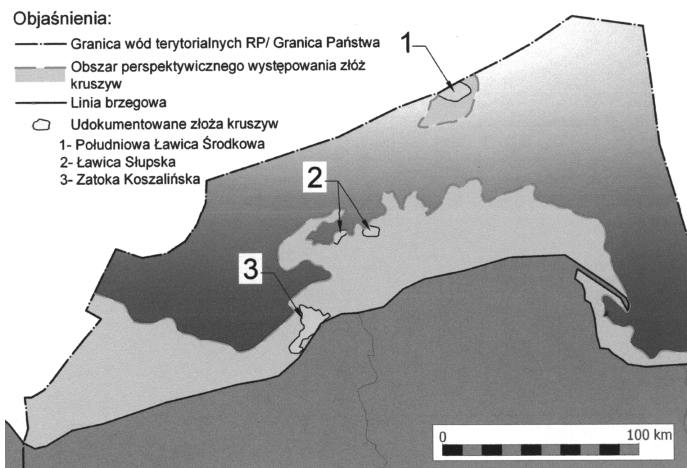
3. Złóża kruszyw naturalnych w Polskiej strefie Morza Bałtyckiego

Złóża surowców do produkcji kruszyw naturalnych, występują głównie w strefach brzegowych i przybrzeżnych, w obrębie ławic i wałów brzegowych. Są to praktycznie wyłącznie złóża surowców do produkcji kruszyw piaskowo-żwirowych. Zajmują one około 70% powierzchni szelfu.

W polskim sektorze Morza Bałtyckiego rozpoznano i udokumentowano trzy złóża żwirów i piasków następujących złóż (rys. 1) [10]:

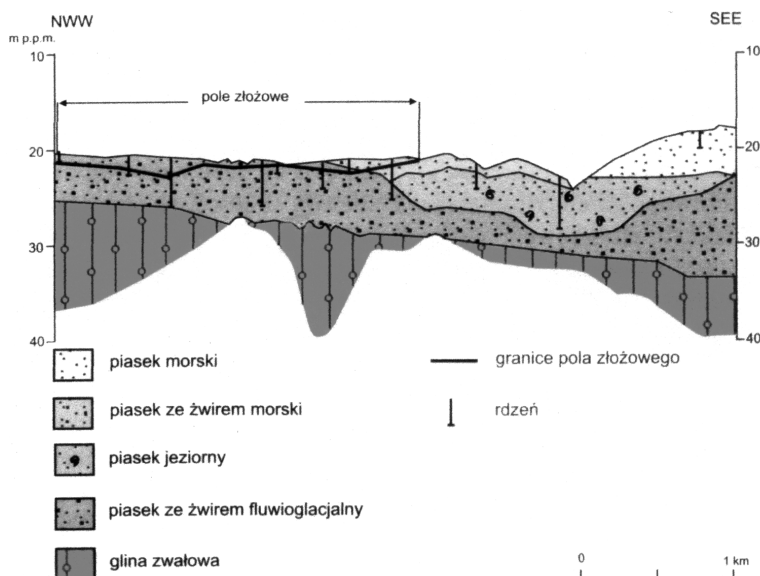
- 1) Południowa Ławica Środkowa,
- 2) Ławica Słupska,
- 3) Zatoka Koszalińska.

Południowa Ławica Środkowa leży w obszarze ograniczonym izobatą 30 m p.p.m. Jest to najdalej położony na północ obszar złóżowy w polskiej strefie ekonomicznej Bałtyku, oddalony ponad 140 km od Gdańska.



Rys. 1. Udokumentowane obszary występowania złóż kruszy naturalnych w polskim sektorze Morza Bałtyckiego [10]

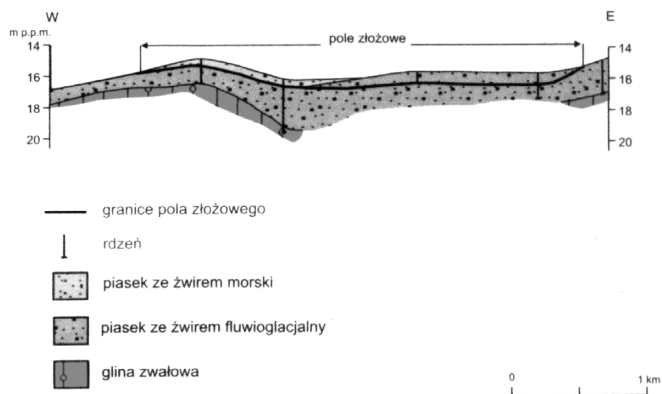
Złoże podzielone jest na 9 pól o powierzchni od 0,5 do 16,9 km² (łącznie około 26,0 km²), przy średniej miąższości warstwy złożowej 0,9 m (maksymalnie > 5,0 m). Średni punkt piaskowy złoża wynosi 53,7%. Udokumentowane zasoby bilansowe w kategorii C₂ wynoszą 56,5 mln ton a zasoby przemysłowe — 56 mln ton. Na rysunku 2 przedstawiono przekrój przez złożo Południowa Ławica Środkowa.



