

---

# Szybki koniec świata, czyli czego nie wiemy o postępującym ociepleniu<sup>1</sup>

Janusz Lipkowski

Wydział Matematyczno-Przyrodniczy Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie i Towarzystwo Naukowe Warszawskie

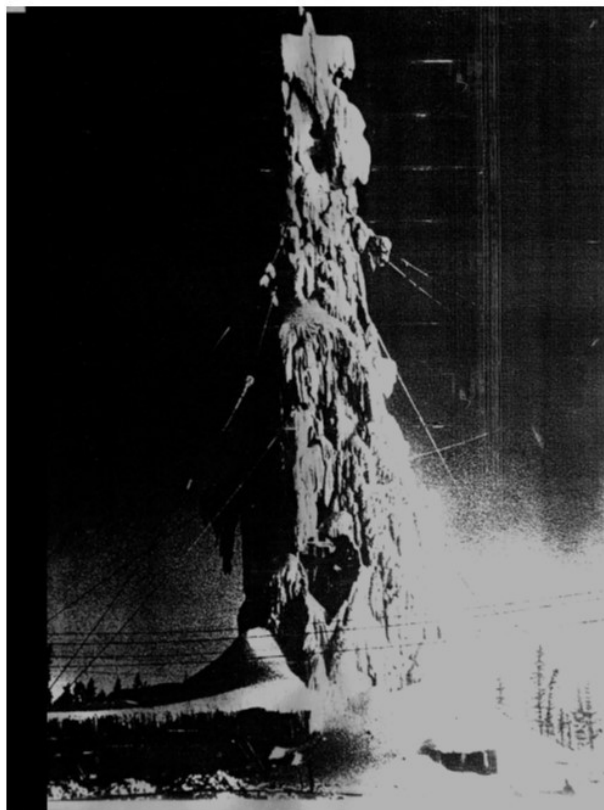
---

**Streszczenie.** Artykuł dotyczy zagrożenia klimatu wynikającego z postępującej destabilizacji złóż metanu na Ziemi. Oszacowane ilości metanu "zamrożone" w formie hydratu, pod wodą na głębokościach kilkusetmetrowych, lub w rejonach wiecznej zmarzliny, przewyższają ilość tlenu w atmosferze. A uwolnienie go jest łatwe wskutek nadmiernego ocieplenia. Więc...

---

Nasz glob przeszedł w swojej historii pięciokrotnie okresy wielkiego wymierania, ostatnio ok. 65 mln lat temu, kiedy w morzach wyginęło 95% żyjących tam organizmów, a na lądach 70%. Ostatnio pojawiają się ostrzeżenia, że właśnie rozpoczęło się szóste wielkie wymieranie. Pogląd ten opiera się na niezwykle dramatycznych obserwacjach wzrostu liczby ginących gatunków. Na przykład w ciągu minionego dziesięciolecia ilość owadów w naszej strefie klimatycznej zmalała, licząc łączną ich wagę, trzykrotnie. Nie lekceważąc tych informacji muszę od razu stwierdzić, że nie będę o tym pisał, gdyż nie jestem w tej dziedzinie specjalistą i zwyczajnie się na tym nie znam. Nie jestem też ekspertem od zmian klimatu. Zajmę się wyłącznie metanem i jego wpływem na przyszłe losy świata. Nie jest to wiedza tajemna, specjaliści są świadomi wpływu metanu na klimat, ale z nieznanymi powodów zbyt mało, moim zdaniem, się o tym pisze i mówi w aspekcie bliskiej przyszłości. Można odnieść wrażenie, że powodem jest niepełna wiedza na temat wiązania metanu przez wodę, o czym za chwile napiszę.

Zacznę od paru zdjęć o historycznej wadze: pierwsze (ryc. 1) przedstawia widok instalacji wiertniczej na Syberii po niespodziewanym wypływie wody z wykonywanego otworu wiertniczego. Ponieważ na zewnątrz panowała niezwykle niska temperatura ( $-63^{\circ}\text{C}$ ), to utworzył się widoczny na zdjęciu gigantyczny sopel. Było to w połowie XX wieku i niepełnie wiedziano, co było przyczyną tego zjawiska. Nie było chemicznej eksplozji, zwyczajnie w tym zimnie nagle wypłynęła woda! Drugą fotografię otrzymałem od przyjaciół z Nowosybirsk. Jest to zdjęcie zrobione z amerykańskiego satelity (ryc. 2),

