

Geoinżynieria a zmiany klimatu

Ten utwór jest dostępny na [licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Materiały zostały zrealizowane przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej. Publikacja odzwierciedla jedynie stanowisko jej autorów i Komisja Europejska oraz Narodowa Agencja Programu Erasmus+ nie ponoszą odpowiedzialności za jej zawartość merytoryczną. Materiały bezpłatne.

WPROWADZENIE

Poniższy pakiet edukacyjny składa się z dwóch części. W pierwszej zamieszczono podstawowe informacje dotyczące tematu debaty.

W drugiej części otrzymasz wskazówki, w jaki sposób bezpośrednio przygotować się do dyskusji, w szczególności jak przygotować argumenty popierające bądź zaprzeczające poniższej tezie:

Należy inwestować w techniki geoinżynierijne, aby przeciwdziałać zmianom klimatu

WSTĘP

Definicje

GEOINŻYNIERIA - celowe, wielkoskalowe, zaplanowane manipulowanie fizycznymi, chemicznymi lub biologicznymi aspektami systemu Ziemi w celu przeciwdziałania zmianom klimatycznym. Geoinżynieria może odnosić się do szerokiej gamy technik. W większości należą one do 2 podstawowych kategorii: usuwanie dwutlenku węgla (CO_2) z atmosfery oraz ograniczenie ilości promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi.

ZMIANY KLIMATU - termin odnosi się do wzrostu średniej temperatury powierzchni na Ziemi. Ogromna większość (97%) naukowców uważa, że aktualne zmiany klimatyczne wynikają przede wszystkim z wykorzystywania przez ludzi paliw kopalnych, które uwalniają do powietrza dwutlenek węgla i inne gazy cieplarniane. Naukowcy obawiają się, że naturalna zmienność warunków jest obecnie mniej istotna niż szybkie, wywołane przez człowieka ocieplenie, które mają poważne konsekwencje dla stabilności klimatu planety. Skutki zmian klimatu mają zasięg globalny i zróżnicowany: od zmieniających się wzorców pogodowych, które zagrażają produkcji żywności, po podnoszenie się poziomu mórz, które zwiększają ryzyko katastrofalnych powodzi.

EFEKT CIEPLARNIANY - jest naturalnym zjawiskiem, które pozwala naszej planecie na utrzymanie niezbędnych warunków do życia. Atmosfera zatrzymuje część promieni słonecznych, które docierają do skorupy ziemskiej, utrzymując promieniowanie przy powierzchni i ogrzewając ją; w rezultacie średnia temperatura powierzchni naszej planety wynosi około 15°C .

Naturalnie występujące w atmosferze gazy, w tym para wodna, dwutlenek węgla, metan i podtlenek azotu, nie pochłaniają energii fal krótkich ze Słońca, ale absorbują energię wypromieniowaną z Ziemi, utrzymując planetę znacznie cieplejszą. Gdyby atmosfera nie wyłapywała żadnych promieni

odbijających się od powierzchni, średnia temperatura Ziemi wyniosłaby tylko -18°C . Problem powstaje, gdy poziomy gazów cieplarnianych stają się zbyt wysokie ze względu na działalność człowieka, zatrzymując w efekcie zbyt dużo energii słonecznej, zaburzając naturalne systemy regulujące nasz klimat. W efekcie obserwujemy m.in. coraz więcej ekstremalnych zjawisk pogodowych i innych wpływów. Nawet niewielkie zmiany średniej globalnej temperatury mogą powodować poważne i niebezpieczne zmiany klimatu i pogody. Pozornie niewielkie różnice mogą mieć ekstremalne konsekwencje: przykładem mogą być właściwości wody: różnica między 0 a minus 1 stopnia Celsjusza - ten zaledwie jeden stopień - oznacza różnicę między wodą w stałym a ciekłym stanie skupienia.

ALBEDO to miara odbijania promieniowania słonecznego przez powierzchnię – stosunkiem ilości promieniowania odbitego do padającego. W przypadku Ziemi mówi, ile światła słonecznego (energii słonecznej) jest odbijane z powrotem do kosmosu. Albedo ma działanie chłodzące powierzchnię.

POTENCJAŁ TWORZENIA EFEKTU CIEPLARNIANEGO (GWP, z ang. global warming potential) – wskaźnik służący do ilościowej oceny wpływu danej substancji na efekt cieplarniany. Porównuje ilość ciepła zatrzymanego przez określoną masę gazu do ilości ciepła zatrzymanego przez podobną masę dwutlenku węgla. GWP jest przeliczany dla określonego przedziału czasu, zwykle 20, 100 lub 500 lat. GWP dla dwutlenku węgla wynosi z definicji 1.

EKWIWALENT DWUTLENKU WĘGLA, inaczej równoważnik dwutlenku węgla (CDE) wielkością opisującą, dla danej mieszaniny i ilości gazu cieplarnianego, ilość dwutlenku węgla, która miałaby ten sam GWP - potencjał tworzenia efektu cieplarnianego, mierzony w określonym czasie (zwykle 100 lat).

ZASIEWANIE CHMUR - proces łączenia różnych rodzajów środków chemicznych - w tym jodku srebra, suchego lodu, a nawet zwykłej soli stołowej - z istniejącymi chmurami w celu zagęszczenia chmur i zwiększenia szans na deszcz lub opady śniegu. Chemikalia są albo wystrzeliwane z powierzchni ziemi, albo uwalniane w trakcie lotu.

PODWYŻSZANIE pH OCEANÓW - rozdrabnianie, rozpraszanie i rozpuszczanie skał zasadowych, takich jak wapień (węglan wapnia), krzemiany (wapnia) w oceanie, w celu zwiększenia jego zdolności do magazynowania węgla. Zakwaszanie oceanów jest jednym ze skutków zmian klimatu i może prowadzić do zaburzeń łańcuchów pokarmowych (brak możliwości wytworzenia węglanowego pancerza u skorupiaków – ograniczenie dostępności zooplanktonu – spadek populacji ryb/fok/niedźwiedzi polarnych itp.)

Geoinżynieria to celowa manipulacja w środowisku **na dużą skalę**. Modyfikacja środowiska (a częściej – przywrócenie stanu pierwotnego) musi być **głównym celem**, a nie efektem ubocznym takiego działania. Geoinżynierią nie jest zatem np. tworzenie ozdobnych ogrodów: to ewidentnie zamierzone manipulowanie środowiskiem, jednak ani zamierzony, ani zrealizowany efekt nie jest na dużą skalę. Z kolei zmiany klimatu wskutek emisji gazów cieplarnianych mają efekt globalny, ale nie jest to geoinżynieria, a jedynie groźny skutek uboczny spalania paliw kopalnych do celów energetycznych.

Marzenie o kontrolowaniu warunków atmosferycznych – początkowo raczej pogody niż klimatu – towarzyszy ludzkości od jej początków. Jedną z pierwszych prób tego typu było praktykowane w średniowieczu (!) **powstrzymywanie opadów gradu za pomocą kościelnych dzwonów**, co stosowano m.in. we Francji w rejonach upraw winorośli. Choć ówczesni ludzie mogli kojarzyć to z ingerencją niebiańskich zastępów, to dzwony stanowiły wczesną wersję tzw. **dział przeciwgradowych**, stosowanych zresztą w rolnictwie do dziś.

Przełom i przejście od marzeń o zaklinaniu deszczu do realnych działań i efektów przynosi rozwój technologiczny XX wieku, i jak to często z technologią bywa - II wojna światowa i rywalizacja mocarstw. W ZSRR już w 1932 roku utworzono Instytut Deszczu, gdzie prowadzono prace nad modyfikacją chmur, eksperymenty z zasiewem przy użyciu chlorku wapnia (CaCl_2), suchego lodu (zestalonego CO_2) i jodku srebra (AgI). USA nie pozostawało w tyle – odkrycie zasiewania chmur w 1946 r. przez Schaefera i Langmuira w laboratorium badawcze General Electric wywołały komercyjny boom w modyfikacji pogody, do tego stopnia, że wymagało to kontroli: w 1953 roku przy amerykańskim Kongresie powstała Komisja Doradcza ds. Kontroli Pogody.

Zastanów się i odpowiedz na poniższe pytania:

Czy antropogeniczne zmiany klimatu można nazwać geoinżynierią? A zaśmiecanie oceanu? [por. KARTA INFORMACYJNA nr 1]

Które działanie NIE jest przykładem geoinżynierii? [por. KARTA INFORMACYJNA nr 1]

- a) Nawożenie oceanu żelazem
- b) Redukcja emisji dwutlenku węgla
- c) Zarządzanie promieniowaniem słonecznym
- d) Zakwaszenie oceanu





ZMIANY KLIMATU W PIGUŁCE

Co jest **efekt cieplarniany**? To **naturalny** proces, wynikający ze zdolności atmosfery do przepuszczania dużej części promieniowania słonecznego (głównie światła) i zatrzymywania promieniowania Ziemi (m. in. ciepłego). Dzięki temu na powierzchni Ziemi oraz w dolnych warstwach jej atmosfery jest cieplej niż byłoby, gdyby atmosfera nie istniała – dzięki efektowi cieplarnianemu średnia temperatura powierzchni Ziemi nie wynosi -18°C , tylko $+15^{\circ}\text{C}$. Bez efektu cieplarnianego na Ziemi nie mogłoby powstać i rozwinąć się życie.

Skąd więc tyle „zamieszania” wokół tego zjawiska?