Rys. 2. Przekrój geologiczny złoża kruszywa naturalnego Południowa Ławica Środkowa [14]

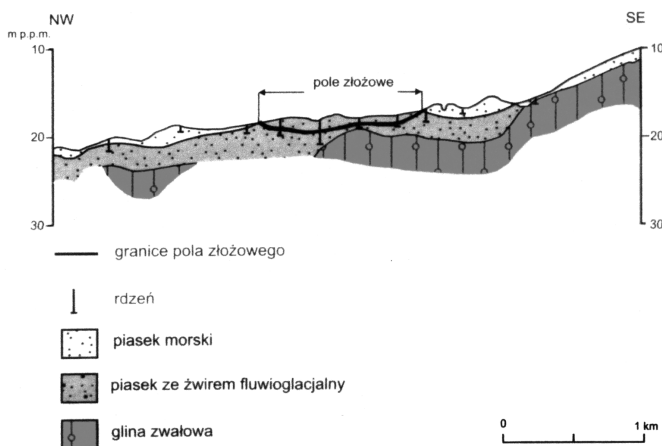
Ławica Słupska jest częścią większej ławicy ograniczoną izobatą 20 m.p.p.m., znajduje się około 30 km na północny zachód od Łeby

Złoże stanowi 8 izolowanych pól osadów piaszczysto-żwirowych, zalegających na podłożu piaszczystym lub w zachodniej części — na rozmytej glinie zwałowej (rys. 3). Powierzchnia pól wynosi od 0,9 do 10,5 km² (łącznie ok. 21,45 km²), przy średniej miąższości warstwy złożowej około 0,91 m (maksymalnie > 2m). Średni punkt piaskowy złoża wynosi 64%. Zasoby bilansowe udokumentowane w kategorii C₁ i C₂ wynoszą 45,5 mln ton, w tym zasoby przemysłowe 44,2 mln ton.



Rys. 3. Przekrój geologiczny złoża kruszywa naturalnego Ławica Słupska [14]

Złoże Zatoka Koszalińska położone jest w obrębie zatoki o tej samej nazwie, na wysokości od Dąbek do Jarosławca, w strefie głębokości morza od 10 do 25 m. Złoże obejmuje 17 pól, zalegających w formie izolowanych pól utworów piaszczysto-żwirowych na podłożu piaszczystym, a w południowo-zachodniej części złoża na glinie zwałowej (rys. 4).



Rys. 4. Przekrój geologiczny złoża kruszywa naturalnego Zatoka Koszalińska [14]

Powierzchnia pól złożowych waha się od 0,3 do 3,6 km² (łącznie powierzchnia złoża wynosi około 21 km²), przy średniej miąższości warstwy złożowej 1,0 m (maksymalnie 1,8 m). Średni punkt piaskowy złoża wynosi 60,1%. Udokumentowane zasoby bilansowe w kategorii C₂ wynoszą 37,7 mln ton.

W tabeli 1 przedstawiono syntetyczne zestawienie głównych parametrów geologiczno – górniczych wymienionych złóż.

TABELA 1

Parametry geologiczno-górnice złóż kruszywa naturalnego w polskim sektorze Morza Bałtyckiego [14]

Parametr złoża	Południowa Ławica Środkowa	Ławica Słupska	Zatoka Koszalińska
Powierzchnia złoża bilansowego, [km ²]	25,64	21,45	20,7
Zasoby bilansowe, [mln ton]	56,5	45,5	37,7
Zasoby bilansowe, [mln m ³]	30,9	22,0	19,5
Zasoby przemysłowe, [mln ton]	56,0	44,2	-
Średnia miąższość złoża, [m]	0,92	0,91	1,0
Ilość pól złożowych	9	8	17
Powierzchnia pól złożowych, [km ²]	0,53–16,9	0,87–10,4	0,3–3,65
Średnia miąższość serii złożowej w poszczególnych polach [m]	0,49–1,60	0,64–1,07	0,45–1,38
Rodzaj podłoża	piasek	piasek, glina, ił	piasek, glina zwałowa
Obecność głazów	nie występują	występują	dużo
Średni punkt piaskowy, [%]	53,7	64,0	60,1
Odległość od brzegu, [km]	90	30	3–4
Przeważające kierunki wiatru	SW, W	W, SW	SW
Średnie prędkości wiatru [m/s]	6,0–7,0	6,0–7,0	3,7–4,4
Głębokość zalegania (rzędna stropu złoża), [m p.p.m.]	17,2–30,0	15,2–23,2	14,4–25,2

4. Technika podmorskiej eksploatacji odkrywkowej

Eksploatacja surowców stałych dna morskiego wiąże się z czterema podstawowymi zagadnieniami: odsapianiem, urabianiem, transportem i rozładunkiem.