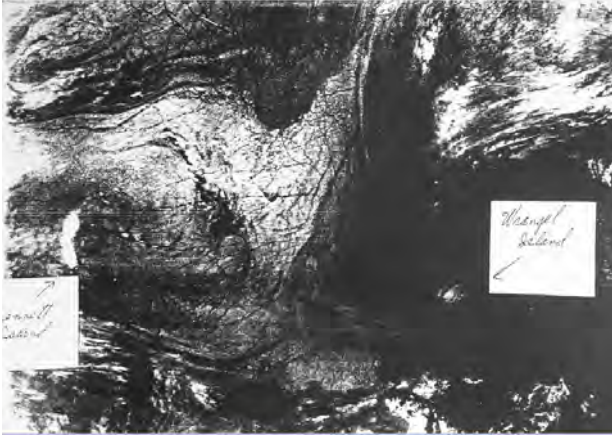


Ryc. 1. Widok instalacji wiertniczej na Syberii z lat 50. XX w.. W wyniku wypływu wody z szybu wiertniczego, przy temperaturze zewnętrznej  $-63^{\circ}\text{C}$  doszło do utworzenia gigantycznego sopla. Fotografia opublikowana w ówczesnej prasie radzieckiej została potem przedrukowana w *La Recherche* [La Recherche 18 192, 1193 (1987)]

pokazujące obszerny fragment morza arktycznego (zaznaczone są wyspy Wrangla i Benneta). Obserwatorów zaintrygowała rozległa chmura metanu (30x120 km) w kształcie banana (po lewej stronie fotografii u dołu), zlokalizowana w obszarze, na którym ZSRR wykonywał próby nuklearne. Amerykanie zwrócili się więc do uczonych w ZSRR o podjęcie wspólnych badań nad przyczy-

---

1. Referat wygłoszony na posiedzeniu Towarzystwa Naukowego Warszawskiego 6 marca 2020 roku.

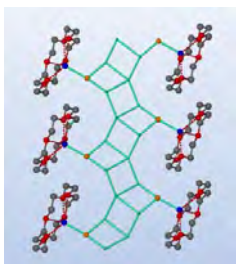


Ryc. 2. Fotografia satelitarna szerokiego obszaru morza arktycznego (zaznaczone wyspy Wrangla i Bennetta) zawierająca widok chmury gazu metanowego (z lewej strony u dołu) o kształcie przypominającym banana – długość (pionowo, na fotografii) 120 km i szerokość 30 km

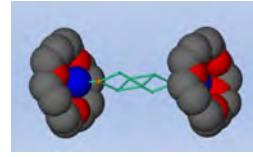
nami tego efektu. Do współpracy nie doszło, ale syberyjscy koledzy dostali tę fotografię, którą widzimy.

Rosjanie szybko opanowali niezbędną wiedzę o wyżej wspomnianych (i licznych innych) efektach związanych, jak się okazało, z erupcjami metanu. Doskonale wiadomo dzisiaj, że woda ma nadzwyczajne, prawie magiczne zdolności do wiązania substancji hydrofobowych bez tworzenia z nimi wiązań chemicznych. Po prostu cząsteczki wody chętnie tworzą struktury szkieletowe za pomocą wiązań wodorowych woda-woda. Takie struktury krystaliczne nie są trwałe samoistnie, lecz potrzebują wypełnienia istniejących w nich pustych przestrzeni przez obce składniki, które są niezbędne do zapewnienia trwałości strukturze, ale nie tworzą z wodą wiązań chemicznych.

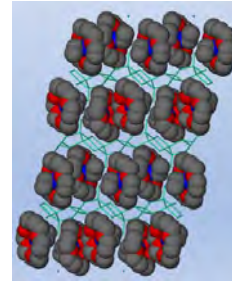
Tą tematyką zajmowałem się we współpracy z kolegami z Nowosybirsk przez ponad 20 lat. Nie będę tego opisywał, ale zilustruję kilkoma zdjęciami wybranymi z bardzo licznej kolekcji zbadanych struktur (ryc. 3, 4, 5). Bardzo jesteśmy dumni z tych osiągnięć, z licznych publikacji oraz kilku prac doktorskich. W szcze-



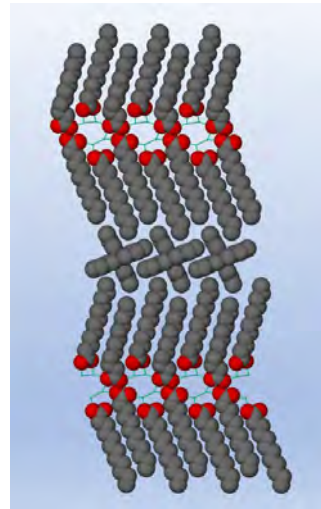
Ryc. 3a. Przykład struktury wody z substancjami hydrofobowymi – cząsteczki wody ukazane jako małe kuleczki jasnozielone tworzą agregaty, między którymi zlokalizowane są części hydrofobowe. Substancja „wiązana” przez wodę w tym przypadku to kompleks 18-korona-6 z fluorkiem amonu. Niebieskim kolorem oznaczono atomy azotu, pomarańczowym – fluor, czerwonym – tlen makrocycłu, szarym – węgiel, jasnozielonym – wiązania wodorowe między atomami tlenu wody, fluoru i azotu



