

Maria Ciechanowska
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Potencjał węglowodorowy Arktyki

Wstęp

Kurczące się zasoby surowców energetycznych, a także stale rosnący popyt na wszelkiego rodzaju paliwa, w tym przede wszystkim na ropę naftową i gaz ziemny oraz na produkty naftowe, spowodowały zwrócenie bacznej uwagi szeregu państw na ogromny potencjał węglowodorowy tkwiący w obszarze Arktyki.

Dodatkowym sprzyjającym atutem było i jest zjawisko kurczenia się arktycznej pokrywy lodowej wskutek zach-

dzających zmian klimatycznych. Jeśli tempo jej zanikania utrzyma się na dotychczasowym poziomie, to prawdopodobnie w okresie do 35 lat Morze Arktyczne stanie się w miesiącach letnich wolne od lodu. I tu tkwi drugi, nie mniej ważny powód zainteresowania Arktyką. Utworzony zostanie wówczas naturalny korytarz północny łączący Europę z Dalekim Wschodem, skracający drogę żeglugi do Chin czy Japonii o około 2000 km.

Obszar Arktyki i jej aktualny status prawny

Arktyka obejmuje zarówno lądy, jak i obszary wodne, stanowiące strefę polarną półkuli północnej. Wyróżnia się co najmniej jej dwie granice:

- klimatyczną – wzdłuż izotermy $+10^{\circ}\text{C}$ najcieplejszego miesiąca roku, obejmującą wewnątrz powierzchnię ok. 26,6 mln km^2 ,
- astronomiczną – którą jest koło podbiegunowe północne, wyznaczającą obszar ok. 21 mln km^2 .

Obszar Arktyki jest podzielony na pięć sektorów, będących w posiadaniu Rosji, Kanady, USA, Danii (z Islandią) oraz Norwegii, w myśl obowiązującej od 1925 roku zasady, sformułowanej przez Kanadę, że wszystkie wyspy (zarówno znane, jak i nieodkryte) między biegunem południowym a południkami skrajnych punktów północnych wybrzeży państw sąsiadujących z Arktyką należą do ich terytoriów. Wyjątek od tej zasady stanowi kilka wysp należących do Danii (np. Grenlandia) i Norwegii (m.in. Svalbard i Wyspa Niedźwiedzia).

Przez wyżej wymienione państwa arktyczne została utworzona Rada Arktyczna, w której status obserwatora ma także Polska, posiadająca od 1957 roku swoją całoroczną stację polarną Hornsund. Stacja ta zlokalizowana jest nad Zatoką Białego Niedźwiedzia w fiordzie Hornsund,

na wyspie Spitsbergen Zachodni w archipelagu Spitsbergen (Svalbard) w Norwegii. Prowadzone są tam badania naukowe m.in. w dziedzinach meteorologii, sejsmologii, magnetyzmu ziemskiego, glaciologii, elektryczności atmosfery i ochrony środowiska.

Jest natomiast prawdą, że status prawny Arktyki nigdy nie został uregulowany żadną umową międzynarodową.

Brak uregulowań prawnych dotyczących eksploatacji węglowodorów z dna morskiego był przedmiotem dużo wcześniejszych już sporów, np. w latach 50. i 60. XX wieku, kończących się podpisaniem traktatów międzypaństwowych, w których nie chodziło o podziały administracyjne, lecz o podział odkrytych złóż węglowodorów (np. 1942 rok – Zatoka Paria, spór Wenezueli i Wlk. Brytanii; lata 1949–1951 – Zatoka Perska, spór USA i Wlk. Brytanii).

Pojęcie szelfu kontynentalnego zostało wprowadzone do terminologii prawa morskiego i usankcjonowane postanowieniem IV Konwencji Genewskiej w 1958 roku, w którym zapisano: „wyrażenie «szelf kontynentalny» używane jest dla określenia dna morskiego i podglebia obszarów podmorskich przyległych do wybrzeża, lecz znajdujących się poza obszarem morza terytorialnego, do głębokości 200 m, albo poza tą granicą do głębokości, gdzie

pokrywające wody pozwalają na eksploatację zasobów naturalnych wymienionych obszarów” [9].

To nieprecyzyjne sformułowanie postanowienia nie było jednak przestrzegane i 11 lat później wiercenia poszukiwawcze za węglowodorami prowadzono już przy głębokości morza do 500 m.