Przez odpajanie rozumie się zmniejszenie spójności urabianego ośrodka skalnego, podczas gdy urabianie to oddzielenie porcji materiału od calizny. W niektórych przypadkach procesy te mogą zachodzić jednocześnie, np. przy urabianiu koparkami, gdzie czerpak (zgarniak, łyżka, chwytak) odpaja i urabia materiał. Do odpajania można stosować siłę mechaniczną (skrawanie, ścinanie, zginanie), energię hydrauliczną, kruszenie skał (mechaniczne), drgania, a także materiały wybuchowe. Podobne procesy stosowane są do urabiania (mechaniczne, hydrauliczne, grawitacyjne, siły odśrodkowe). Na ogół odpajanie i urabianie nie stanowi dużego problemu, przynajmniej z technicznego punktu widzenia. Często trudniejszym zadaniem jest przetransportowanie urobionego materiału na powierzchnię.

Transport może być realizowany na dwa sposoby:

- 1) mechanicznie
- 2) hydraulicznie.

Stosowane w górnictwie morskim i śródlądowym pogłębiarki podzielić można na trzy podstawowe grupy:

- 1) mechaniczne,
- 2) hydrauliczne
- 3) mieszane.

Pośród pogłębiarek mechanicznych wyróżnia się:

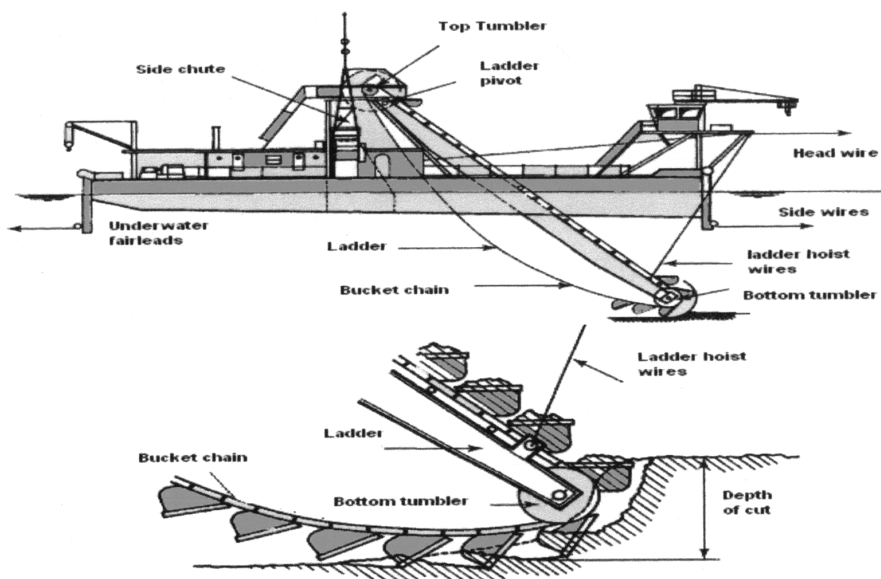
- pogłębiarki jednoczerpakowe (chwytakowe, zgarniakowe, łyżkowe) — mechanicznie odpajające i urabiające, a następnie podnoszące urobek za pomocą chwytaka, zgarniaka, łyżki itp. (rys. 5 i 6);
- pogłębiarki wieloczerpakowe (wielonaczyniowe) — w sposób ciągły urabiające i podnoszące urobek za pomocą czepaków przymocowanych do ruchomych łańcuchów (rys. 7).



Rys. 5. Pogłębiarka chwytakowa we współpracy z barką do transportu urobku



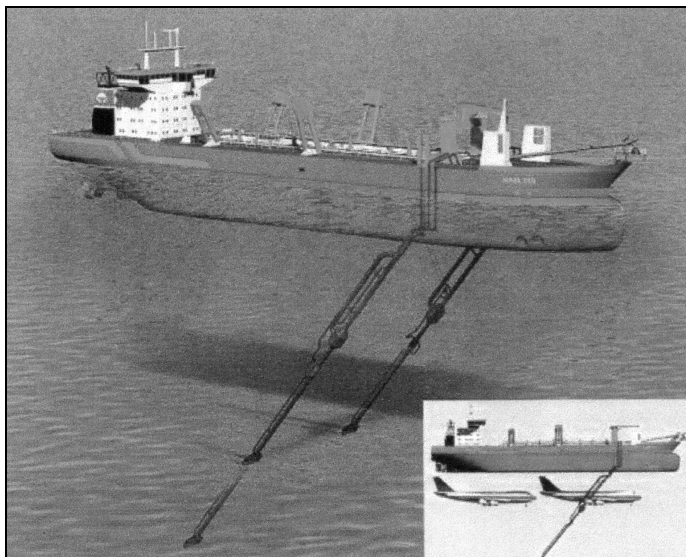
Rys. 6. Pogłębiarka wyposażona w hydrauliczną koparkę łyżkową podsiębierną o pojemności łyżki $16,5 \text{ m}^3$