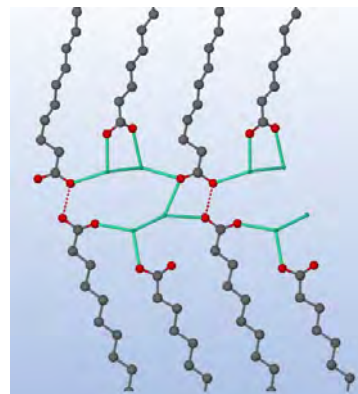
Ryc. 3b. Inny rzut oraz inna reprezentacja graficzna struktury z ryc. 3a



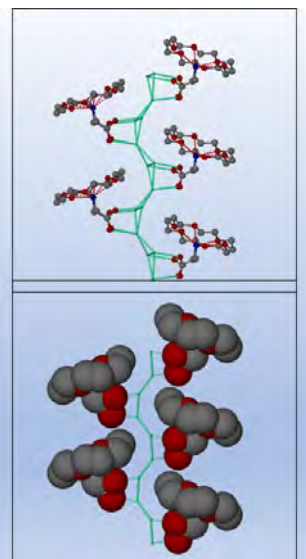
Ryc. 3c. Inny rzut oraz inna reprezentacja graficzna struktury z ryc. 3a i 3b



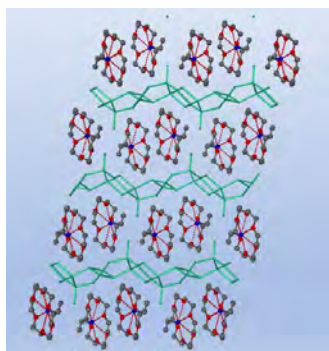
Ryc. 4a. Przykład struktury wody z substancjami hydrofobowymi – cząsteczki wody ukazane jako małe kuleczki jasnozielone, tworzą agregaty, między którymi zlokalizowane są części hydrofobowe. Jest to przykład struktury amfifilowej: jony alkiloamoniowe (o kształcie przypominającym w rzucie krzyż) wypełniają przestrzeń między hydrofobowymi końcami kwasu laurowego, zaś woda tworzy się z grupami karboksylowymi



Ryc. 4b. Inny rzut struktury z ryc. 4a, ukazujący sieć wiązań wodorowych wody (atomy tlenu wody – małe, jasnozielone kuleczki) z grupami kwasowymi (COO) – atomy tlenu tych grup zaznaczone kolorem czerwonym



Ryc. 5a. Przykład struktury wody z substancjami hydrofobowymi – cząsteczki wody ukazane jako małe kuleczki jasnozielone tworzą agregaty, między którymi zlokalizowane są części hydrofobowe. Substancja „wiązana” przez wodę w tym przypadku to kompleks 18-korona-6 z fluorkiem amonu (o innej stechiometrii niż na ryc. 3). Niebieskim kolorem oznaczono atomy azotu, pomarańczowym – fluor, czerwonym – tlen makrocyklu, szarym – węgiel, jasnozielonym – wiązania wodorowe między atomami tlenu wody



Ryc. 5b. Inna reprezentacja graficzna struktury z ryc. 5a

gólności jeden z rosyjskich doktorantów, Andrej Manakow (widoczny na fotografii Yuriya Diadina w tle, ryc. 6) w ciągu rocznego pobytu w Warszawie nauczył się polskiego i w języku polskim obronił swój doktorat!



Ryc. 6. Profesor Yuriy Diadin na konferencji w Popowie (2000 rok). W głębi, za plecami Diadna, Andrej Manakow

Wspomniane struktury nazywamy klatratami (łac. *clatratus* – okratowany). Są one w chemii znane od wielu lat. Klatrat cząsteczkowego chloru ( $\text{Cl}_2$ ) otrzymał w stanie krystalicznym na początku XIX wieku Davy, jego skład chemiczny wyznaczył Faraday, a budowę świat poznał wiele lat później, gdy były już dostępne fizyczne metody badania struktury kryształów (Pauling). Klatraty mają raczej dziwne charakterystyki z chemicznego punktu widzenia. Przede wszystkim są związkami niestechiometrycznymi. Hydrat chloru jest w większości podręczników chemii podawany jako  $\text{Cl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (tak zapisał Faraday), ale rzeczywisty skład nieco się od tej proporcji różni. Najwcześniejsza teoria (van der Waals i Platteeuw) wyjaśniła niestechiometryczny charakter klatratów określając je jako międzywęzłowe, krystaliczne roztwory stałe. Aby klatrat był termodynamicznie stabilny, musi mieć zapełnioną pewną część pustych przestrzeni (klatek). To niezbędne minimum może być bardzo różne: od częściowego wypełnienia (jak zaledwie 1/3 w przypadku klatratów tworzonych przez hydrochinon), po bliskie całkowitemu zapełnieniu (hydraty klatratowe), co zależy od różnicy energii między strukturami: klatratową i nieklatratową. Tak zwana struktura „gospodarza” w klatracie jest bowiem różna od struktury tej substancji krystalizowanej w nieobecności składnika „gościa”. Tak dzieje się też ze strukturą wody. Wprawdzie „zwykły” lód ma budowę niewypełniającą przestrzeni efektywnie<sup>2</sup>, ale istniejące w niej puste przestrzenie są niewystarczające, by mogły się tam zmieścić obce cząsteczki. Tworzenie klatratu polega zatem na utworzeniu jeszcze luźniejszej struktury „gospodarza” i równoczesnym zapełnianiu zawartych w niej luk przez „gościa”.