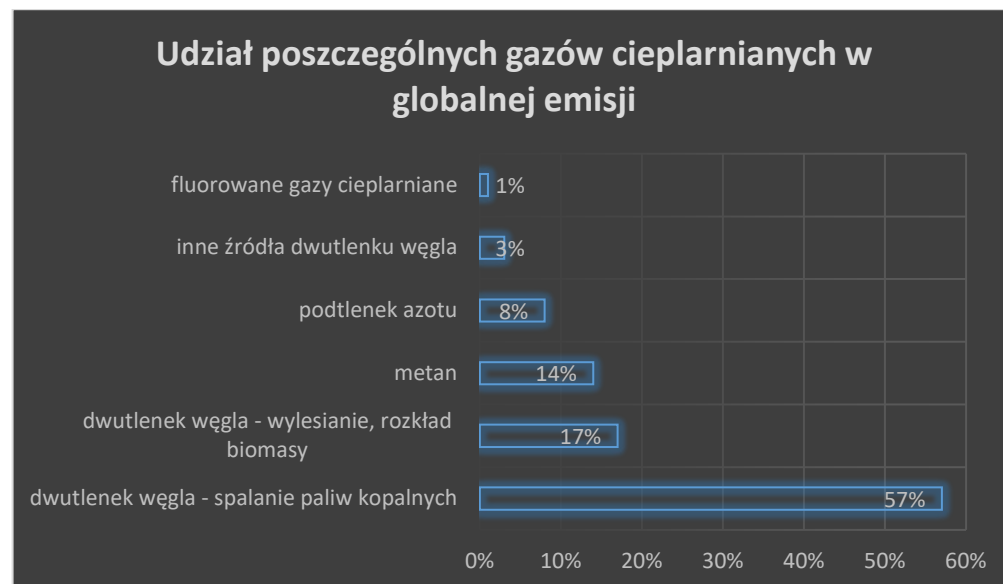
Problemem nie jest sam efekt cieplarniany, lecz zmiany jego nasilenia. Od końca XVIII wieku intensywnie jako ludzkość dodajemy do naturalnego efektu cieplarnianego gazy uwalniane z przemysłu i rolnictwa (znane jako **emisje**), zatrzymując więcej energii i zwiększając temperaturę. Jest to powszechnie nazywane **globalnym ociepleniem lub zmianą klimatu**. Najważniejszym z tych gazów cieplarnianych pod względem udziału w ociepleniu jest para wodna, ale jej stężenia wykazują niewielkie zmiany i utrzymuje się w atmosferze tylko przez kilka dni. Z drugiej strony, dwutlenek węgla (CO_2) utrzymuje się w atmosferze znacznie dłużej; powrót do poziomu sprzed epoki przemysłowej zająłby nam setki lat, o ile w ogóle jest możliwy. Ponadto jest tylko określony limit ilości CO_2 , który może zostać wchłonięty przez naturalne zbiorniki, takie jak oceany, w ramach obiegu węgla. Większość emisji CO_2 spowodowanych przez człowieka wynika ze spalania paliw kopalnych, a także poprzez wycinanie lasów pochłaniających węgiel. Inne gazy cieplarniane, takie jak metan (CH_4) i podtlenek azotu (N_2O), są również uwalniane w wyniku działalności człowieka, ale ich ogólna obfitość jest niewielka w porównaniu z dwutlenkiem węgla CO_2 .

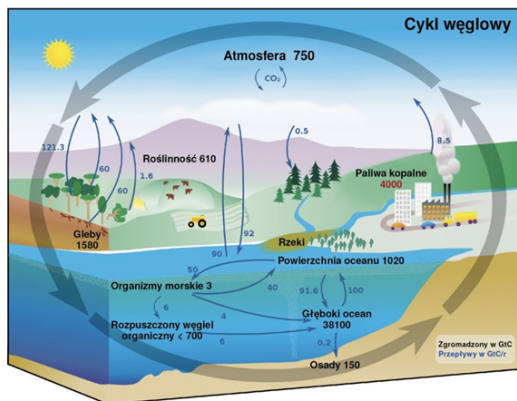
Przewidywane skutki zmian klimatu to między innymi



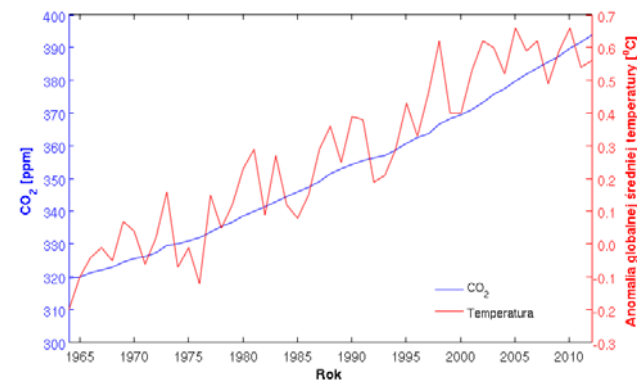
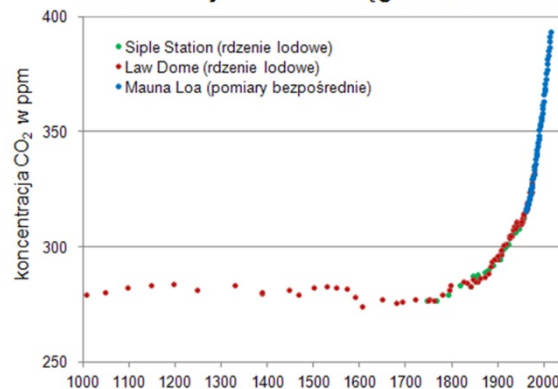
- wymieranie gatunków,
- ubożenie gleb, problemy z żywnością
- niedobory wody na obszarach, gdzie dotychczas był do niej dostęp
- anomalie klimatyczne, gwałtowne katastrofalne zjawiska pogodowe
- zmniejszenie się powierzchni lądów, w tym obszarów możliwych do zasiedlenia,

Od czasu rewolucji przemysłowej w 1750 r. poziom CO₂ wzrósł o ponad 30%, a poziom metanu wzrósł o ponad 140%. Stężenie CO₂ w atmosferze jest teraz wyższe niż kiedykolwiek w ciągu **co najmniej 800 000 lat**. Czy w przeszłości było cieplej? **Oczywiście**. Ale po pierwsze, gwałtowne zmiany klimatyczne zawsze wiązały się z tzw. Wielkimi Wymieraniami, po drugie – świat taki, jaki znamy, krajobraz, fauna, flora, sposób życia, ukształtowały się w określonych warunkach klimatycznych, a zmiana będzie katastrofalna.





Koncentracja dwutlenku węgla w atmosferze



Źródło: nauka o klimacie.pl



Zastanów się i odpowiedz na poniższe pytania:

Czy Ziemia nie radzi sobie sama z dodatkowym dwutlenkiem węgla w atmosferze? [por. KARTA INFORMACYJNA nr 2]

Który moment w historii można uznać za przełomowy jeśli chodzi o zmiany klimatyczne? [por. KARTA INFORMACYJNA nr 3]



Materiał dodatkowy: Zmiany klimatu w pigułce
VIDEO, 3:23 : <https://youtu.be/-yBZ5urmAMw>

WYBRANE TECHNIKI GEOINŻYNIERYJNE:



Jaka jest odpowiedź geoinżynierii na zmiany klimatyczne? Koncentruje się na 2 aspektach:

Ograniczenie ilości dwutlenku węgla w atmosferze

Ograniczenie ilości promieniowania

SRM

Ograniczanie promieniowania słonecznego

Techniki SRM próbują odbijać światło słoneczne z powrotem w przestrzeń kosmiczną i obejmują szereg pomysłów, od orbitujących luster, ton siarczanów rozpylanych do stratosfery i modyfikujących chmury, aż do roślin i lodu, aby uczynić je bardziej odbijającymi więcej światła słonecznego

CDM

Usuwanie dwutlenku węgla

Propozycje te zakładają, że możliwe jest wyssanie węgla z atmosfery na masową skalę, przy użyciu kombinacji metod biologicznych i mechanicznych, z wysiewania oceanu granulami żelaza w celu tworzenia zakwitów planktonu, tworząc lasy mechanicznych „sztucznych drzew”

ERM

Zarządzanie promieniowaniem Ziemi

Te techniki koncentrują się na założeniu, że negatywne skutki zmian klimatu można zrównoważyć, pozwalając na ucieczkę ciepła w przestrzeń kosmiczną - na przykład poprzez przerzedzenie chmur Cirrus.



SEKWESTRACJA DWUTLENKU WĘGLA

Przez sekwestrację, czyli wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla (**CCS**) rozumie się oddzielanie i usuwanie CO₂ w procesach spalania paliw kopalnych, jego transport i zatłaczanie do wybranej struktury geologicznej/wyrobiska pokopalnianego lub na dnie morza.

Dwutlenek węgla przed zatłoczeniem pod ziemię należy oddzielić od innych gazów powstałych w wyniku spalania, co jest jednym z najbardziej kosztownych etapów tej technologii. Proces ten wiąże się z poborem energii, w wyniku czego wzrasta zużycie paliwa i spada sprawność wytwarzania

energii elektrycznej, w porównaniu do elektrowni bez separacji dwutlenku węgla. Czynniki te, wraz z potrzebą zainstalowania dodatkowych urządzeń, zwiększają jednostkowe nakłady inwestycyjne na produkcję energii elektrycznej, a co za tym idzie zwiększają koszty wytwarzania energii. Modyfikacje tej technologii to m.in. **Direct Air Capture (DAC)** – wychwytywanie dwutlenek węgla bezpośrednio z atmosfery (obecnie na świecie funkcjonuje 7 firm, mających takie instalacje - dane aktualne na lipiec, 2019).