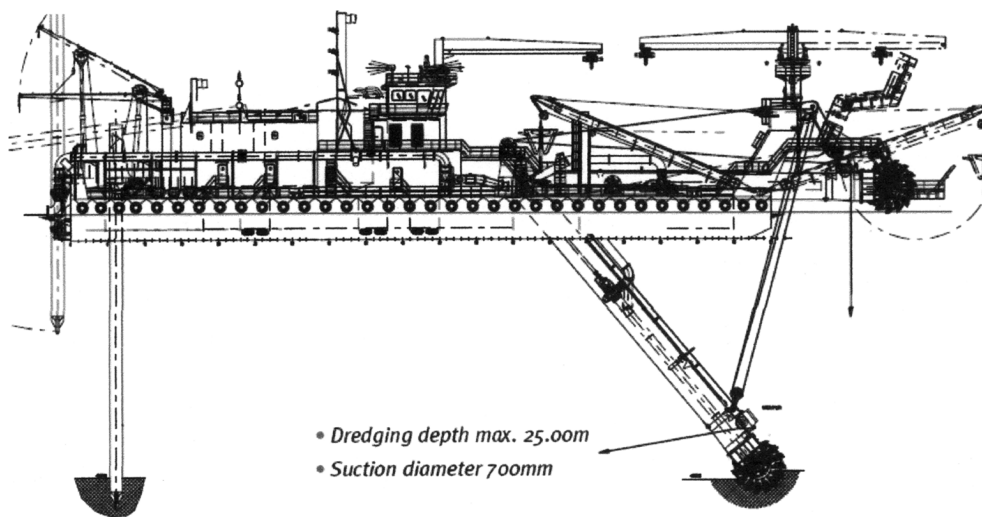
Rys. 7. Pogłębiarka wieloczerpakowa łańcuchowa [6]

Pogłębiarki hydrauliczne podzielić można na:

- pogłębiarki ssące — hydraulicznie odpajające i podnoszące urobek, a następnie wyładowujące go do zbiorników (pogłębiarki statki z własnymi ładowniami (zbiornikami) lub transportujące urobek do barek, szaland lub na ląd (transport rurowy lub taśmowy) (rys. 8);
- pogłębiarki ssąco-frezujące — odpajające i urabiające urobek metodą hydrauliczno-mechaniczną, lub mechaniczną, a następnie hydraulicznie lub hydro-pneumatycznie podnoszące nosiwo i transportujące go podobnie jak pogłębiarki ssące (rys. 9);
- pogłębiarki płuczaco-ezektorowe, hydropneumatyczne i inne działające na zasadzie monitorów strumieniowych i ezektorów.



Rys. 8. Poglębiarka ssąca wyposażona w dwie rury ssące [9]



Rys. 9. Poglębiarka ssąco-frezująca z głowicą urabiającą [9]

W tabeli 2 przedstawiono porównanie ważniejszych czynników techniczno-środowiskowych eksploatacji kruszyw spod wody różnymi technikami w obszarach śródlądowych (wody zamknięte).

TABELA 2

Charakterystyka podstawowych technologii wydobycia spod lustra wody [12]

Sposób urabiania	Technika urabiania (maszyny i urządzenia)	Urabianie: a — z ładu b — z wody	Maksymalna głębokość eksploatacji, [m]	Wydajność teoretyczna m ³ /godz.	Eksploatacja skał trudno urabialnych	Selektywne urabianie	Straty złożowe	Dokładność urabiania
Mechaniczny	Koparki łyżkowe podsiębierne	a	10 (20)	200–400	możliwa	ograniczone	małe	średnia
		b	12 (20)	200–400	możliwa	ograniczone	małe	średnia
	Koparki chwytakowe	a	10	100–500	ograniczona	nie	duże	mała
		b	10–40	100–500	ograniczona	nie	duże	mała
	Koparki zgarniakowe	a	20	100–400	ograniczona	ograniczone	średnie	średnia
		b	24	100–400	ograniczona	nie	średnie	średnia
	Zgarniarki linowe	a	40	200–300	ograniczona	nie	małe	średnia
		b	50	200–300	możliwa	nie	małe	średnia
Hydrauliczny	Koparki wielonaczyniowe	a	20	100–800	możliwa	możliwe	małe	duża
		b	20	45–800	możliwa	możliwe	małe	duża
	Pogłębiarki ssące	b	30	200–1500	nie	nie	małe	duża
	Pogłębiarki z głowicą spulchniającą	b	40	200–3000	ograniczona	nie	małe	duża
	Pogłębiarki hydropneumatyczne	b	80	40–400	nie	nie	małe	duża
Mieszany	Pogłębiarki (statki)	b	60–100	do 5000	ograniczona	nie	małe	duża
	Pogłębiarki ssąco-frezujące	b	80	2400	tak	nie	małe	duża