Wzór przytoczony poniżej jest kwintesencją pracy van der Waalsa i Platteeuwa – określa warunek stabilności klatratu. Wyraża on różnicę potencjałów chemicznych faz gospodarza: klatratowej i nieklatratowej;  $m$  w tym wyrażeniu jest czynnikiem strukturalnym (proporcje molekularne gospodarza do gościa), zaś  $\Theta$  jest minimalnym stopniem wypełnienia klatek, powyżej którego klatrat jest termodynamicznie stabilny.

$$\ln(1 - \Theta) = -m\delta(T)/kT \quad (1)$$

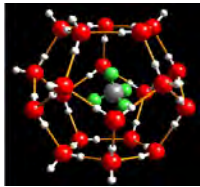
Woda może tworzyć znacznie więcej niż jedną strukturę klatratową, lecz z punktu widzenia tematyki tego artykułu wystarczy opis jednej z nich, zwanej strukturą typu I. Podstawowym jej elementem jest dwunastościan

2. Neon, gaz zbudowany z atomów o wielkości niemal identycznej z rozmiarem cząsteczki wody, ma po skropleniu gęstość o około 20% większą od gęstości wody, co dobitnie ukazuje nieefektywne upakowanie cząsteczek  $\text{H}_2\text{O}$  w ciekłej wodzie, a tym bardziej w strukturze lodu.

pięciokątny, tzw. „mała luka”. Takie bryły nie zapełniają przestrzeni, lecz powstaje między nimi mniejsza liczba luk (czternastościan, tzw. „duża luka”). Cząsteczki metanu mogą wchodzić w oba te rodzaje luk. Staranne badania wykazały, że stopień zapełnienia tych dwóch rodzajów luk jest różny. Małe luki wypełnione są prawie całkowicie, zaś luki duże zaledwie w 3/4 (2).

$$-\Delta v_W^0 = [3 \ln(1 - \Theta_L) - \ln(1 - \Theta_S)] \quad (2)$$

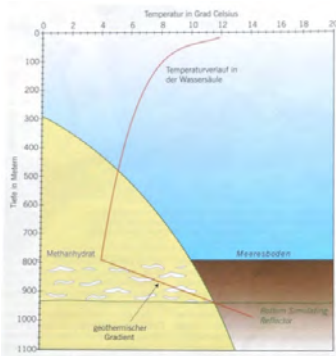
We wzorze tym różnica potencjałów chemicznych faz, podobnie jak we wzorze (1), jest związana z minimalnym stopniem zapełnienia klatek, odpowiednio, „małych” (s) i „dużych” (l).



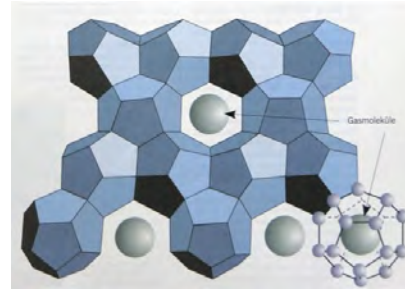
Ryc. 7. Strukturę klatki utworzonej przez cząsteczki wody (czerwone – atomy tlenu, białe – wodoru, szary – atom węgla), w centrum – cząsteczka metanu [clathrate structure, University of Göttingen, GZG. Abt.Kristallographie, źródło: USGS (United States Geological Survey) website]

Jak widać, klatraty są połączeniami niestechiometrycznymi, a podawane w literaturze wzory są najczęściej tylko przybliżeniami. Rycina 7 ilustruje budowę klatki „małej” z zawartą w niej cząsteczką metanu, podana zaś przy tym zawartość „gazu” wykazuje normalne odstępstwo od 100% stechiometrii. Gdyby wszystkie klatki były zapełnione, to zawartość metanu wynosiłaby  $170 \text{ m}^3$  w  $1 \text{ m}^3$  lodu, lecz w praktyce to jest ok.  $160 \text{ m}^3$ . Na ten szczegół zwracam szczególną uwagę – proszę pamiętać, że w litrze takiego „metanowego” lodu zawarte jest 160 litrów gazu!