W 1982 roku na sesji kończącej konferencję ONZ nt. prawa morza przyjęto konwencję, którą ratyfikowały do chwili obecnej 164 państwa (ostatnie podpisy złożono we wrześniu 2012 roku), jednak z wyłączeniem USA. Akt końcowy ww. konferencji, który wszedł w życie 16.11.1994 roku, wprowadził nowe regulacje dotyczące eksploatacji, badań i ochrony poszczególnych obszarów morskich, ale przede wszystkim zdefiniował strefy morza terytorialnego, zasięgi strefy przyległej, wyłącznej strefy ekonomicznej, szelfu kontynentalnego i morza otwartego (rysunek 1). Dno pod wodami wewnętrznymi i morzem terytorialnym wchodzi w skład suwerennego obszaru terytorialnego państwa nadbrzeżnego, zaś zasoby na dnie i pod dnem morza otwartego uznane zostały za wspólne dziedzictwo ludzkości.

Nie była to jednak pełna kodyfikacja i mimo niekwestionowanego sukcesu ONZ w doprowadzeniu do powstania tej konwencji wiele spraw spornych nie zostało rozstrzygniętych do chwili obecnej.

Stąd więc od kilku lat trwają wzmożone działania poszczególnych państw, by udowodnić swoje prawa do naturalnych bogactw Arktyki. Obecnie najważniejsze są złoża węglowodorów, ale już dziś mówi się o występowaniu

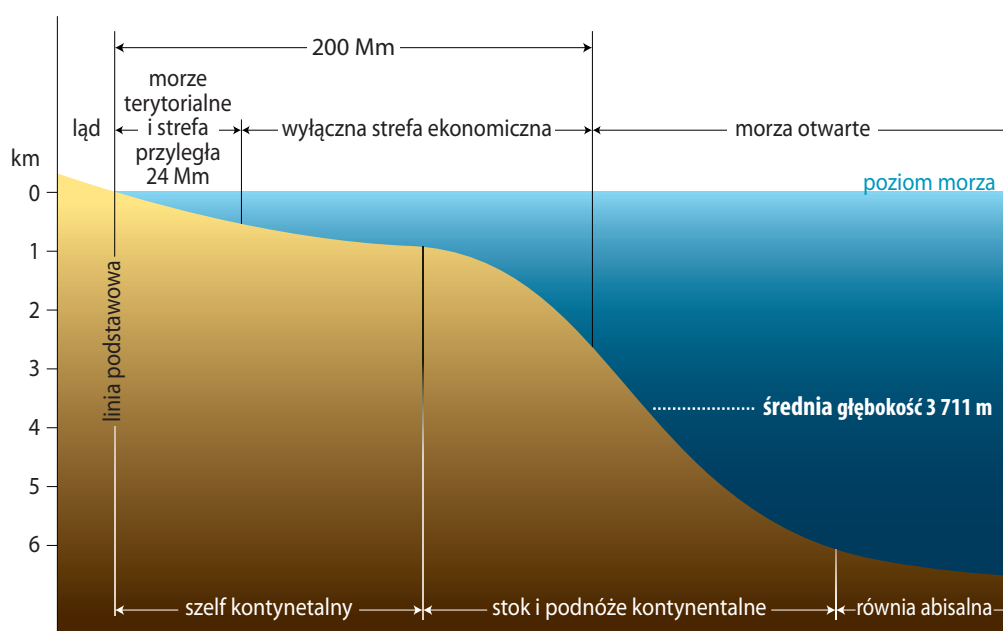
w tym rejonie złóż różnych surowców polimetalicznych, chemicznych i okrucowych, często o znaczeniu strategicznym, m.in. takich jak nikiel, uran, kobalt, wolfram, selen, molibden, cynk, cyna, miedź, fosforyty, ruda żelaza, a także węgiel. Wydobycie niektórych z tych surowców na skalę przemysłową ma miejsce już od lat 50. XX wieku (np. na Grenlandii, Alasce, w ZSRR, w Skandynawii). Z uwagi jednak na ich przeznaczenie informacje na temat zasobów czy wielkości eksploatacji są skąpe [3, 7].

Rysunki 2 i 3 przedstawiają wielkości wydobycia niektórych surowców mineralnych w sektorze norweskim i amerykańskim Arktyki, wyrażone pośrednio poprzez ich wartości.