W tabeli 3 zestawiono ważniejsze dane techniczne wybranych pogłębiarek morskich mogących wydobywać kruszywa i inne minerały z głębokości do 140 m.

Pełnomorskie statki wydobywcze mogą wydobywać surowce mineralne z głębokości od kilku do kilkuset metrów a niektóre i więcej. Pojemności ładowni statków wydobywczych wynoszą ponad 30 tys. m³ a wydajność urządzeń ponad 1000 m³/godz. Ze statkami wydobywczymi mogą współpracować podwodne samojezdne urządzenia służące do zbierania i eksploatacji minerałów z dna morskiego.

Do podstawowych zalet tradycyjnych pogłębiarek mechanicznych zalicza się dużą trwałość i możliwość urabiania utworów zwartych, rumowisk oraz możliwość transportu na dalsze odległości. Do głównych wad tych pogłębiarek należą: mniejsza wydajność w porównaniu z pogłębiarkami ssącymi, większe straty złożowe szczególnie drobnych frakcji. Morskie pogłębiarki wieloczerpakowe stosowane są obecnie głównie do wykonywania pogłębień dna morskiego, takich jak rowów dla rurociągów, tuneli itp.

Aktualnie najczęściej stosowane są w górnictwie morskim pogłębiarki hydrauliczne. Nowoczesne pogłębiarki hydrauliczne (głęboko-ssące) mogą wydobywać urobek z głębokości ponad 100 m zalegający również pod warstwą nadkładu, mogą również urabiać średniozwięzłe warstwy skalne (pogłębiarki z głowicami urabiającymi).

Zaletami pogłębiarek hydraulicznych z głowicami urabiającymi są:

- możliwość urabiania większości typów skał, w tym trudno urabialnych bez stosowania techniki strzelniczej
- możliwość transportu hydraulicznego urobku bezpośrednio do miejsca przeznaczenia,
- praca ciągła,
- stosunkowo duża wydajność.

Do wad pogłębiarek hydraulicznych z głowicami urabiającymi zalicza się:

- ograniczoną możliwość pracy na wodach otwartych,
- większość maszyn nie posiada własnego napędu,
- trudności pracy w piaskach gruboziarnistych w obszarach dużych prądów (morskich),
- trudności w nawigacji z powodu obecności rurociągu,
- rumowiska i osady zmniejszają sprawność i efektywność pracy.

Czynnikami, które mają największy wpływ na wybór odpowiedniego typu pogłębiarki są:

- fizyko-mechaniczna charakterystyka złoża (np. urabialność),
- wielkość zasobów,
- głębokość urabiania,
- odległość do miejsca przeznaczenia (wyładunku),
- uwarunkowania środowiskowe w obszarach i pomiędzy obszarami eksploatacji,
- sposób transportu,
- planowana wielkość wydobywania,
- poziom zanieczyszczenia złoża.

TABELA 3

Zestawienie parametrów wybranych pogłębiarek hydraulicznych [Opracowanie własne]