CCS zazwyczaj odnosi się do mechanicznego wychwytywania emisji CO₂ z elektrowni lub innych źródeł przemysłowych. CO₂ jest zazwyczaj wychwytywany, zanim emisje opuszczą komin, zazwyczaj z sorbentem chemicznym. Skroplony CO₂ jest następnie pompowany do podziemnych warstw wodonośnych w celu długoterminowego przechowywania. CCS nie jest traktowane jako geoinżynieria zgodnie z Konwencją ONZ o różnorodności biologicznej.

Przedstawione w Raporcie IPCC z 2008 roku pt. „Energy Technology Perspectives” dane wskazują technologię CCS jako jedną z kluczowych dla obniżenia emisji CO₂. Z przedstawionych w raporcie analiz wynika, iż technologia CCS przyczynić się może do ok. 20% redukcji emisji CO₂ przewidzianej do roku 2050. Wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla w głębokich formacjach geologicznych ma być jedynie rozwiązaniem przejściowym, stosowanym do chwili opracowania technologii, pozwalających na produkcję energii z paliw kopalnych z jednoczesną redukcją lub eliminacją emisji CO₂ lub technologii pozwalających na pozyskiwanie energii z paliw innych niż paliwa kopalne.

SEKWESTRACJA DWUTLENKU WĘGLA

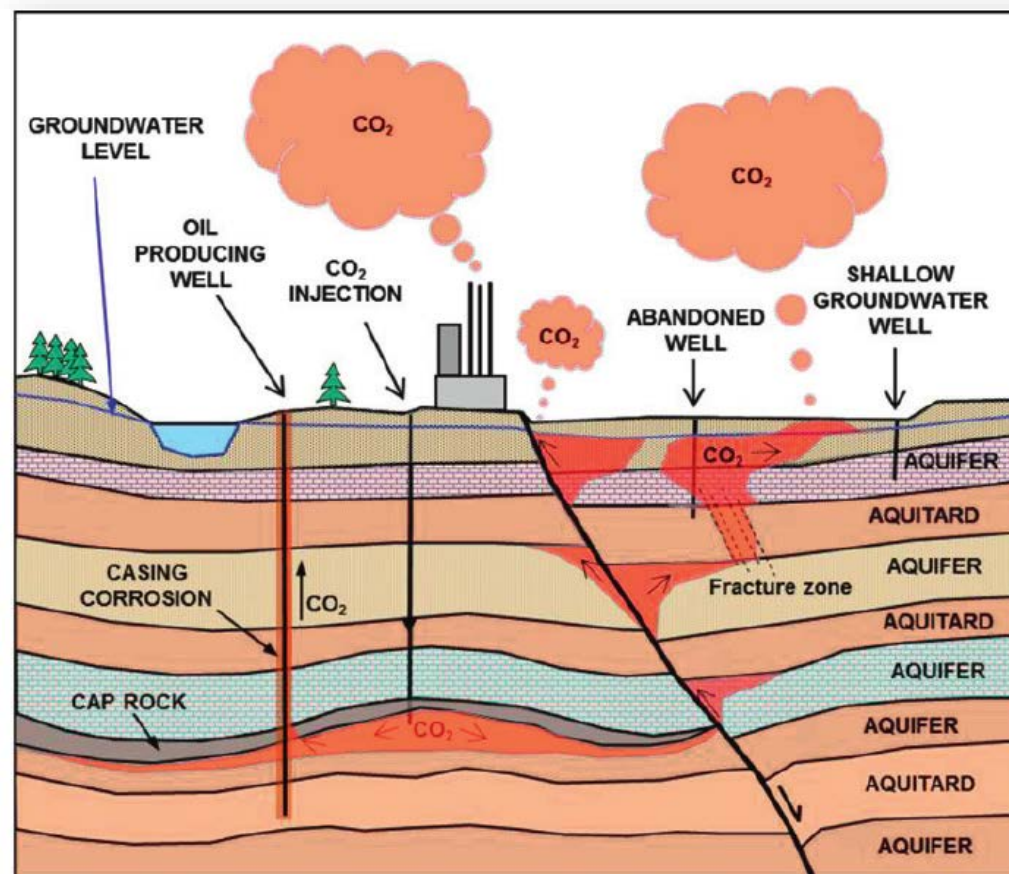
- wyciek CO₂, zwł. katastrofalny, może zniweczyć początkowe korzyści środowiskowe związane z wychwytywaniem i magazynowaniem emisji CO₂, a także może stanowić zagrożenie nie dla ludzi
- niepowodzenie Kemper County, wartego 7,5 miliarda dolarów projektu CCS w Mississipi, jako dowód, że technologia jest zasadniczo nieosiągalna. W czerwcu 2017 roku, po kilku latach kontrowersji, Kemper ostatecznie porzucił węgiel i zdecydował się na spalanie gazu. W Wielkiej Brytanii rząd wielokrotnie próbował i nie udało się zrealizować projektów CCS z pomocą prywatnych operatorów elektrowni
- CCS jest koszt- i energochłonny - około 30% energii elektrycznej wytwarzanej w obiekcie) byłaby wymagana do zasilania samej technologii wychwytywania

Naśladowanie mechanizmu naturalnego procesu fotosyntezy: zasilane światłem słonecznym rośliny, pobierają dwutlenek węgla z powietrza i wykorzystują go do budowy korzeni, pędów i liści.



- wykorzystanie wychwyconego CO₂ "karmienie" glonów wytwarzających biopaliwa; wytwarzanie materiałów budowlanych (reakcja ze skałami wapiennymi)
- jeśli nadal będziemy produkować większość naszej energii elektrycznej ze spalania paliw kopalnych, możemy za pomocą CCS przynajmniej teoretycznie obniżyć emisję dwutlenku węgla o nawet 85%
- wiele zbiorników geologicznych ma potencjał do magazynowania setek tysięcy gigaton CO₂. Najbardziej obiecującymi zbiornikami są porowate i przepuszczalne ciała skalne, na ogół na głębokościach w przybliżeniu 1 km

Zagrożenie katastrofalnym przeciekiem ze zbiornika CCS - źródło ilustracji: Brydie, James & Perkins, Ernie & Fisher, D & Girard, M & Valencia, M & Olson, M & Rattray, T. (2014). The Development of a Leak Remediation Technology for Potential Non-Wellbore Related Leaks from CO₂ Storage Sites.. Energy Procedia. 63. 4601-4611. 10.1016/j.egypro.



STUDIUM PRZYPADKU

Projekt In-situ R&D Laboratory for Geological Storage of CO₂ (CO₂SINK)

Źródło: CORDIS, EUROPA

Chociaż geologiczna sekwestracja dwutlenku węgla oferuje obiecujący sposób na znaczne ograniczenie emisji CO₂ w Europie, istnieją publiczne obawy dotyczące bezpieczeństwa i wpływu środowiskowego technologii wychwytywania i składowania dwutlenku węgla (CSS). Wysiłki podejmowane w celu rozwiania tych obaw wiążą się z lepszym zrozumieniem procesu sekwestracji CO₂.

Projekt pod nazwą "Miejscowe laboratorium badawczo-rozwojowe geologicznego składowania CO₂" (CO₂SINK) wniósł wkład w takie wysiłki poprzez monitorowanie własnych działań związanych z wtryskiwaniem CO₂ pod miastem Ketzin w pobliżu Berlina. Głównym celem projektu było opracowanie i przetestowanie technik monitorowania.

Składowisko gazu w miejscowości Ketzin zaoferowało istniejącą infrastrukturę powierzchniową, ograniczając tym samym potrzebę inwestycji i budowania zbiorników. Ponadto posiada ono znane właściwości geologiczne, które w dużym stopniu są także charakterystyczne dla wielu obszarów w Europie. Zaletą ta oznacza, że wyniki projektu będzie można łatwiej przenieść na inne obszary. Co więcej lokalizacja testowa znajduje się w bliskim sąsiedztwie obszaru miejskiego, przez co oferuje niepowtarzalną szansę zaprezentowania lądowego składowania CO₂. Społeczeństwu Uznano to za szczególnie ważne w zwiększaniu powszechnej świadomości korzyści płynących z geologicznego składowania CO₂ jako możliwości ograniczenia emisji gazów cieplarnianych.

W okresie 21 miesięcy w zakładzie Ketzin dokonano wstrzyknięcia łącznie 33 tys. ton CO₂. Skutki tego działania były obserwowane i mierzone w ramach długoterminowego monitoringu terenowego z zastosowaniem dostępnych na rynku czujników geochemicznych, które wykorzystywane były przez cały okres realizacji projektu. Zastosowano techniki geofizyczne i geochemiczne oraz systemy czujników do monitorowania szybów, rozchodzenia się smugi CO₂, zmian temperatury, składu gazu oraz efektów sejsmicznych.

Jednym z sukcesów procesu monitorowania w ramach projektu CO₂SINK było wskazanie, że po pięciu miesiącach składowania CO₂ mikroorganizmy przystosowały się do zmian warunków otoczenia. Ten i inne sukcesy były inspiracją dla wielu krajowych i międzynarodowych działań, które znacząco przyczyniły się do realizacji różnych celów projektu.

Partnerzy projektu podjęli szereg działań w celu poinformowania szerszej społeczności o projekcie, a także o technologii CSS w ujęciu ogólnym.

Zakład, w którym realizowano projekt, był gospodarzem niewielkiego centrum pokazowego, które oferowało także możliwość zwiedzania, natomiast kilka otwartych wydarzeń wzbudziło szerokie zainteresowanie lokalnej, krajowej, europejskiej i międzynarodowej prasy.