W rywalizacji o Arktykę prym wiedzie Rosja, która znając i doceniając niezwykle trudne warunki klimatyczne, jak i swoje ograniczenia w dostępie do najnowszych technologii, a także mając świadomość ogromu wydatków finansowych niezbędnych do poniesienia dla udokumentowania zasobów węglowodorów i podjęcia ich eksploatacji wraz z budową infrastruktury przesyłowej, zaprosiła do współpracy w pracach poszukiwawczych i eksploatacyjnych złóż podmorskich firmy amerykańskie, włoskie i norweskie.

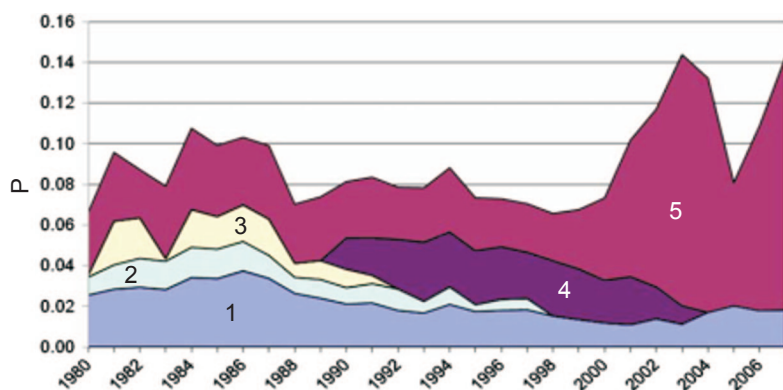
I tak rosyjski koncern naftowy Rosneft tylko w 2012 roku podpisał umowy o partnerstwie strategicznym w zakresie wspólnej eksploatacji złóż m.in. pod Morzem Karским i Morzem Barentsa np. z:

- największym amerykańskim koncernem paliwowym Exxon Mobil,



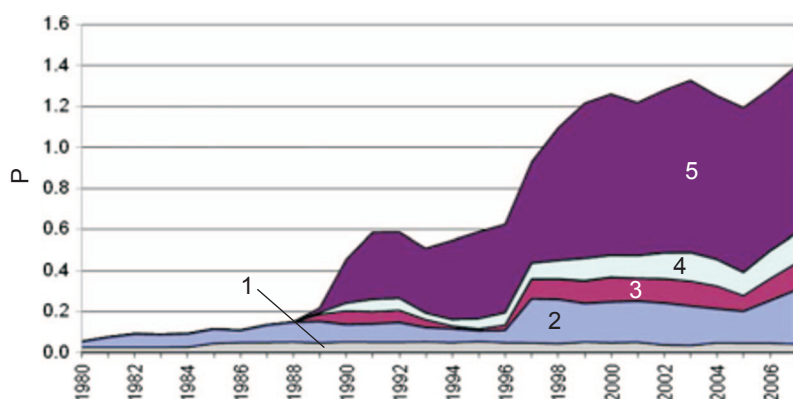
Rys. 1. Podział mórz i oceanów zgodnie z Konwencją Narodów Zjednoczonych o prawie morza

Objaśnienie: Mm – mila morska, 1 Mm = 1852 m



Rys. 2. Wielkość wydobycia niektórych surowców mineralnych P w sektorze norweskim Arktyki w latach 1980–2007 wyrażona poprzez jego wartość w bilionach dolarów (10^{12} USD) [3]

Objaśnienia: 1 – ruda żelaza, 2 – cynk, 3 – miedź, 4 – nikiel, 5 – węgiel (Svalbard)



Rys. 3. Wielkość wydobycia niektórych surowców mineralnych P na Alasce w latach 1980–2007 wyrażona poprzez jego wartość w bilionach dolarów (10^{12} USD) [3]

Objaśnienia: 1 – węgiel, 2 – złoto, 3 – srebro, 4 – ołów, 5 – cynk

- włoskim koncernem gazowym Eni,
 - norweskim Statoilem
- za 1/3 udziałów w spółkach wydobywczych – w zamian za sfinansowanie prac poszukiwawczych.

Już w 2007 roku rosyjska ekspedycja przeprowadziła badania mające na celu potwierdzenie, że Grzbiet Łomonosowa – pasmo górskie rozciągające się pod Oceanem Arktycznym, wykształcone w okresie alpejskich ruchów górotwórczych na przełomie kredy i paleogenu – stanowi naturalne przedłużenie szelfu kontynentalnego, co należy interpretować, że struktura ta należy wyłącznie do Rosji.