Nazwa statku	Typ pogłębiarki	Rok budowy	Długość całkowita, [m]	Pojemność ładowni, [m ³]	Ładowność, [ton]	Średnica rury ssącej, [mm]	Głębokość urabiania, [m]	Moc pomp, [kW]
Sinai	ssąco-refulująca	1980	65,3	600	1080	650	12	312
Banda	ssąco-refulująca	1983	71,1	1000	1400	550	14	323
Moniflor	ssąco-refulująca	2000	79,1	2000	4170	650	30	970
Coronaut	ssąco-refulująca	1990	81,8	3000	3450	800	25	978
Tong Tan	ssąco-refulująca	2003	90,3	3500	5300	900	28	3720
Cristoforo Colombo	ssąco-refulująca	1994	115,5	7200	10000	2 × 1000	35	2 × 3800
Volvox Delta	ssąco-refulująca	1984	117	8000	10390	1000	37,5	2 × 1835
Wan Quin Sha	ssąco-refulująca	2004	128,7	10028	14684	2 × 1000	39	2 × 3000
J.F.J. De Nul	ssąco-refulująca	1992	144	11750	17150	2 × 900	45	2 × 4400
Xin Hai Long	ssąco-refulująca	2002	152,8	12888	18978	2 × 1200	45	2 × 6550
Lange Wapper	ssąco-refulująca	1998	129,8	13700	15800	1200	50	b.d.
Pearl River	ssąco-refulująca	1994	144	17000	25000	2 × 1200	50	2 × 2730
Gerardus Mercator	ssąco-refulująca	1997	152,9	18000	27650	1200	112	2 × 3000
Volvox Terranova	ssąco-refulująca	1998	169,7	20000	29000	1200	105	2 × 2500
Rotterdam	ssąco-refulująca	2001	180,4	21500	37000	2 × 1200	60	12000
HAM 318	ssąco-refulująca	2001	169,5	23000	39095	2 × 1200	70	11000
Charles Darwin	ssąco-refulująca	2011	183,2	30500	47000	2 × 1200	93,5	2 × 3400
Vasco da Gama	ssąco-refulująca	2000	201,4	33000	60000	1400	140	2 × 4500
Juan Sebastian de Elcano	ssąco-refulująca	2002	157,5	16500	26500	1100	54,5	2 × 2250

TABELA 3 cd.

Nazwa statku	Typ pogłębiarki	Rok budowy	Długość całkowita, [m]	Pojemność ładowni, [m ³]	Ładowność, [ton]	Średnica rury ssącej, [mm]	Głębokość urabiania, [m]	Moc pomp, [kW]
James Cook	ssąco-refulująca	1992	144	11750	17150	1100	81	2 × 1850
Francis Beaufort	ssąco-refulująca	2003	142,5	11300	18590	1200	77	3400
Alexander von Humboldt	ssąco-refulująca	1998	120,5	9000	14200	1300	43	3100
Al-Idrisi	ssąco-refulująca	2011	104,3	7500	11800	1000	46,4	2000
Taccola	ssąco-refulująca	2003	95,3	4400	6955	900	28,5	1250
De Bougainville	ssąco-refulująca	2005	99,5	3700	5700	900	32	1250
James Ensor	ssąco-refulująca	1980	112,8	3600	5970	800	30	2 × 810
Pinta	ssąco-refulująca	1997	89,7	3400	5505	900	31	1250
Alvar Nunez Cabeza De Vaca	ssąco-refulująca	2011	93,25	3400	4800	800	26,5	1250
Gateway	ssąco-refulująca	2010	137	12000	22000	1200	62	7500
Puerto Mexico	ssąco-refulująca	1980	113,6	5854	7874	2 × 800	32	2130
Coastway	ssąco-refulująca	2002	97,7	4906	7144	900	28	1500
Argonaut	ssąco-refulująca	1990	85,86	3000	3500	1 × 800	25	636
Sospan	ssąco-refulująca	1990	57	970	1480	500	17	540
Ursa	ssąco-frezująca	1986	115,83	–	–	950	25	2200
Taurus	ssąco-frezująca	1983	112,6	–	–	850	30	2050
Cyrus	ssąco-frezująca	1978/2003	107	–	–	850	25	1764
Para	ssąco-frezująca	1981	69	–	–	750	17,5	429
Orion	ssąco-frezująca	1986/2001	73,8	–	–	800	24	1100

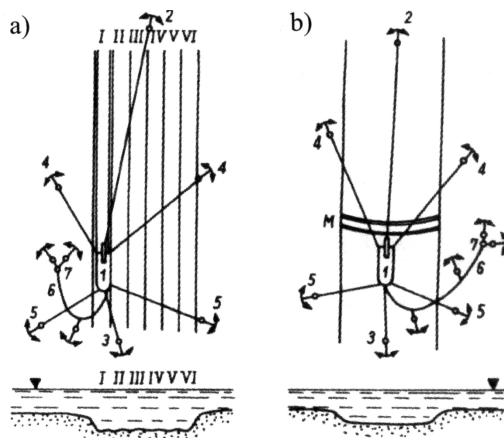
Praktycznie podstawowy wpływ na wybór odpowiedniej techniki i technologii wydobywania ma głębokość zalegania i urabialność złoża, projektowana wydajność, odległość transportu, uwarunkowania złożowe.

Technologia morskiego urabiania kopalin może się odbywać dwoma sposobami:

- 1) przez bruzdowanie,
- 2) przez motylkowanie.

Bruzdowe pogłębianie (rys. 10a) polega na urabianiu równoległych do osi kadłuba pogłębiarki kolejnych „rowków”. Długość frontu najczęściej wynosi 100–300 m. Ten sposób urabiania stosowany jest najczęściej w pogłębiarkach ssących i ssąco-refulujących.