SRM



PLANTACJE O WYSOKIM ALBEDO

Albedo Ziemi zmienia się w przestrzeni i w czasie, w zależności od tego, czym pokryta jest powierzchnia (śnieg, zielone rośliny wiosną, uschnięte jesienią itp), zależy także od pokrywy chmur, stanu zawiesiny w powierzchniowych wodach w zbiornikach wodnych, itp. Drugim parametrem istotnym dla temperatury powierzchni Ziemi jest emisyjność promieniowania podczerwonego. O ile albedo mówi o części odbitej promieniowania, to emisyjność mówi o energii wypromieniowanej. Znowu należy jednak pamiętać, że energia wypromieniowana przez grunt może być przechwytywana przez atmosferę i pozostać w atmosferze.

Śnieg ma wyższe albedo niż woda, co oznacza, że od powierzchni pokrytej warstwą śniegu odbije się więcej światła, które opuści naszą planetę i ucieknie w przestrzeń kosmiczną.

Po stopnieniu lodów Arktyki albedo tego regionu będzie takie jak dla oceanu (biorąc „poprawkę” na obecność w wodzie planktonu). Oczywiście, że albedo i emisyjność są istotne dla efektu cieplarnianego. Rośliny odbijają energię (promieniowanie krótkofalowe), podobnie jak śnieg i inne powierzchnie świetlne. Rośliny mają wyższy lub niższy współczynnik odbicia promieniowania, w zależności od takich czynników, jak kształt i wielkość liści oraz pokrycie – np. warstwą wosku. Nawet różne odmiany tego samego gatunku mogą mieć wyższe lub niższe albedo: różne odmiany kukurydzy mają różne morfologie - ich liście są ułożone w różny sposób; różne odmiany jęczmienia i prosa, mają mniej lub bardziej woskowe liście itp.

Naukowcy wykorzystali model komputerowy, aby zobaczyć, **co by się stało, gdyby wszystkie uprawy na całym świecie zostały zamienione na odmiany o wyższym albedo**. Okazało się, że globalna temperatura uśredniona w ciągu 150 lat spadłaby o 0,1 ° C. To niewiele, jednak znaczna część obszaru lądowego w Ameryce Północnej i Eurazji jest zajmowana przez rolnictwo, temperatury w lecie mogą tam w takim wypadku spaść nawet o 1° C. Byłoby to bardzo pożądaną ulgą dla regionów, które w nadchodzącym stuleciu będą narażone na niebezpieczne fale upałów.



Rośliny z woskowymi powłokami na liściach odbijają więcej światła słonecznego niż ich krewni. Gdyby zamiast mniej odbijających odblasków posadzono bardziej refleksyjne warianty, albedo ziemi uprawnej wzrośnie.

Naukowcy dodatkowo proponują genetyczną inżynierię roślin uprawnych na głównych obszarach rolniczych, aby nadać roślinom bardziej "odblaskowe" liście.

Ponad dziesięć lat temu przedsiębiorca Alvia Gaskill opracował program obejmujący znaczną część pustyni na świecie z białą, polietylenową folią odbijającą światło słoneczne i obniżającą temperaturę powierzchni. Pustynie mają określone formacje roślinne, faunę, mieszkają tam ludzie, i trudno wyobrazić sobie życie w ekosystemie pokrytym plastikiem. Pustynny pył, który byłby zahamowany przy powierzchni przez powłoki z tworzyw sztucznych, jest ważny z punktu widzenia globalnego klimatu, ponieważ wpływa na promieniowanie słoneczne, tworzenie się chmur, a nawet chłodzenie oceanów.

Plantacje o wysokim albedo

zmiana składu gatunkowego roślin
ograniczenie produkcji żywności



potencjalnie-monokultury, choroby roślin, zmiana składu gleby
lasy/drzewa mają dość niskie albedo - potencjalnie wzrost wylesiania na rzecz plantacji

efekt lokalny/regionalny

nierównomierny, niski efekt w skali globalnej - spadek o $0,1^{\circ}\text{C}$ w ciągu 150 lat



stosunkowo niskie koszty

wykorzystanie naturalnych procesów

odczuwalny efekt, poprawa komfortu życia - wszystkie dotychczasowe symulacje modeli pokazują, że przy zastosowaniu odmian, które odbijają dużo promieniowania, albedo wzrasta o 0,04 na obecnych obszarach uprawnych, co daje średnie ochłodzenie o ok. 1°C w miesiącach letnich; największy efekt zaobserwowano w Europie Zachodniej

STUDIUM PRZYPADKU**Jaki jest potencjał upraw o wysokich albedo w walce z globalnym ociepleniem?****Źródło: Dominique Carrer et al 2018 Environ. Res. Lett. 13 044030**

Zarządzanie pokryciem terenu na obszarach rolniczych jest potężnym narzędziem, które może odegrać rolę w łagodzeniu zmian klimatycznych. W ramach studium przypadku, wykorzystując dane satelitarne, wykazaliśmy to wprowadzenie roślin okrywowych do płodozmianu w okresie odłogowania zwiększyłoby albedo na obszarze ponad 4,17% powierzchni Europy. Zgodnie z tymi badaniami, efekt wynikający z tego wzrostu byłby równoważny ograniczeniu emisji o 3,16 MtCO₂. Odpowiada to potencjałowi łagodzącemu na jednostkę powierzchni (m²) rzędu 15,91 g CO₂. Ten efekt można zwiększyć o 27% jeśli roślina okrywowa jest utrzymywana przez okres dłuższy niż 3 miesiące. Kraje wykazujące największe potencjały łagodzące to Francja, Bułgaria, Rumunia i Niemcy.

CRM

 UŻYŻNIANIE OCEANU

Drugim największym naturalnym pochłaniaczem dwutlenku węgla – zajmującym ponad 70% powierzchni Ziemi – są oceany. Magazynują one ponad 50 razy więcej dwutlenku węgla (CO₂) niż atmosfera Ziemi oraz 20 razy więcej niż biosfera lądowa i jak się szacuje, pochłoneły nawet 30% CO₂ od czasów rewolucji przemysłowej. W związku z tym pojawiły się teorie i technologie zmierzające do (zwiększonego) wykorzystania oceanów jako pochłaniaczy CO₂. Sposobem redukcji atmosferycznych gazów cieplarnianych jest nawożenie żelazem. Polega ono na wprowadzeniu związków żelaza (ale także azotu lub fosforu) do wód oceanicznych, co ma stymulować gwałtowny wzrost fitoplanktonu. Ten z kolei ma pochłoniąć dwutlenek węgla i – opadając na dno morskie – doprowadzić do jego (długoterminowego) zmagazynowania w oceanach. Zwolennicy nawożenia twierdzą, iż zwiększona fotosynteza, spowodowana rozwojem fitoplanktonu, obniży poziom dwutlenku węgla w atmosferze i tym samym osłabi globalne ocieplenie, obumarły fitoplankton opadnie do wód głębinowych, zabierając pochłonięty węgiel, który zostanie zmagazynowany na długi czas na dnie oceanu, więcej fitoplanktonu oznacza większą ilość pożywienia dla innych gatunków, tym samym więcej ryb i pożywienia dla wzrastającej liczby ludności Ziemi.

Zwolennicy nawożenia oceanów twierdzą także, że takie ich wykorzystanie jest podobne do użytkowania ziemi w celach rolniczych. Ponadto jest to rozwiązanie tańsze od pozostałych. Wierzą oni także, że ingerencja w środowisko oceanów nie zniszczy go i będzie długoterminowym rozwiązaniem problemu globalnego ocieplenia, zaś magazynowanie węgla w oceanach mogłoby być wykorzystywane w tzw. handlu emisjami. Jednocześnie przeprowadzone eksperymenty naukowe, dotyczące nawożenia oceanów żelazem dowodzą, iż dostawy żelaza całkowicie zmieniają ekosystemy morskie, obumieranie ogromnych zakwitów fitoplanktonu powoduje obniżenie ilości tlenu rozpuszczonego w wodzie, procesy życiowe mikroorganizmów rozwijających się w warunkach niskiej zawartości tlenu w wodzie mogą powodować powstawanie silnych gazów cieplarnianych takich jak metan (gaz

cieplarniany 62-krotnie silniejszy niż dwutlenek węgla) i podtlenek azotu (gaz cieplarniany o sile oddziaływania 275-krotnie większej niż dwutlenek węgla). Aby osiągnąć korzyść z użyźniania oceanu w postaci magazynowania węgla musiałyby być ono przeprowadzane na rozległych obszarach oceanu na półkuli pd., gdyż jest to jedyny region gdzie wody powierzchniowe opadają w głąb oceanu, zabierając ze sobą węgiel.

Sztuczne dostawy żelaza do znacznych obszarów wód oceanicznych spowodują wzmożony rozwój fitoplanktonu i tym samym wzrost liczby organizmów, u których zachodzi fotosynteza



Morski łańcuch pokarmowy opiera się na fotosyntezie przez morski fitoplankton, który łączy węgiel z nieorganicznymi składnikami odżywczymi w celu wytworzenia materii organicznej. Produkcja jest ograniczona przez dostępność składników odżywczych, najczęściej azotu lub żelaza.

Liczne eksperymenty pokazały, jak nawożenie żelazem może zwiększyć wydajność fitoplanktonu. Azot jest ograniczającym składnikiem pokarmowym w większej części oceanu i może być dostarczany z różnych źródeł, w tym utrwalania przez sinice. Proporcja węgla do żelaza w fitoplanktonie jest znacznie większa niż proporcja węgla do azotu lub węgla do fosforu, więc żelazo ma najwyższy potencjał sekwestracji na jednostkę masy dodanej.