O ten sam obszar starają się również Dania i Kanada, prowadzące obecnie wspólne badania Arktyki. Jeżeli ich wynikiem będzie potwierdzenie, że wyżej wymieniona struktura podmorska jest częścią kontynentu amerykańskiego, będzie to z pewnością prowadziło do wzrostu napięć między państwami.

Jest to jeden z wielu możliwych przykładów wskazujących, że konflikt interesów istnieje, i tylko od stanowiska i zaangażowania międzynarodowych organizacji będzie

zależało, czy jego rozstrzygnięcie nastąpi na drodze pokojowej.

Wyścig trwa nie tylko o prawo do pozyskiwania surowców energetycznych. Jak już wspomniano wcześniej, niebagatelne znaczenie gospodarcze ma podjęty przez Rosję plan strategiczny otwarcia przejścia północnego drogą morską, wiodącą z Europy do Azji, wzdłuż północnego wybrzeża Rosji. Korytarz ten ma umożliwić m.in. transport skroplonego gazu ziemnego LNG z Sachalina do krajów Europy Zachodniej, ale także różnego rodzaju towarów z Europy do Chin czy Japonii. W tym celu, za kwotę 1,1 mld USD, budowany jest gigantyczny lodołamacz o długości 170 m i szerokości 34 m, będący w stanie kruszyć pokrywę lodową o grubości do 4 m i tym samym torować drogę dla statków.

Efektem tych działań Rosji było wystąpienie premiera Kanady, który upomniał się o przejście północne przez Cieśninę Beringa i przeznaczył kwotę 7 mld USD na budowę bazy wojskowej i nowego portu, by strzec granicy kanadyjskiej. Wyścig z czasem trwa.

Zasobność podmorskich złóż Arktyki

Oceny dotyczące zasobności ww. złóż, przeprowadzone przez różne ośrodki naukowe, są bardzo rozbieżne, niemniej każdorazowo wskazują wielkie liczby. Dane cytowane w artykule [10] lokują złoża Arktyki na pierwszym

miejszu w odniesieniu do zasobności podmorskich złóż innych oceanów (tablica 1).

Szacuje się, że pod dnem Oceanu Arktycznego, zajmującego powierzchnię ok. 14,4 mln km², zalega 25–30%

Tablica 1. Zasoby węglowodorowe podmorskich złóż oceanów

Ocean	Procent zasobów podmorskich złóż	Zasoby [BTOE]*
Arktyczny	58	154
Indyjski	17	45
Atlantycki	19	50
Pacyfik	6	16
Razem	100%	265

* BTOE – bilion ton ekwiwalentu ropy

światowych zasobów gazu ziemnego i 10–15% ropy naftowej. Można zatem mówić o Oceanie Arktycznym jako o megabasenie naftowym, który odegra w niedalekiej przyszłości 20–30 lat znaczącą rolę w kształtowaniu polityki energetycznej świata. Większość tych zasobów tkwi pod morzami: Karskim, Łaptiewów czy Barentsa, a zatem w strefie ekonomicznej Rosji.

Do największych morskich basenów naftowych Arktyki należą m.in.:

- Morze Północne (Norwegia, Wlk. Brytania, Holandia, Dania), powierzchnia basenu $P = \text{ok. } 290 \text{ tys. km}^2$,

- Zachodnia Syberia (Morze Karskie, Rosja), $P = 250 \text{ tys. km}^2$,
- Morze Barentsa – część południowa, tzw. Południowy Barents (South Kara, Rosja), $P = 120 \text{ tys. km}^2$,
- Sverdrup (Kanada), $P = 40 \text{ tys. km}^2$,
- Mackenzie (Kanada), $P = 20 \text{ tys. km}^2$,
- Alaska (północny skłon Morza Beauforta, USA), $P = 20 \text{ tys. km}^2$,
- Grand Banks (Labrador–Newfoundland, Kanada), P – brak danych.

Lokalizację morskich basenów naftowych Arktyki przedstawia rysunek 4.

Morza wchodzące w skład systemu Oceanu Arktycznego mają bardzo zróżnicowane średnie głębokości, od 54 m do 1898 m, zaś ich maksymalne wartości wahają się od 600 m do 5527 m. Pod tym względem morza sektora rosyjskiego są płytsze od pozostałych, z wyjątkiem Morza Północnego i Morza Lincoln (tablica 2).