Motylkowe pogłębianie (rys. 10b) polega na przemieszczaniu pogłębiarki poprzecznie do osi wykopu i do osi podłużnej pogłębiarki. Urabianie odbywa się cienkimi warstwami o grubości 0,3–1,0 m. Urabianie przez motylkowanie stosowane jest w pogłębiarkach wieloczerpakowych.



Rys. 10. Technologia pracy pogłębiarki: a) bruzdowanie; b) motylkowanie [2]:

- 1 — pogłębiarka; 2 — liny i kotwice główne; 3 — liny i kotwice tylne;
 4, 5 — liny i kotwice boczne; 6 — rurociąg tłoczny; 7 — zakończenie rurociągu tłoczego;
 I–VI — kolejne bruzdy; M — ciągi motylkowe

5. Polskie doświadczenia w eksploatacji kruszyw z dna morskiego

Obecnie w Polsce nie eksploatuje się morskich złóż skał okruszowych. Niemniej jednak w przeszłości prowadzono eksploatację głównie Ławicy Słupskiej. W latach 1992–2002 ze złoża wydobyto prawie 1 mln ton kruszywa. Największe wydobycie osiągnięte zostało w roku 2000 (478 tys. ton). Do eksploatacji stosowano pogłębiarkę ssącą ze zgarniakiem „Inż. Stanisław Łęgowski” (rys. 11).



Rys. 11. Poglębiarka „Inż. Stanisław Łęgowski” [10]

Poglębiarka ta wyposażona była w dwie rury ssące o średnicy 700 mm. Długość całkowita jednostki wynosiła 77,8 m, pojemność ładowni — 1600 m³, a wydajność efektywna około 400 m³/godz. (przy wydajności teoretycznej 1700 m³/godz.), maksymalna głębokość urabiania — 30 metrów.

Eksploracja prowadzona była warstwami o grubości około 0,4–0,5 m. Poglębiarka przepływając urabiała bruzdę o szerokości 1,5–1,7 metra (przy pracy dwoma układami ssącymi 2 × 1,5–1,7 m).

Rozładunek pogłębiarki odbywał się poprzez zestaw klap dennych lub za pomocą wewnętrznego systemu rurociągów refulujących.

Oprócz Ławicy Słupskiej eksploatowano również złożę Zatoka Koszalińska. Według danych Państwowego Instytutu Geologicznego [3] eksploatacja tego złoża prowadzona była tylko w roku 2001 i wyniosła ok. 6 tys. ton.

6. Wpływ odkrywkowej eksploatacji z dna morskiego na środowisko

Wpływ wydobywania kruszyw z morza na środowisko związany jest głównie z obniżaniem dna morskiego i usunięciem osadów.

Oddziaływanie to podzielić można na dwie sfery środowiska naturalnego:

- a) biologiczną,
- b) fizyczną.

Zakres i skala niekorzystnego oddziaływania na sferę biologiczną, które polega na degradacji biologicznej (częściowe zniszczenie biotopów) terenu eksploatacji, zależna jest od

rodzaju organizmów żyjących w strefie wpływu eksploatacji oraz rodzaju osadów, pory roku i wielu innych czynników.

Fizyczne oddziaływanie na środowisko związane jest z zaburzeniem „normalnego” cyklu życia wybrzeża (ruch fal, pływy itp.) i może prowadzić do przyspieszonej erozji linii brzegowej.

W przypadku gdy projektowana eksploatacja dotyczy środowiska wrażliwego przyrodniczo proces eksploatacji musi być bardzo uważnie monitorowany i optymalnie dostosowany do warunków środowiskowych. Wymaga to m.in. optymalnego doboru grubości i długości urabianych warstw a przy pogłębiarkach ssąco-frezujących: i wysokości organu urabiającego, prędkości obrotowej głowicy, mocy i ciśnienia pomp itp.

W UE w ramach programu Natura 2000 dotychczas utworzono około 1400 morskich obszarów TZW (obszary siedliskowe mające znaczenie dla wspólnoty) i 600 morskich obszarów OSO (obszary specjalnej ochrony ptasiej). Proces tworzenia sieci chronionych obszarów morskich nie jest jeszcze zakończony i w 2012 roku ma być poszerzony. Eksploatacja surowców mineralnych (w tym kruszyw naturalnych) w obszarach Natura 2000 podlega dużym ograniczeniom a większości jest wykluczona.