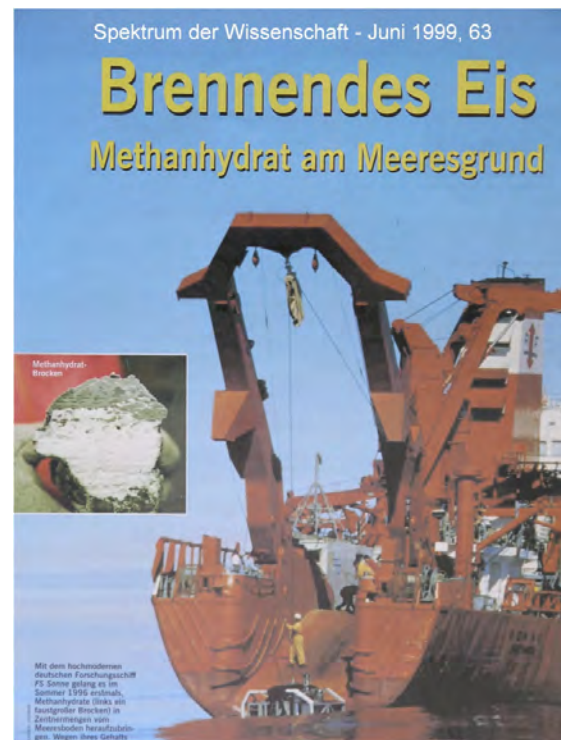
Powstawanie klatratu metanowego uwarunkowane jest dostępnością metanu oraz warunkami fizycznymi środowiska – temperatury i ciśnienia. Ilustruje to ry-



Ryc. 8a1. Schematyczne przedstawienie temperatury wody w oceanie (czerwona linia) w zależności od głębokości oraz zakresu stabilności hydratu metanu (żółte pole). Linia pozioma – temperatura, pionowa, głębokość [Spektrum der Wissenschaften i, 1999, 63, źródło: USGS website]



Ryc. 8a2. Schematyczna struktura hydratu – woda tworzy wielościany, między którymi mieszczą się cząsteczki metanu ukazane jako kulki [Spektrum der Wissenschaften i, 1999, 63, źródło: USGS website]

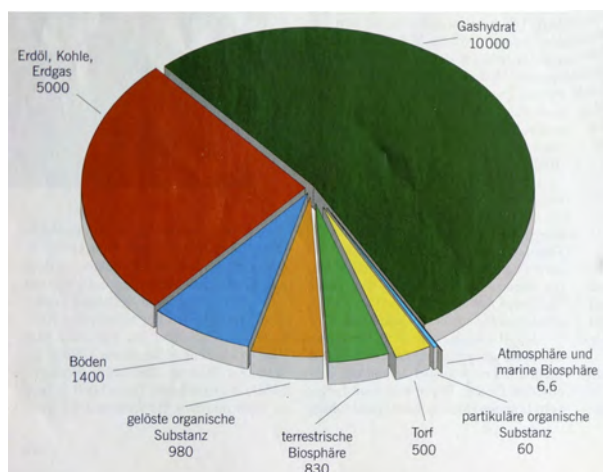


Ryc. 8b. Widok statku badawczego, na którym pobierano próbki hydratu metanowego i obok kawałek takiego „śniegu metanowego” [Spektrum der Wissenschaften i, 1999, 63, źródło: USGS website]

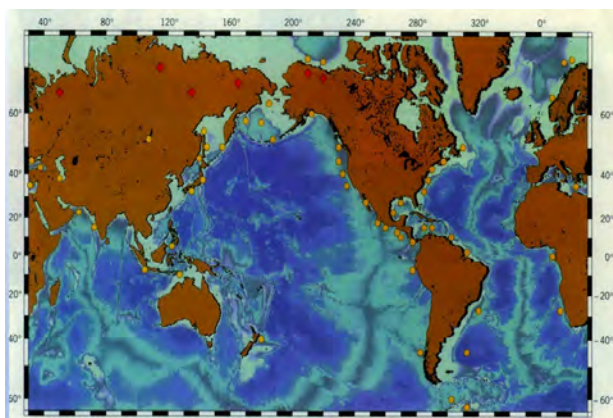
cina 8a1 na przykładzie środowiska oceanicznego. Czerwona linia ukazuje temperaturę wody malejącą przy zwiększaniu głębokości, a pole zaznaczone na żółto to obszar stabilności hydratu klatratowego. Jak widać, począwszy od głębokości około 500 m, warunki tworzenia klatratu metanowego zostają spełnione, o ile jest tam dostępny metan<sup>3</sup>. Od ponad 20 lat wiadomo, że przez tysiąclecia powstawały przeogromne złoża takich klatratowych hydratów metanu. Z danych US Geological Service<sup>4</sup> wynika, że „organicznego węgla” (w postaci metanu) na Ziemi jest więcej niż łącznie węgla kopalnych, ropy naftowej i naturalnego gazu pochodzących z tzw.