Średnie głębokości zalegania złóż pod dnem mórz wahają się od 1,1 km dla Morza Karskiego do 3,8 km dla basenu Mackenzie. Złóża te w większości przypadków zlokalizowane są w strukturach piaskowcowych, wykształconych w okresie alpejskich ruchów górotwórczych



Rys. 4. Lokalizacja morskich basenów naftowych Arktyki [10]

Tablica 2. Głębokość mórz Oceanu Arktycznego

Nazwa morza	Powierzchnia [mln km ²]	Średnia głębokość [m]	Maksymalna głębokość [m]
Morze Barentsa	1,424	222	600
Morze Karskie	0,883	111	620
Morze Łaptiewów	0,662	533	3385
Morze Wschodniosyberyjskie	0,913	54	915
Morze Czukockie	0,595	71	1256
Morze Beauforta	0,481	1536	3749
Morze Lincolna	0,038	289	582
Basen Arktyczny	4,470	2560	5449
Morze Baffina	0,530	804	2413
Morze Labradorskie	0,841	1898	4316
Morze Grenlandzkie	1,195	1641	5527
Morze Norweskie	1,340	1735	3970
Morze Północne	0,565	87	809

na przełomie kredy i paleogenu. Wyjątek stanowią złoża Morza Północnego w utworach kredowych.

Obecnie aktywne prace poszukiwawcze i eksploatacyj-

ne prowadzą cztery państwa, tj. Kanada, USA, Norwegia i Rosja. Większość eksploatowanych złóż zostało odkrytych 30 lat temu.

Potencjał węglowodorowy arktycznego szelfu Rosji

Powierzchnia arktycznego szelfu kontynentalnego Rosji wynosi ok. 6 mln km², z których ok. 4 mln km² są perspektywicznymi dla poszukiwań złóż węglowodorów. Ocenia się, że zasoby tego szelfu wynoszą ok. 52 bln ton ropy naftowej i kondensatu oraz ok. 90 trylionów m³ gazu ziemnego. Największe zasoby gazu (do 70 trylionów m³) związane są z rejonem Morza Barentsa i Morza Karskiego (tablica 3).

Badania sejsmiczne połączone z grawimetrią, a także wiercenia otworów na szelfie rosyjskim prowadzone były intensywnie od wielu lat. Według stanu na dzień 1.01.2011

roku wykonano profilowania sejsmiczne łącznie o długości 674,44 tys. km oraz odwiercono 84 otwory wiertnicze. Najwięcej badań wykonano w rejonie mórz: Barentsa, Peczerskiego oraz Karskiego (tablica 4).

Obecnie prace geologiczno-geofizyczne w rejonie szelfu arktycznego prowadzone są w ramach rządowego programu Federacji Rosyjskiej na lata 2010–2020 i są finansowane z budżetu federalnego.

Do 2030 roku planuje się już wydobycie z arktycznego szelfu rosyjskiego 60 mln ton ropy oraz 170 mld m³ gazu.

Tablica 3. Prawdopodobne zasoby węglowodorów basenów naftowych rosyjskiego szelfu arktycznego [6]

Lokalizacja basenu naftowego	Ropa naftowa [bln ton]	Gaz ziemny towarzyszący ropie [bln m ³]	Gaz ziemny [trylion m ³]	Kondensat [mln ton]
Zachodnia część Morza Barentsa	9,0	300	8,0	40
Wschodnia część Morza Barentsa	20,0	1863	41,0	205
Timan–Peczora	4,0	35	1,8	10
Północna część Morza Karskiego	2,3	63	3,3	13
Południowa część Morza Karskiego	7,0	230	23,0	180
Morze Łaptiewów	2,3	63	4,2	15
Wschodnia Arktyka	6,0	18	4,7	17
Nowa Syberia–Morze Czukockie	0,7	19	1,1	8
Razem	51,3	2591	87,1	488

Tablica 4. Badania sejsmiczne i prace wiertnicze wykonane na rosyjskim szelfie kontynentalnym Arktyki [5]

Obszar badań	Badania sejsmiczne		Liczba odwierconych otworów
	profil sejsmiczny [tys. km]	gęstość pomiarów [km/km ²]	
Morze Barentsa i Morze Peczorskie	468,61	0,46	55
Morze Karskie	147,12	0,17	28
Morze Łaptiewów	32,37	0,05	–
Morze Wschodniosyberyjskie	10,63	0,01	–
Morze Czukockie	15,71	0,04	–
Razem	674,44		83

Aby ten plan mógł być zrealizowany, podjęto zadania związane z modernizacją przemysłu stoczniowego, z budową

40 platform morskich, 50 tankowców, terminala przeładunkowego dla ropy oraz zakładu skraplania gazu [2].