Użyźnianie oceanów

- dodawanie żelaza całkowicie zmienia ekosystemy morskie,
- obumieranie ogromnych zakwitów fitoplanktonu powoduje obniżenie ilości tlenu rozpuszczonego w wodzie,
- procesy życiowe mikroorganizmów rozwijających się w warunkach niskiej zawartości tlenu w wodzie mogą powodować powstawanie silnych gazów cieplarnianych takich jak metan (gaz cieplarniany 62-krotnie silniejszy niż dwutlenek węgla) i podtlenek azotu (gaz cieplarniany o sile oddziaływania 275-krotnie większej niż dwutlenek węgla),
- aby osiągnąć korzyść z użyźniania oceanu w postaci magazynowania węgla musiałyby być ono przeprowadzane na rozległych obszarach oceanu na półkuli pd., gdyż jest to jedyny region HNLC gdzie wody powierzchniowe opadają w głąb oceanu, zabierając ze sobą węgiel.



- zwiększona fotosynteza, spowodowana rozwojem fitoplanktonu, obniży poziom dwutlenku węgla w atmosferze i tym samym osłabi globalne ocieplenie,
- obumarły fitoplankton opadnie do wód głębinowych, zabierając pochłonięty węgiel, który zostanie zmagazynowany na długi czas na dnie oceanu,
- więcej fitoplanktonu oznacza większą ilość pożywienia dla innych gatunków, tym samym więcej ryb i pożywienia dla wzrastającej liczby ludności Ziemi.
- tanie rozwiązanie
- magazynowanie węgla w oceanach mogłoby być wykorzystywane w tzw. handlu emisjami.

STUDIUM PRZYPADKU

„Dajcie mi pół tankowca żelaza, a ja dam wam epokę lodowcową”. Te trochę żartobliwe słowa wypowiedział oceanograf Johna Martin, który w latach 90. XX w. sformułował tezę, że wystarczyłoby ok. 430 000 ton żelaza do nawiezenia Oceanu Antarktycznego, żeby osiągnąć rezultat w postaci usunięcia 3×10^9 ton dwutlenku węgla z atmosfery rocznie. Prace J. Martina zostały potraktowane całkiem poważnie – zarówno przez naukowców, jak i świat przemysłu. Nawożenie żelazem jest traktowane jako potencjalny sposób redukcji emisji dwutlenku węgla. Za najbardziej zaawansowany projekt w tym zakresie uchodził przygotowany przez amerykańskie przedsiębiorstwo Planktos Corp., które ogłosiło w maju 2007 r., że jego statek „Weathebird II” rozmieści 90 ton hematytu (tlenek żelaza) na obszarze ok. 10000 km², zaledwie 560 km od Archipelagu Galapagos. Miał to być pierwszy z sześciu planowanych przez Planktos Corp. projektów na lata 2007–2009 w obszarze Pacyfiku i Atlantyku. Ze względu na bardzo negatywną reakcję opinii publicznej (w tym rządu Ekwadoru, ale także organizacji pozarządowych) projekt nie zdobył odpowiednich funduszy i nie doszedł do skutku. Niemniej jednak także inne firmy, takie jak Climos, GreenSea Ventures Inc. (USA) oraz Ocean Nourishment Corp. (Australia) przygotowały plany dotyczące nawożenia oceanów żelazem. Naukowe zainteresowanie nawożeniem oceanów żelazem okazało się znaczne. W latach 1993–2009 przeprowadzono 14 eksperymentów w tym zakresie. Eksperymenty przeprowadzono w przeważającej mierze w wodach Oceanu Antarktycznego, a w mniejszym stopniu w Pacyfiku i Atlantyku. Ma to związek z tym, że nawożenie żelazem – aby w ogóle mogło być efektywną metodą sekwestracji dwutlenku węgla – **musi odbywać się w wodach o wysokiej zawartości substancji odżywczych i małej zawartości chlorofilu (high-nutrient, low-chlorophyll – HNLC)**. Jak wskazują naukowcy, nawożenie żelazem właśnie w wodach Oceanu Antarktycznego dawałoby największy, długoterminowy (ponad 100 lat) efekt w postaci redukcji CO₂.

SRM

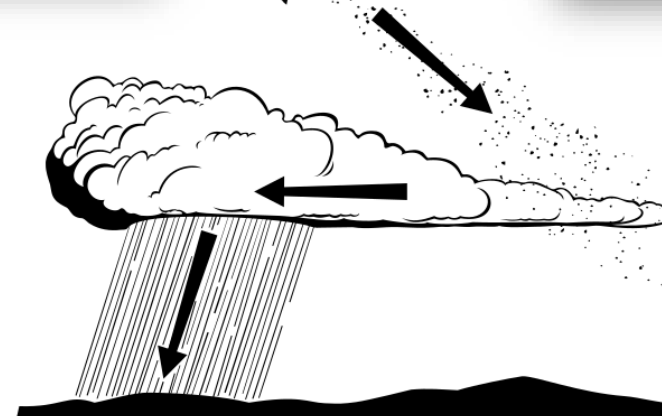
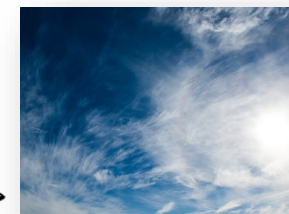


ZASIEWANIE CHMUR

UWAGA: zasiewanie chmur dotyczy chmur kłębiastych czy też warstwowo-kłębiastych (cumulus, stratocumulus), bowiem to te chmury odbijają promieniowanie z powrotem do przestrzeni kosmicznej. Odwrotne właściwości mają chmury pierzaste (cirrus), które niejako „zatrzymują” promieniowanie przy powierzchni Ziemi, nie pozwalając mu uciec; w tym przypadku techniki geoinżynierijne koncentrują się na „dziurawieniu”, a nie „wzmacnianiu” takich chmur.

UWAGA: inną, ale powiązaną metodą jest rozpylanie w atmosferze aerozoli – np. aerozoli siarczanów do stratosfery, które nie absorbują promieniowania słonecznego, ale je odbijają i odgrywają podobną rolę do cząstek pyłów i aerozoli zawieszonych w stratosferze po wybuchu silnych wulkanów i powodują oziębianie Ziemi poprzez odbijanie promieniowania słonecznego. Związki siarki powinny być wprowadzone we wstępującej części cyrkulacji stratosferycznej w atmosferze tropikalnej; około 1–2 milionów ton siarki na rok jest potrzebne, żeby zniwelować efekt ocieplania o $1,4 \text{ W/m}^2$. Tego typu zmiana spowoduje widoczne efekty w postaci zmiany koloru wschodu i zachodu słońca i zmniejszenie ilości ozonu stratosferycznego.

Inna techniką jest wprowadzenie cząstek sadzy do stratosfery, które by absorbowały promieniowanie słoneczne, ale ogrzewały stratosferę i zmniejszały stężenie ozonu stratosferycznego. Ta metoda wymagałaby spalania paliw kopalnianych.



Zasiewanie chmur to proces łączenia różnych rodzajów środków chemicznych - w tym jodku srebra, suchego lodu, a nawet zwykłej soli kamiennej - z istniejącymi chmurami w celu zagęszczenia chmur i zwiększenia szans na deszcz lub opady śniegu. Chemikalia są albo wyrzucane z powierzchni ziemi, albo uwalniane w trakcie lotu samolotu

A efekcie wzrasta pokrywa chmur, jest jaśniejsza - ma wyższe albedo, odbija więcej promieniowania słonecznego z powrotem w przestrzeń kosmiczną

Polega na dostarczaniu najczęściej siarczanów do atmosfery na wysokości

około 20 km (ew. jodek srebra czy potasu)

Jedną z zaproponowanych metod jest wykorzystanie specjalnych balonów do rozpylania aerozolu siarkowego w stratosferze, czyli warstwie atmosfery znajdującej się powyżej troposfery. Stratosfera jest oddzielona od troposfery tropopauzą, a w jej obrębie temperatura rośnie z wysokością. Takie warunki utrudniają mieszanie się powietrza pomiędzy warstwami, co oznacza, że aerozol wdmuchnięty do stratosfery pozostaje w niej nie przez kilka dni, lecz przez kilka lat.

Rozpylanie Aerozoli w Stratosferze

zmiana globalnych wzorców opadów - susze w obszarach subsaharyjskich Afryki, problemy z produkcją żywności
szkodliwe substancje chemiczne wstrzykiwane do atmosfery oraz opadające na ziemię, szkodliwe np. dla ekosystemów wodnych (roztwór jodku srebra)
potencjalne naruszanie warstwy ozonowej w wyniku reakcji chemicznych
skuteczność tylko dla niektórych typów chmur (już generujących deszcz) - trudności w ocenie skuteczności - nawet mimo postępu technologicznego trudno jest odróżnić pogodę, która wystąpiła naturalnie, od warunków pogodowych wywołanych zasiewaniem chmur
brak kontroli nad efektem - możliwość wywołania katastrofalnej powodzi przy przeciwdziałaniu suszy na danym obszarze



Stosunkowo tania i realna metoda – niski koszt substancji chemicznych; możliwość wykorzystania istniejących samolotów lub budowy stosunkowo niedrogich dział
Przeciwdziałanie katastrofalnym suszom, ratowanie plonów, przeciwdziałanie klęskom głodu
Naśladowanie naturalnych, sprawdzonych procesów i ich intensyfikacja

STUDIUM PRZYPADKU

Wojskowi ze Zjednoczonych Emiratów Arabskich oficjalnie przyznają, że od 2006 roku prowadzą operacje zasiewania chmur, aby największa od 900 lat susza nękająca Półwysep Arabski, dobiegła końca.