3. Te dane skopiowałem z niemieckiego czasopisma, którego strona tytułowa widnieje na fotografii 8b. Oryginalnie pochodzą z badań amerykańskiej ekspedycji (US Geological Service).

4. *Spektrum der Wissenschaften i*, Juni 1999, 63.



Ryc. 9. Wynik badań amerykańskiej służby geologicznej: proporcje 'organicznego węgla' na Ziemi w różnych formach. Dominuje metan w hydratatach (ciemne pole – 10 000 jednostek), potem mamy 5000 jednostek, łącznie, ropy naftowej, węgla kopalnego i gazu ziemnego, następnie, kolejno, organizmy żywe (1400), odpady organiczne (980), biosfera gruntowa (830), torf (500) oraz drobne organizmy w atmosferze i w oceanach [Spektrum der Wissenschaften i, 1999, 63, źródło USGS website]



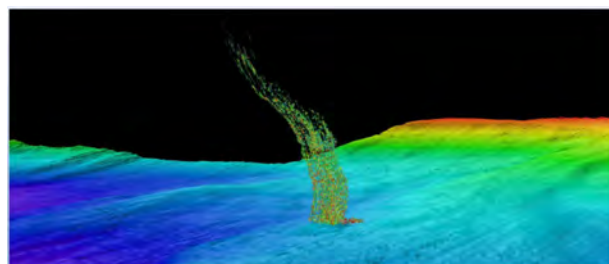
Ryc. 10. Stwierdzone lokalizacje złóż hydratu metanowego na świecie. Żółte punkty wskazują lokalizacje podmorskie: podmorskie i Bajkał, pomarańczowe romby – wieczną zmarzlinę, symbolicznie, na Syberii i na północy kontynentu amerykańskiego [Spektrum der Wissenschaften i, 1999, 63, źródło ilustracji USGS website]

konwencjonalnych źródeł oraz całej biosfery! (ryc. 9 oraz lokalizacja złóż na ryc. 10). Od lat trwają próby eksploatacji tych pokładów do celów energetycznych. Zadanie jest technicznie bardzo złożone, jednak w 2017 roku podano informację, że Chiny rozpoczęły próbną eksploatację złóż metanowych z dna Morza Chińskiego („palący się lód”, ryc. 11). Nieprzerwanie też trwają poszukiwania nowych pokładów. Chodzi już nie tyle o wydobycie gazu, lecz o diagnozę ryzyka związanego z ewentualną destabilizacją tych pokładów. Kilka ilustracji pochodzących z internetu pokazuje, że sprawa nie jest błaha (ryc. 12, 13, 14).

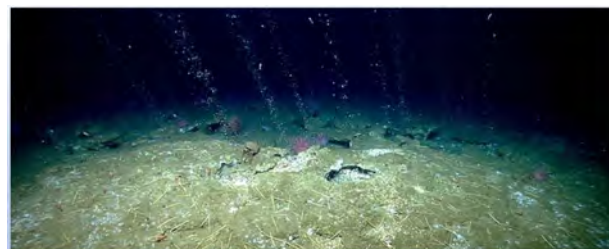
Podsumujmy właściwości klatratowego hydratu metanu. Jest to substancja pod wieloma względami podobna do zwykłego lodu (śniegu) z tym jednak, że topi się w temperaturze nieco wyższej (parę stopni) od zwykłego śniegu, zależnie od ciśnienia, i ma gęstość nieco



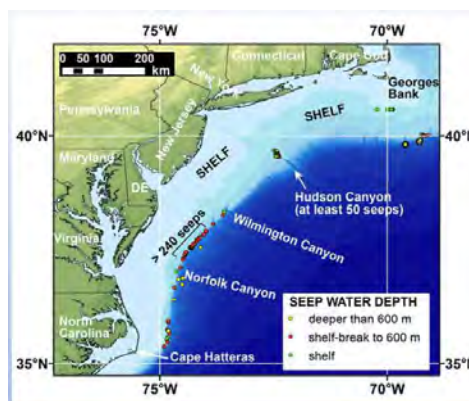
Ryc. 11. ilustracja, jak pali się metan uchodzący z topiącego się śniegu metanowego



Ryc. 12. Zaobserwowane bąbelki gazu uchodzące ze złoża dennego u wybrzeży stanu Waszyngton (na głębokościach od około 100 do 500 metrów) [USGS website]



Ryc. 13. Strumienie metanu uchodzące z dna Oceanu Atlantyckiego u wybrzeży stanu Virginia. Wynik projektu: NOAA Okeanos Explorer Program, 2014 [źródło: USGS website]



Ryc. 14. Mapa północnego wybrzeża atlantyckiego USA wskazująca lokalizacje świeżo odkrytych podmorskich źródeł metanu [źródło: USGS website]

wyższą od gęstości ciekłej wody, więc nie wypływa na powierzchnię, lecz tonie.