7. Podsumowanie

Zasoby surowców mineralnych zalegających w dnach mórz i oceanów są obecnie w zasięgu technicznych możliwości eksploatacji, chociaż przy dużych głębokościach proces ten może być nie zawsze ekonomicznie opłacalny. W przypadku złóż kruszyw naturalnych (piasków i żwirów) zalegających na głębokości do 100 m eksploatacja jest ekonomicznie opłacalna, o czym świadczą liczne przykłady krajów europejskich prowadzących taką działalność górnictwem. Spośród wielu możliwych do zastosowania typów maszyn i urządzeń do eksploatacji spod wody najlepiej przystosowane do warunków morskich i najczęściej stosowane są pogłębiarki ssące wyposażone w zgarniaki. Jednostki takie mogą eksploatować złoża nawet z głębokości ponad 100 metrów i jednorazowo zabrać ładunek do 40 tys. ton a niekiedy i więcej.

W Unii Europejskiej w niektórych krajach, kruszywa pozyskiwane z dna morskiego w znacznym stopniu zastępują surowiec wydobywany ze złóż lądowych, mając niekiedy podstawowe znaczenie regionalne. Kruszywa te stosowane są między innymi do budowy systemów ochronnych przed podwyższonym poziomem wód, co jest szczególnie ważne w związku z przewidywaną zmianą klimatu.

W Polsce mamy trzy udokumentowane złoża kruszyw w bałtyckim obszarze morskim. Charakteryzują je stosunkowo korzystne parametry jakościowe (punkt piaskowy). Jedynie w przypadku złoża zlokalizowanego w Zatoce Koszalińskiej zachodzi pewne niebezpieczeństwo wystąpienia niekorzystnego oddziaływania eksploatacji na linię brzegową, jest to również złożo trudniejsze do urabiania (obecność głazów itp.).

LITERATURA

- [1] *Bellamy A.*: Costal defence and marine aggregates dredging off the UK. BMAPA; 2000.
- [2] *Bęben A.*: Maszyny i urządzenia do wydobywania kopalin pospolitych bez użycia materiałów wybuchowych. Wyd. UWND AGH, Kraków 2008.
- [3] Bilans Zasobów Surowców Mineralnych i Wód Podziemnych w Polsce. Wydawnictwo PIG; Warszawa roczniki 1998–2010.
- [4] *Depowski S i in.*: Surowce mineralne mórz i oceanów. Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa 1998.
- [5] FOREGS (Forum of the European Geological Survey Directors): Aggregates in Europe 1st draft; (publikacja elektroniczna).
- [6] *Gomaa E., Drebenstedt C.*: State of the art. In continuous aqueous mining and their impacts on the environment. Continuous Surface Mining. 10th International Symposium Continuous Surface Mining. Technische Universität Bergbauakademie Freiberg. Germany 2010.
- [7] Impact of marine aggregates dredging and overboard screening on benthic biological resources in the Central North Sea; BMAPA, 2002.
- [8] *Karlic S.*: Zarys górnictwa morskiego; Wydawnictwo Śląsk; Katowice 1983.
- [9] *Kawalec P., Koziol W., Machniak Ł.*: Eksploatacja kruszyw naturalnych ze złóż dna morskiego i jej oddziaływanie na środowisko. Górnictwo Odkrywkowe, Nr 5–6, 2007.
- [10] *Kawalec P., Koziol W.*: Możliwości eksploatacji kruszyw naturalnych z dna morskiego i jej wpływ na środowisko. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie Nr 11(171)/2008. WUG 2008.
- [11] *Koziol W., Kawalec P.*: Produkcja i zużycie kruszyw w Holandii. Surowce i Maszyny Budowlane, 2/2006.
- [12] *Koziol W., Machniak Ł., Ciepliński A.*: Technologie wydobywania kruszyw spod wody. Przegląd Górnictwa, 7–8, 2011.
- [13] *Kramarska R.*: Podmorska eksploatacja surowców okruchowych – Korzystanie z daru przyrody, czy niszczenie środowiska morskiego; Informator; Państwowy Instytut Geologiczny; nr 2; lipiec/sierpień 2003.
- [14] *Masłowska M.*: Złoża kruszywa naturalnego w Polskiej części Morza Bałtyckiego, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 416/2005, Warszawa 2005.
- [15] *Mazurkiewicz B.K.*: Encyklopedia inżynierii morskiej. Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej. Gdańsk 2009.
- [16] *Meulen M.J. van der; Koopmans T.P.F.; Pietersen H.S.*: Construction raw materials policy and supply practices in Northwestern Europe; Industrial Minerals-resources, Characteristics and Applications; Aardk. Mededel, 2003.
- [17] www.ihcholland.com,
- [18] www.eureka-bv.com,
- [19] www.pig.pl,
- [20] www.dredging.org,
- [21] www.pig.pl,
- [22] www.dredgebrokers.com,
- [23] www.epa.gov,
- [24] www.dredgeandmarine.com,
- [25] www.dscdredge.com,
- [26] www.dredgesource.com