Każdego roku wojskowi wykonują około 160 misji, w trakcie których z samolotów na chmury są zrzucaane ładunki z jodkiem srebra. W Emiratach operacje zasiewania chmur są prowadzone głównie nad terenami górzystymi, a więc w pobliżu pogranicza z Omanem, aby podnieść poziom deszczówki w warstwach wodonośnych i zbiornikach wodnych. Szansa na udane zasiewanie nad górami jest większa niż nad pustyniami. Naukowcy, którzy współpracują z władzami Emiratów Arabskich przy wywoływaniu deszczu, mówią o pierwszych efektach swojej misji. Jednak nie brakuje też porażek i to spektakularnych. Jedną z nich jest kataklizm, który dotknął najdalej położony na północ emirat Ras Al Khaimah.

Mieszkańcy nie mogli się tam doczekać życiodajnego deszczu. Gdy już nadciągnęły chmury, w ciągu zaledwie kilkudziesięciu godzin spadło tyle deszczu, ile zazwyczaj spada przez 2,5 roku!

Służby alarmowe odebrały 3 tysiące wezwań od przerażonych mieszkańców, którym przyszło zmierzyć się z dawno niewidzianym żywiołem, będącym ostatnią rzeczą, jakiej spodziewali się podczas wieloletniej, wyniszczającej suszy.

Ratownicy udzielili pomocy ponad 700 osobom, które utknęły w samochodach na zalanych drogach. W niektórych miejscach woda sięgała wysokości kilku metrów. Niewiele brakowało, aby kierowcy i pasażerowie utonęli. Ratowano też 170 turystów w rejonie Jebel Jais, najwyższej góry w Emiratach, którzy utknęli z powodu powodzi i osunięć ziemi.

SKUTKI ŚRODOWISKOWE I GEOPOLITYCZNE

Zastanów się i odpowiedz na poniższe pytania:



Jakie warunki powinny spełniać metody walki ze zmianami klimatu?

Wybierz 5 najważniejszych wg Ciebie

bezpieczne	tanie	Długotrwałe efekty	przewidywalne	odwracalne
wykonalne	efektywne	Możliwe do kontrolowania	Dobrze sprawdzone	Szybkie efekty
Brak zanieczyszczeń	Regulowane na poziomie międzynarodowym	Wielkoskalowe efekty na dużych obszarach	Minimalna ingerencja w otoczenie	Dodatkowe, pozytywne „efekty uboczne”

CO MÓWIĄ NAUKOWCY?

PLAN B czy PLAN OSTATNIEJ SZANSY?

Czym jest tzw. **PLAN B** i **PLAN A** w kontekście zmian klimatycznych?

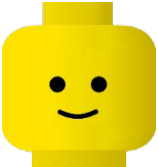
Plan A ma na celu znaczne ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w celu długofalowego rozwiązania, jednak globalny postęp tych zmian to proces powolny i przy obecnych poziomach emisji globalne temperatury mogą wzrosnąć o 5,5 stopnia Celsjusza do 2100 r. (Jest to obecnie uważane za najgorszy scenariusz, chociaż niektórzy naukowcy uważają, że jesteśmy już niestety na tej ścieżce).

Plan B to **geoinżynieria**. Wiele naukowców zajmujących się ochroną środowiska uważa techniki geoinżynierijne za realne uzupełnienie redukcji emisji gazów cieplarnianych, ale nie rozwiązanie zastępcze. Niektórzy uważają, że geoinżynieria jest „tynkiem dla planety”, pomagając jedynie zamaskować

problem, gdy już wystąpił. Twierdzą, że technologie będą wykorzystywane jako wymówka dla krajów, aby nadal emitować duże ilości gazów cieplarnianych zamiast inwestować w rzeczywistą redukcję emisji gazów cieplarnianych.

Świat może w coraz większym stopniu poszukiwać geoinżynierii w następstwie najnowszego raportu klimatycznego IPCC, który mówi, że może zostać przyjęty jako tymczasowy „środek zaradczy”, jeśli nasza planeta zmierza w kierunku niebezpiecznego poziomu ocieplenia.

Autorzy raportu sformułowanego przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu twierdzą, że istnieje duża zgoda co do tego, że wstrzyknięcie milionów ton dwutlenku siarki do stratosfery może pomóc ograniczyć wzrost temperatury do najbardziej ambitnego celu porozumienia paryskiego. Ale autorzy ostrzegają, że istnieją poważne wątpliwości co do skutków społecznych, środowiskowych i ekologicznych, co oznacza, że świat byłby o wiele lepszy, gdyby decydenci wzmocnili naturalne systemy chłodzenia, takie jak zalesienie i przyspieszyły wysiłki na rzecz ograniczenia emisji dwutlenku węgla.

 **DAVID KEITH** - profesor fizyki stosowanej w Harvard's School of Engineering and Applied Sciences (SEAS) oraz profesor polityki publicznej w Harvard's Kennedy School of Government, jest założycielem firmy Carbon Engineering, wdrażającej sekwestrację dwutlenku węgla



Materiał video: Obejrzyj [TED talk z Davidem Keithem \(polskie napisy\) \(15:52\)](#)

DLA CHĘTNYCH - PRZECZYTAJ ARTYKUŁ: [Halving warming with idealized solar geoengineering moderates key climate hazards](#) <-czyt

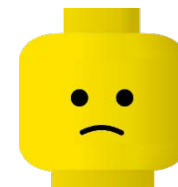
W scenariuszu ograniczania ocieplenia o połowę, zastosowanym w tym badaniu, sugeruje się, że geoinżynieria słoneczna nie powinna powodować pogorszenia sytuacji z opadami/dostępem do wody czy też ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi. To przypadek „to dawka decyduje o tym, co jest trucizną”, twierdzi David Keith, inżynier z Harvardu i ekspert geoinżynierii.

Badanie opiera się na modelu o wysokiej rozdzielczości, który jest szczególnie przydatny w symulowaniu huraganów i ekstremalnych opadów deszczu. Autorzy zbadali kilka różnych potencjalnych parametrów klimatycznych, w tym średnie i maksymalne temperatury, maksymalne roczne opady i całkowitą

dostępność wody dla danego regionu, zdefiniowaną jako ilość opadów, która spada w stosunku do ilości wody, która wyparowuje z tego obszaru. Ocenili region wyników według regionów na całym świecie, dzieląc glob na te same segmenty, które wykorzystał Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu w swoich analizach regionalnych skutków klimatycznych. W każdym przypadku oceniali, czy efekt klimatyczny został zaostrożony przez geoinżynierię słoneczną - to znaczy pogarszał się w porównaniu ze zmianami klimatycznymi i geoinżynierią. Odkryli, że żaden region nie doświadczył żadnej z tych zmiennych pogorszonych przez geoinżynierię słoneczną.

Część naukowców jest jednak sceptycznych wobec wyników tego badania. Po pierwsze, badanie symuluje efekty geoinżynierii słonecznej, według Alana Robocka, eksperta ds. Klimatu i aerozoli, niedokładnie odzwierciedlając działanie aerozoli w powietrzu, które mogą mieć dodatkowe skutki uboczne, takie jak ocieplenie niektórych części atmosfery, zmiana cyrkulacji atmosferycznej lub oddziaływanie na warstwę ozonową.

„Przedwczesne” byłoby stwierdzenie, że żaden region na Ziemi nie doświadczyłby żadnych skutków klimatycznych pogarszanych przez geoinżynierię, nawet w scenariuszu połowicznego ocieplenia, podsumowują badacze. Ale to kwestionuje przekonanie, że takie wyniki są nieuniknione, lub że zawsze przewyższają korzyści.



INFORMACJE PRZYDATNE DO FORMUŁOWANIA ARGUMENTÓW

Karta informacyjna 1	Karta informacyjna 2	Karta informacyjna 3	Karta informacyjna 4
Dodatkowe emisje dwutlenku węgla a równowaga na Ziemi Około 40% dodatkowej emisji jest „wchłaniane w normalny cykl obiegu węgla w przyrodzie, ale pozostał 60% pozostaje w atmosferze. System klimatyczny reaguje we właściwy sobie sposób. Po pierwsze, rośnie kwasowość oceanów pochłaniających nadmiarowy dwutlenek węgla. Gdyby źródłem emisji były same oceany, to zjawisko nie miałoby miejsca. Po drugie, spada atmosferyczna koncentracja tlenu. Tlen łączy się z węglem w procesie spalania paliw kopalnych. Gdyby źródłem emisji były oceany, tlenu nie powinno ubywać. Po trzecie w atmosferze rośnie zawartość izotopu węgla 12C (co przekłada się na spadek względnej zawartości izotopu węgla 13C). Wskazuje to, że źródłem dodatkowego CO₂ są paliwa kopalne, zawierające proporcjonalnie więcej izotopu węgla 12C względem 13C niż materia nieożywiona. Czy ta nadwyżka rzeczywiście robi różnicę? Na przestrzeni setek tysięcy lat koncentracja dwutlenku węgla w atmosferze oscylowała w granicach 180-300 ppm – to wystarczało, by Ziemia przeobrażała się gruntownie, przechodząc od zlodowaceń do ciepłych interglacjałów. Dziś ta koncentracja to ponad 400 ppm i bezprecedensowo rośnie	Kiedy zaczęliśmy tak bardzo wpływać na klimat na Ziemi? Początek XIX wieku – tzw. „rewolucja przemysłowa” to wielkoskalowe spalanie surowców energetycznych, od tego momenty wzrastają emisje, koncentracja dwutlenku węgla w atmosferze oraz średnia temperatura powierzchni Ziemi. Z drugiej strony przekroczenie poziomu 400 ppm (2016 rok) również jest granicą, z której – zdaniem wielu – nie ma już odwrotu.	Poważne instytucje inwestują w badania CIA współpracuje z amerykańską Narodową Akademią Nauk (NAS) w celu sfinansowania 21-miesięcznej „technicznej oceny” różnych technik geoinżynierskich, w tym proponowanych systemów zarządzania promieniowaniem słonecznym i usuwania dwutlenku węgla. Jest to pierwsze badanie geoinżynierskie NAS finansowane przez agencję wywiadowczą. Budżet wynosi 630 000 USD.	Aerozole a ‘dziura ozonowa’ Wypuszczanie do stratosfery aerozoli siarczanowych odbijających światło w celu ochłodzenia planety skutkuje powstaniem kwasu siarkowego, który reagując z ozonem uszkadza ochronną powłokę ozonową, co z kolei może prowadzić do zwiększenia częstości raka skóry, uszkodzenia oczu i innych niekorzystnych konsekwencji zdrowotnych.