Stopień klatratu natychmiast uwalnia zawarty w nim metan, chemicy uwielbiają pokazy takiego „płonącego śniegu” (ryc. 11), Geolodzy, z kolei, popisują się niezwykle spektakularnymi demonstracjami płomieni uzyskiwanych z zapalenia mechanicznie naruszonych

struktur hydratowych w rejonach wiecznej zmarzliny, na przykład umieszczając czajnik nad takim topiącym się i palącym się lodem (Bajkał)<sup>5</sup>. Problem jednak ujawnia całą swoją powagę, gdy rozważymy rozmiar możliwych erupcji metanu z destabilizowanych pokładów. Aktualne pomiary ilości metanu uwalniającego się z wiecznej zmarzliny na Syberii podawane są w teragramach (miliony ton) rocznie, odkrywane są rozmaite rejon, gdzie woda „jakby gotuje się” w wyniku ciągłego wypływu metanu (rosyjscy naukowcy znaleźli najpotężniejszy wyciek metanu<sup>6</sup>, natomiast artykuł *Bąbelkowanie metanu z syberyjskich jezior wytopiskowych jako dodatnie sprzężenie ze zmianami klimatu*<sup>7</sup> już kilkanaście lat temu zawierał ostrzeżenie przed metanem ze złóż hydratowych, w tym informację o obserwacjach bąbelków gazu uchodzącego z osadów dennych).

Geolodzy dysponują nader ciekawymi informacjami na temat destabilizacji pokładów metanowych w przeszłości. Udowodniono, że w okresach wielkiego wymierania przed milionami lat zawartość metanu w atmosferze była znacznie zwiększona, w okresach „interstadialnych” (cieplejsze okresy przedzielające „stadia” w czasach zlodowacenia) także widać destabilizację hydratów metanu (patrz artykuł *Dokumentacje oparte o izotopowe badania węgla wskazujące na niestabilności hydratu metanowego podczas „Interstadialów” w czwartorzędzie*<sup>8</sup>, a nawet opublikowano hipotezę, że erupcje

metanu „regulowały” okresy zlodowacenia. Wzrost gigantycznych lodowców powodował bowiem obniżenie poziomu oceanów, to destabilizowało hydraty (obniżenie ciśnienia wody) i poprzez efekt cieplarniany metanu wpływało na ocieplenie (metan jest ponad 20-krotnie silniejszym gazem cieplarnianym niż dwutlenek węgla). Ten pogląd nie jest, jak rozumiem, oficjalnie uznany przez specjalistów, ale odpowiadające mu zmiany zawartości metanu w atmosferze ziemskiej dają do myślenia.



Ryc. 15. Mapa tzw. Storgga Slide – miejsca, skąd wyszła gigantyczna fala tsunami, która zdemolowała m.in. wybrzeże Szkocji. Przypuszcza się, że uwolnienie metanu odegrało w tym rolę, jakkolwiek przyczyna nie jest dokładnie określona [źródło: <http://jvarekamp.web.wesleyan.edu/199.htm>]

5. Krótki film ukazujący ten efekt, nakręcony na Alasce, jest zamieszczony na stronie internetowej Towarzystwa Naukowego Warszawskiego. Jest to kopia fragmentu pokazanego przez telewizję TVN.

6. Zwracam uwagę na komentarz dodany do tej informacji: 8 października 2019 r. Ekspedycja badawcza Politechniki z Tomsku odkryła wyciek metanu na wschód od wyspy Bennetta na morzu Wschodniosyberyjskim, gdzie energiczne bąbelkowania sprawiają wrażenie, jakby woda się „gotowała” na powierzchni 50 stóp kwadratowych. Szelf kontynentalny w tym obszarze [East Siberian Arctic Shelf (ESAS)] jest światowym epicentrum strefy bogatej w metan, która może nahttps://www.telegraph.co.uk/news/2019/10/08/russian-scientists-find-powerful-ever-methane-seep-arctic-ocean/sz świat wyrzucić do góry nogami. Przy tym ESAS nie jest brany pod uwagę w głównym nurcie nauki i nie jest uwzględniany w obliczeniach międzyrządowego panelu dotyczącego zmian klimatycznych [Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)], co nie jest to zrozumiałe. To jedna z największych zagadek w światowej łamigłówce zmian klimatycznych. I jest to bardzo kontrowersyjne, bo powoduje podwyższony poziom niepewności. Należy wspomnieć, że ESAS jest największym szelfem kontynentalnym na świecie, obejmującym Morze Laptewa, Morze Wschodniosyberyjskie oraz rosyjską część Morza Czukczów. I jest obszarowo równoważne połączonym obszarom Niemiec, Francji, Wielkiej Brytanii, Włoch i Japonii.