Wybrane problemy związane z wydobywaniem węglowodorów w strefie szelfu arktycznego

Odkrycie gigantycznych złóż na arktycznym szelfie rosyjskim nie oznacza, że struktury te będą eksploatowane na szeroką skalę wcześniej niż za 20–30 lat. Przyczyną tego są niekorzystne warunki klimatyczne, duże wymagania techniczne dotyczące zarówno infrastruktury podmorskiej, jak i napowierzchniowej, konieczność budowy floty tankowców i lodołamaczy, a także m.in. zjawiska przyrodnicze pojawiające się w tym rejonie. Do czynników przyrodniczych należą m.in. [1, 2]:

- gruba pokrywa lodowa, zalegająca na morskim akwenie przez okres od 4 do 12 miesięcy w roku,
- obecność licznych sztormów i wichur, a także niskich temperatur dochodzących od -20°C do -60°C ,
- wielkie pływające tafle lodu, mogące zniszczyć praktycznie każdą instalację morską,
- wysoka aktywność sejsmiczna, obejmująca m.in. rejony mórz: Barentsa, Łaptiewów, Karskiego,
- obecność stref anomalnie niskich ciśnień złożowych, obejmujących swym zasięgiem dużą liczbę złóż na szelfie Arktyki, co doprowadziło już niejednokrotnie do awarii i katastrof w czasie prac wiertniczych, prowadzonych m.in. na Morzu Barentsa czy Morzu Północnym,
- zaleganie gazohydratów na dnie i pod dnem mórz, które w wyniku utraty stabilności przy zmianach temperatury i ciśnienia mogą uwalniać ogromne ilości metanu, stwarzającego niebezpieczeństwo dla prowadzenia prac wiertniczych; potwierdzają to awarie połączone z wielokrotnymi wyrzutami tego gazu m.in. na Morzu Peczorskim,
- występowanie tzw. kriostref, charakteryzujących się ujemnymi temperaturami na dnie mórz.

Problemem, na który należy zwrócić uwagę, jest uwalnianie się metanu spod lądolodu arktycznego w wyniku ocieplania się klimatu i kurczenia pokrywy lodowej. Jednak działania te są silnie ze sobą sprzężone: uwalniający się metan, jako gaz cieplarniany, ma wpływ na ocieplenie klimatu, zaś wyższa temperatura powoduje topnienie lodu i uwalnianie się metanu.

Badania naukowe wykonane przez ekspedycje rosyjskie i międzynarodowe wzdłuż brzegu rosyjskiego Arktyki dwukrotnie w latach 2003 i 2004 wykazały, że warstwa wód powierzchniowych Morza Wschodniosyberyjskiego i częściowo Morza Łaptiewów była nasycona metanem w stopniu 2500% wyższym, niż wynosi zawartość metanu w powietrzu atmosferycznym (równa średnio 1,85 ppm).

Metan, który przedostaje się do oceanu, pochodzi w większości przypadków z substancji organicznej zalegającej w utworach szelfowych i jego powstanie jest związane z procesami mikrobiologicznymi biorącymi udział w przetwarzaniu tej substancji. Środowiskiem, w którym najczęściej zachodzą te procesy, są utwory mułowcowe, o średnicy ziaren mniejszych od 0,01 mm, zawierające substancję organiczną w ilości ok. 1,9% [8].

Na podstawie modelu symulującego topnienie pokrywy lodowej wraz z ocieplaniem się klimatu stwierdzono, że jej grubość zmniejszy się z 3,5 m do poniżej 2,0 m do 2040 roku [4]. Stworzy to dodatkowe utrudnienia dla prac wiertniczych i eksploatacyjnych, gdyż jak już wspomniano, popękana pokrywa lodowa może niszczyć wszelkie instalacje morskie. I pomimo, że wykryto szereg złóż o dużym potwierdzonym potencjale węglowodorowym, niezwykle trudno jest sięgnąć po ich bogactwo

Podsumowanie

Z uwagi na fakt, że obecna wielkość wydobycia ropy naftowej i gazu ziemnego nie jest w stanie zaspokoić wzrastających potrzeb energetycznych świata, a zwłaszcza rosnących potęg, czyli takich krajów jak Indie, Chiny czy Brazylia, zwrócono uwagę na olbrzymi potencjał węglowodorowy Arktyki.