Karta informacyjna 5	Karta informacyjna 6	Karta informacyjna 7	Karta informacyjna 8
Inżynieria solarna a dwutlenek węgla Teoretycznie metody opierające się na ograniczaniu ilości energii słonecznej nie mają wpływu na zawartość gazów cieplarnianych w atmosferze, jednak wykorzystanie geoinżynierii solarnej mogłoby pośrednio obniżyć ilość CO₂ w atmosferze poprzez zahamowanie topnienia zmarzliny, zmniejszenie emisji w sektorze energetycznym i spowodowanie zmian w sprzężeniu zwrotnym cyklu węglowego.	Guano ochładza Arktykę Naukowcy odkryli, że amoniak uwalniany się z ogromnych ilości guana ptaków morskich pomaga tworzyć niskie leżące chmury, wytwarzając jądra kondensacji. Chmury mogą częściowo blokować światło słoneczne i tym samym obniżać temperaturę. Dotyczy to przede wszystkim ptaków, które w Arktyce formują kolonie (alczki, maskonury, rybitwy popielate itp.). Ptaki zostawiają w Arktyce rocznie nawet 33 000 ton guana (odchodów). Jak zauważają, jest to znaczący efekt regionalny w całej Arktyce, ale niewystarczający, aby przeciwdziałać jego stałemu szybkiemu ociepleniu.	Geoinżynieria a fotosynteza i energetyka słoneczna Uwalnianie aerozoli siarczanowych powinno teoretycznie obniżyć globalne temperatury, odzwierciedlając niewielki procent wchodzącego światła słonecznego z dala od Ziemi. Jednak dodatkowe cząstki rozpraszająby również więcej pozostałego światła w atmosferze. To zmniejszyłoby o 20 procent ilość światła słonecznego, które ma bezpośrednią drogę do ziemi, i zwiększyłoby poziom bardziej miękkiego, rozproszonego światła rozproszonego. Zmniejszenie bezpośredniego światła słonecznego wpłynęłoby na przemysł solarny, który opiera się na bezpośrednim świetle słonecznym, aby wygenerować znaczną część swojej mocy. Ale zwiększone pośrednie światło słoneczne zwiększyłoby fotosyntezę pod koronami drzew. Najbardziej widoczny efekt byłby jednak ponad nami.	Ciepła pułapka Wzrost temperatury powietrza jest opóźniony, ponieważ atmosfera niejako z opóźnieniem dogania całe ciepło, które Ziemia nagromadziła. Po około 40 latach od potencjalnego natychmiastowego zaprzestania spalania paliw kopalnych, klimat prawdopodobnie ustabilizuje się w temperaturze wyższej niż normalna dla poprzednich pokoleń. Nawet jeśli emisja dwutlenku węgla nagle się zatrzyma, dwutlenek węgla znajdujący się już w ziemskiej atmosferze może nadal ogrzewać naszą planetę przez setki lat, jak wynika z badań prowadzonych przez Princeton University w czasopiśmie Nature Climate Change. Naukowcy wykonali symulację Ziemi, na której po emisji do atmosfery 1 800 miliardów ton węgla cała emisja dwutlenku węgla nagle ustała. W ciągu tysiąclecia od tego symulowanego wyłączenia, sam węgiel stopniowo zanikał; 80 procent zniknęło po 1000 latach. Samo obniżenie atmosferycznego dwutlenku węgla powinno prowadzić do chłodzenia. Przez pierwsze 100 lat planeta istotnie się ochładzała, ale w ciągu następnych 400 lat, temperatura wzrosła o 0,37°C.

Białe niebo	Kosztowne czy nie	Efekt nagłego 'wyciągnięcia wtyczki' a brak 'wyłącznika bezpieczeństwa'	Geoinżynieria a opady deszczu
Niebieski kolor czystego nieba pochodzi ze światła rozpraszanego przez cząsteczki w powietrzu. Rozpraszanie jest znacznie silniejsze dla krótkich niebieskich długości fal niż dla dłuższych czerwonych fal – dlatego postrzegamy niebo jako niebieskie. Cząstki aerozolu są jednak znacznie większe niż cząsteczki składników powietrza i silniej rozpraszają czerwone światło, które zmywa niebieskie światło rozproszone przez mniejsze cząsteczki i sprawia, że niebo jest jaśniejsze i bielsze. Zwiększenie ilości cząstek o średnicy od 0,1 do 0,9 mikrometra wpłynie na widmo rozproszonego światła i w efekcie kolor nieba. Zablokowanie zaledwie dwóch procent słonecznego światła wysyłanego w kierunku Ziemi może sprawić, że niebo stanie się od trzech do pięciu razy jaśniejsze, a jednocześnie bielsze niż teraz. Nie są zbadane efekty psychologiczne takiego zjawiska.	Technologia związana z dostarczaniem siarczanów do atmosfery zastosowana na skalę globalną mogłaby kosztować 2 do 2,5 miliarda dolarów rocznie." Około 500 miliardów dolarów rocznie jest inwestowanych w zielone technologie.	Tzw. „szok terminacji” to przewidywany szybki i znaczny wzrost globalnych temperatur po nagłym i całkowitym/znacznym zaprzestaniu wdrażania technik geoinżynieryjnych – w tempie tak dużym, że adaptacja fauny, flory i ludzkości nie byłaby możliwa. Do takiej nieoczekiwanej terminacji mogłoby dojść ze względu na światowy konflikt zbrojny, niedobory energii, awarię technologiczną itp. Efekty technik geoinżynieryjnych, raz zainicjowanych, są trudne do sterowania. W przypadku większości metod geoinżynieryjnych w szczególności związanych z zarządzaniem promieniowaniem słonecznym (np. zasiewanie chmur) ale też np. użyźniania oceanów nie jest możliwe natychmiastowe przerwanie ingerencji i odwrócenie jej skutków	Globalne ocieplenie zwiększa średnio opady deszczu z uwagi na wzrost parowania. Badanie w Journal of Geophysical Research sugeruje, że geoinżynieria może znacznie ograniczyć opady, do tego stopnia, że może to zagrozić uprawom i dostępności wody pitnej, gdyż „zacienienie” Ziemi związane z technikami spowalnia parowanie, więc następuje spadek netto opadów.

Karta: Historia 1	Karta: Historia 2
Operacja POPEYE – geoinżynieria w służbie wojny Siły Powietrzne USA wykonały w czasie wojny w Wietnamie ponad 2600 lotów mających na celu ZASIEW CHMUR nad Północnym i Południowym Wietnamem, Laosem i Kambodżą w ramach tajnej operacji mającej na celu przedłużenie sezonu monsunowego i zahamowanie ruchów wojsk północno-wietnamskich z powodu błotnistych dróg i zalewanych linii komunikacyjnych. Do atmosfery wypuszczano jodek srebra i jodek ołowiu, co doprowadziło do przedłużenia pory monsunowej średnio od 30 do 45 dni. Celem tych działań było: • Zmiękczenie nawierzchni dróg • Wywoływanie osuwisk wzdłuż dróg • Wymywanie korytarzy rzecznych • Utrzymywanie wysokiego nasycenia gleby wodą Już znacznie wcześniej postrzegano pogodę jako potencjalną broń. W 1872 roku Kongres Stanów Zjednoczonych upoważnił sekretarzy wojny i marynarki wojennej do zbadania zależności między ostrzałem artyleryjskim a propagacją deszczu zaproponowaną przez Edwarda Powersa w książce „Wojna i pogoda” (1871). Po odtajnieniu operacji Popeye w 1974 roku, ONZ zakazała militaryzacji zjawisk pogodowych – wprowadzono traktat ENMOD (1977), który zakazał ofensywnej, wielkoobszarowej modyfikacji pogody. Operacja Popeye była dość udana i osiągnęła swoje cele. Oto cytaty z 274. Memorandum od zastępcy podsekretarza stanu do spraw politycznych (Kohler) do sekretarza stanu (Rusk), dotyczącego jej przebiegu (Waszyngton, 13 stycznia 1967). <i>„Naszym zdaniem eksperymenty zakończyły się niezaprzeczalnym sukcesem, wskazując, że przynajmniej w warunkach pogodowych i ukształtowaniu terenu, takich jak te na których przeprowadzono działania, rząd USA zdał sobie sprawę z możliwości znacznej modyfikacji pogody. Testy były wręcz „zbyt udane” – nie można dokładnie przewidzieć</i>	Podróż w czasie Założmy, że jest rok 2054, a Ty jesteś członkiem Globalnej Rady Technologii. Światowe rządy nie zmniejszyły o połowę emisji gazów cieplarnianych do 2030 r. - terminu wyznaczonego w raporcie ONZ z 2018 r., uruchamiając łańcuch szybkiego ocieplenia. Rada rozpatruje wnioski o użycie technologii geoinżynieryjnych i musi wydać na nie zgodę. Wpłynęły 3 wnioski. Zastanów się, jak głosowałbyś/głosowałabyś na posiedzeniu Rady WNIOSEK 1 Megaburze i pożary regularnie zabijają setki i wypierają dziesiątki tysięcy mieszkańców Stanów Zjednoczonych, w nadmorskich miastach ludzie masowo porzucają nisko położone dzielnice, regularnie zalewane i podtapiane. Słodkiej wody i żywności brakuje, ponieważ susza suszy źródła i spycha koszt ryżowy delty Mekong Delta. W celu zapewnienia ulgi i powstrzymania chaosu globalne supermocarstwa chcą zablokować 40% dostępu światła słonecznego za pomocą 100.000 ogromnych zwierciadeł.   WNIOSEK 2 Prognoza pogody mówi, że podczas ceremonii otwarcia Igrzysk Olimpijskich w Warszawie będzie ulewny deszcz, który zniszczy wszystkie plany, które kosztują miliony dolarów. Organizatorzy rozważają rozpylenie dwutlenku siarki do atmosfery, aby utworzyć chmury i sprawić, że deszcz spadnie szybciej, aby upewnić się, że niebo będzie niebieskie w ważnym dniu.

objętości indukowanych opadów deszczu i zasięgu dotkniętego obszaru. Jediną dostępną kontrolą jest zatem wstrzymanie misji zasiewu chmur”.