7. K. M. Walter, S. A. Zimov, J. P. Chanton, D. Verbyla & F. S. Chapin III, *Nature* 443, 71-75 (2006).

8. J. P. Kennett, K. G. Canniataro, I. L. Hendy, R. J. Behl, *Science* 288, 128 (2000).

Ładnie udokumentowany jest przykład gigantycznej fali tsunami na Morzu Norweskim (ryc. 15), która zdemolowała wybrzeże Szkocji – do dziś istnieją ślady na wybrzeżu, a skamieliny morskich stworzeń znajdujące się nawet w odległości 80 km od wybrzeża. Uwolnienie metanu z pokładów hydratowych jest niezwykle łatwe. Wystarczy niewielkie podgrzanie, np. w wyniku ruchów tektonicznych.

O czym powinniśmy wiedzieć, w związku z powyższym? Przede wszystkim pamiętajmy, że metan zalegający w hydratách w ilości określonej na  $10^{19}$  gramów to ilość, z grubsza biorąc, większa od ilości tlenu w atmosferze. Nagłe uwolnienie go, np. w przypadku katastrofy kosmicznej, oznaczałoby biologiczną śmierć totalną. Powolne uwalnianie musi wzmacniać efekt cieplarniany a potem przyspieszać destabilizację i tworzyć dodatnie sprzężenie zwrotne. Według powszechnie publikowanych danych zawartość metanu w atmosferze rośnie coraz szybciej. Teraz około 15% efektu cieplarnianego powodowane jest przez metan, którego w atmosferze jest mniej niż 2 ppm (ang. *parts per million*). Jednak przybywa go coraz więcej – o prawie 10% więcej w ciągu dwóch lat 2017–2019! Podobno temperatura oce-

anu w ciągu minionej dekady wzrosła o 0,7 stopnia<sup>9</sup>. Jeśli tak dalej pójdzie, to za dwie dekady termiczna destabilizacja hydratów metanu ruszy w dużej skali i koniec świata się rozpocznie „na całego”.

Specjaliści od zmian klimatycznych systematycznie informując o postępującym ociepleniu, w zasadzie nadmiernie nie alarmują. Dodają jednak, że sytuacja może przybrać bardzo niekorzystny obrót jeśli, cytuję, przekroczymy jakiś „punkt krytyczny”. Mam nieodparte wrażenie, że destabilizacja złóż metanowych, najpierw w obszarach wiecznej zmarzliny, a następnie na szelfach

oceanicznych, musi stać się takim „punktem krytycznym”. I chyba nie ma odwrotu!

Na zakończenie pozwolę sobie odesłać Czytelników do prezentacji o hydracie metanu oraz o atmosferze Wenus i hipotezie „cieplarnianej” ([http://zuserver2.star.ucl.ac.uk/~idh/apod/image/0405/venus2\\_gal\\_big.gif](http://zuserver2.star.ucl.ac.uk/~idh/apod/image/0405/venus2_gal_big.gif)). Nie będąc specjalistą w tym zakresie nie umiem ocenić czy, a jeżeli tak to w jakim stopniu, taka hipoteza jest prawdopodobna. Przytaczam to tutaj, bo autorzy wspomnianej prezentacji uważają, że na Wenus przed milionami lat istniała atmosfera podobna do naszej, ale efekty cieplarniane doprowadziły do wysuszenia oceanów i utworzenia obecnej atmosfery złożonej z dwutlenku węgla, a w niej chmur z tlenków siarki.

Podziękowanie: bardzo serdecznie dziękuję Panu Profesorowi Andrzejowi Kajetanowi Wróblewskiemu za zachętę-inspirację do przygotowania artykułu, a następnie za niezwykle życzliwą pomoc w opracowaniu tego materiału.

---

9. W dyskusji (na posiedzeniu TNW – przyp. red.) prof. Szymon Malinowski, wybitny fizyk atmosfery i znawca problematyki zmian klimatu na Ziemi, stwierdził, że te dane odnoszą się do warstw powierzchniowych oceanu, nie zaś do temperatury średniej. Warto byłoby więc dowiedzieć się, jak to wygląda na głębokościach około 500 m (szelfy oceaniczne), co dałoby szansę bardziej wiarygodnego oszacowania omawianych efektów w skali czasu.