Wydobycie ropy i gazu ze złóż zlokalizowanych na szelfie kontynentalnym trwa już od wielu lat, lecz w bardzo ograniczonym zakresie, niemniej ocena zasobów prognostycznych wskazuje, że nadal zalega tam 25–30% światowych zasobów gazu ziemnego oraz 10–15% zasobów ropy naftowej. Większość tego potencjału przypada na rosyjski szelf Arktyki.

Bardzo trudne warunki klimatyczne oraz towarzyszące im zjawiska przyrodnicze stawiają bardzo wysokie wymagania dotyczące infrastruktury związanej z poszukiwaniem, eksploatacją i przesyłem węglowodorów, co ma równocześnie wpływ na konieczność ponoszenia wysokich kosztów. Przewiduje się, że zastosowanie nowych rozwiązań technicznych i technologicznych oraz zainwestowanie bardzo dużych środków finansowych pozwoli rozpocząć eksploatację złóż na rosyjskim szelfie arktycznym na skalę przemysłową, nie wcześniej jednak niż za 20–30 lat.

Prace projektowe i eksperymentalne, mające na celu "ujarzmienie" tych złóż, prowadzone są przez konsorcja naukowo-przemysłowe wielu krajów.

Literatura

- [1] Богоявленский В.И., Богоявленский И.В.: *Шельф Арктики: перспективы и проблемы освоения ресурсов нефти и газа*. Materiały Konferencji GEOPETROL 2012, Instytut Nafty i Gazu, s. 47–54.
- [2] Дмитриевский А.Н., Кульпин Л.Г., Максимов В.М.: *Арктический шельф России: риски, проблемы безопасности и перспективы освоения месторождений углеводородов*. Materiały Konferencji GEOPETROL 2008, Instytut Nafty i Gazu, s. 21–35.
- [3] Haley S., Klick M., Szymoniak N., Crow A.: *Observing trends and assessing data for Arctic mining*. „Polar Geography” 2011, vol. 34, no. 1–2, s. 37–61.
- [4] Harsem Ø., Eide, A., Heen K.: *Factors influencing future oil and gas prospects in the Arctic*. „Energy Policy” 2011, vol. 39, issue 12, s. 8037–8045, www.elsevier.com/locate/enpol.
- [5] Kaminskii V. D., Skrunenko O. I., Suslova V. V.: *The continental shelf of the Russian Arctic region: the state of the art in the study and exploration of oil and gas resources*. „Russian Geology and Geophysics” 2011, vol. 52, issue 8, s. 760–767, www.elsevier.com/locate/rgg.
- [6] Kontorovich A. E., Epov M. I., Burshtein L. M. i in.: *Geology and hydrocarbon resources of the continental shelf in Russian Arctic seas and the prospects of their development*. „Russian Geology and Geophysics” 2010, vol. 51, issue 1, s. 3–11, www.elsevier.com/locate/rgg.
- [7] Safonov Yu. G.: *Mineral potential of the Russian Arctic: state and efficient development*. „Russian Geology and Geophysics” 2010, vol. 51, issue 1, s. 112–120, www.elsevier.com/locate/rgg.
- [8] Shakhova N., Semiletov I.: *Methane release and coastal environmental in the East Siberian Arctic shelf*. „Journal of Marine Systems” 2007, vol. 66, issues 1–4, s. 227–243, www.sciencedirect.com.
- [9] Wasilewski A.: *Ropa naftowa w XX wieku*. Kraków, Instytut Nafty i Gazu, 2011.
- [10] Zolotukhin A., Gawrilov V.: *Russian Arctic petroleum resources*. „Oil and Gas Science and Technology” 2011, vol. 66, no. 6, s. 899–910.



Dr hab. inż. Maria CIECHANOWSKA, prof. INiG – absolwentka Akademii Górniczo-Hutniczej, Wydział Geologiczno-Poszukiwawczy. Dyrektor Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Specjalizacja zawodowa: geofizyczne modele interpretacyjne dla oceny nasycenia skał węglowodorami, badania geofizycznych parametrów skał i mediów złożowych.