Reporter Jack Anderson opublikował w marcu 1971 r. reportaż o operacji Popeye. Opinia publiczna była wściekła, operacja wywołała oburzenie i została nazwana "wojną pogodową Watergate".



WNIOSEK 3

Płaskowyż Tybetański cierpi z powodu suszy od 5 lat. Chińczycy planują wdrożenie planu wysłania tysięcy maszyn wywołujących deszcz na płaskowyż **tybetański**, **aby zwiększyć opady deszczu w regionie**



Naśladowanie natury

Wulkan Pinatubo (1485 metrów wysokości) zasłynął drugą co do wielkości najpotężniejszą erupcją wulkaniczną w XX wieku. W lipcu 1990 r. trzęsienie ziemi o sile 7,8 m wystąpiło 100 km na północny wschód od regionu Pinatubo, co jest wynikiem ponownego przebudzenia wulkanu. Wybuch wulkanu Pinatubo na Filipinach w 1991 r. doprowadził do emisji do atmosfery 10 mln ton siarki. Zadziałała ona jak lustro zmniejszające ilość promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi. W efekcie nastąpiło wielomiesięczne ochłodzenie o 0,3-0,5 stopnia Celsjusza.

Paul Crutzen zainspirowany efektem Pinatubo opublikował w 2005 r. artykuł w piśmie naukowym "Climate Change", w którym wyliczył, że wystarczyłoby wypuścić do atmosfery 5,3 mln ton siarki, by czasowo schłodzić Ziemię.

W 2011 roku zainicjowano projekt Particle Injection for Climate Engineering (SPICE), którego częścią jest kosztujący 30.000 dolarów test. Eksperyment przerwano, gdyż budził duże kontrowersje.



Zabójcze Jezioro Nyos



Na jeziorze Nyos północno-zachodnim Kamerunie miała miejsce jedno z najdziwniejszych i najbardziej tajemniczych klęsk żywiołowych w historii.

Wieczór 21 sierpnia 1986 roku. Rolnicy mieszkający w pobliżu jeziora usłyszeli dudnienie, ogromny spieniony strumień wyrzelił z jeziora, a nad wodą zebrała się biała chmura. Chmura urosła do ok. 100 metrów wysokości i płynęła przez okolicę. Opadła w dolinie, gdzie mieszkali ludzie. Nagle masowo zaczęli upadać, tracąc przytomność lub umierając w kilku oddechach. W Nyos i Kam, pierwszych wioskach dotkniętych chmurą, ocalały tylko 4 osoby.

Jezioro Nyos to jezioro wulkaniczne, uformowane na szczycie kratetu; około 5000 ton dwutlenku węgla rocznie dostaje się do podstawy jeziora przez płaszcz wulkanu. Feralnego dnia ponad 1700 osób zginęło po tym, jak około 1,6 miliona ton dwutlenku węgla zostało nagle uwolnionych z jeziora w wyniku tzw. erupcji limnicznej. Taka ilość dwutlenku węgla jest o rząd wielkości większa niż największa możliwa ilość składowanego w ramach CCS dwutlenku węgla.

Bezpośrednie przygotowanie do debaty

Po zapoznaniu się z przedstawionymi materiałami możesz przystąpić do bezpośredniego przygotowania argumentów do debaty. Poniżej zamieszczono szereg pytań. Odpowiedzi na nie mogą być dobrymi argumentami do dyskusji. Jedne z nich zdecydowanie popierają postawioną tezę, inne pomogą w jej obaleniu. Część argumentów jest dyskusyjna i może być użyta zarówno przez jedną, jak i drugą stronę.

Zadanie.

Odpowiedz na poniższe pytania. Odpowiedzi, które będą jednocześnie argumentami do dyskusji zapisz w odpowiednim miejscu w tabeli (Karta pracy nr 1).

Karta pytań 1	Karta pytań 2	Karta pytań 3	Karta pytań 4
 <i>Jak szybko można powstrzymać efekty wywołane metodami geoinżynierijnymi?</i>	<i>Jak szybko przynosi efekty ograniczenie emisji gazów cieplarnianych?</i>	<i>Jakie konsekwencje może mieć ograniczenie dopływu promieniowania słonecznego dla OZE?</i>	<i>Jak inwestowanie w geoinżynierię wpływa na poszukiwanie sposobów ograniczenia emisji?</i>

Karta pytań 5	Karta pytań 6	Karta pytań 7	Karta pytań 8
<i>Czy geoinżynieria ogranicza wszystkie zidentyfikowane negatywne skutki zmian klimatu?</i>	<i>Jakie są możliwe skutki uboczne metod geoinżynierii środowisko i zdrowie?</i>	<i>Czy możliwe jest natychmiastowe powstrzymanie wszystkich emisji gazów cieplarnianych?</i>	<i>Co się stanie, jeśli wszystkie antropogeniczne emisje gazów cieplarnianych do atmosfery zostaną nagle zatrzymane? Czy to powstrzyma globalne ocieplenie?</i>
Karta pytań 9	Karta pytań 10	Karta pytań 11	Karta pytań 12
<i>Czy wszystkie metody geoinżynierii wymagają użycia chemikaliów?</i>	<i>Jak metody geoinżynieryjne wpływają potencjalnie na opady deszczu? Czy wszystkie w taki sam sposób?</i>	<i>Czy techniki geoinżynieryjne są drogie czy tanie?</i>	<i>Czy można stosować niektóre metody po bardzo niskich kosztach?</i>



Karta pytań 13	Karta pytań 14	Karta pytań 15	Karta pytań 16
<i>Czy proces decyzyjny dotyczący używania technik geoinżynierijnych jest globalnie sprawiedliwy?</i> 	<i>Czy metody geoinżynierijne, przetestowane w walce ze zmianami klimatu, mogą posłużyć również w innych wyzwaniach ludzkości lub być wykorzystywane w inny sposób?</i>	<i>Czy istnieje naturalny proces /procesy częściowo „odtworzący/ce” metody geoinżynierijne?</i>	<i>Czy technologie, które dziś stosujemy powszechnie, zawsze były akceptowane i witane entuzjastycznie przez społeczeństwo?</i>

Podział na drużyny „za” oraz „przeciw”

Zadanie.

Masz już przygotowane argumenty, które wykorzystasz podczas dyskusji. Na tym etapie przygotowujesz się bezpośrednio do sformułowania argumentu zgodnie z przydzieloną rolą oraz do ich uzasadnienia i obrony. Spróbuj przewidzieć, jakich kontrargumentów użyją przeciwnicy i przygotuj swoją odpowiedź. W tym celu wykorzystaj kartę pracy nr 2.

Geoinżynieria a zmiany klimatu

Materiał pomocniczy do debaty

„Należy inwestować w techniki geoinżynieryjne, aby przeciwdziałać zmianom klimatu”

Geoinżynieria – czym jest i czym nie jest

Wielkoskalowa, nagła, celowa manipulacja środowiskiem przyrodniczym z wykorzystaniem różnorodnych technik inżynieryjnych.

GŁÓWNIE: przeciwdziałanie zmianom klimatu

Przykład 1: 1 dnia w Chinach 2 miliony osób sadzą drzewa

Przykład 2: na całej Ziemi wszyscy zaczynają używać wyłącznie papieru w recyklingu

Przykład 3: W ciągu tygodnia do sieci zostaje włączonych 2000 nowych elektrowni wiatrowych

Krótką historia panowania nad pogodą (... klimatem?)

- Wywoływanie deszczu – tańce plemienne, „zaklinacze deszczu” na Dzikim Zachodzie
- 1841 – „Filozofia burz” – amerykański meteorolog, James Pollard Espy – pomysł na wywoływanie deszczu w okresie suszy poprzez ogromne pożary
- 1932 – ZSRR – Leningradzki Instytut Deszczu
- 1946 – USA – General Electric Instytut Badawczy
- **1967-1972 – wojskowe użycie geoinżynierii**

Krótką historia panowania nad pogodą (... klimatem?)

- **2006** – plan „wojny w stratosferze” – a gdyby wystrzelić milion ton aerozoli siarczanowych w atmosferę nad Arktyką? Pomysł Lowell Wood’a – cel: przyrost lodu morskiego
- **2008** – Olimpiada w Pekinie– opóźniono burzę, aby zapewnić piękną pogodę w trakcie ceremonii otwarcia
- **2011** – IPCC – raport na temat geoinżynierii - IPCC
- **2013** – CIA+NASA – 630 000 \$ - badanie wykonalności technik geoinżynieryjnych; pierwszy program NAS („akademia nauk”) finansowany przez wywiad!

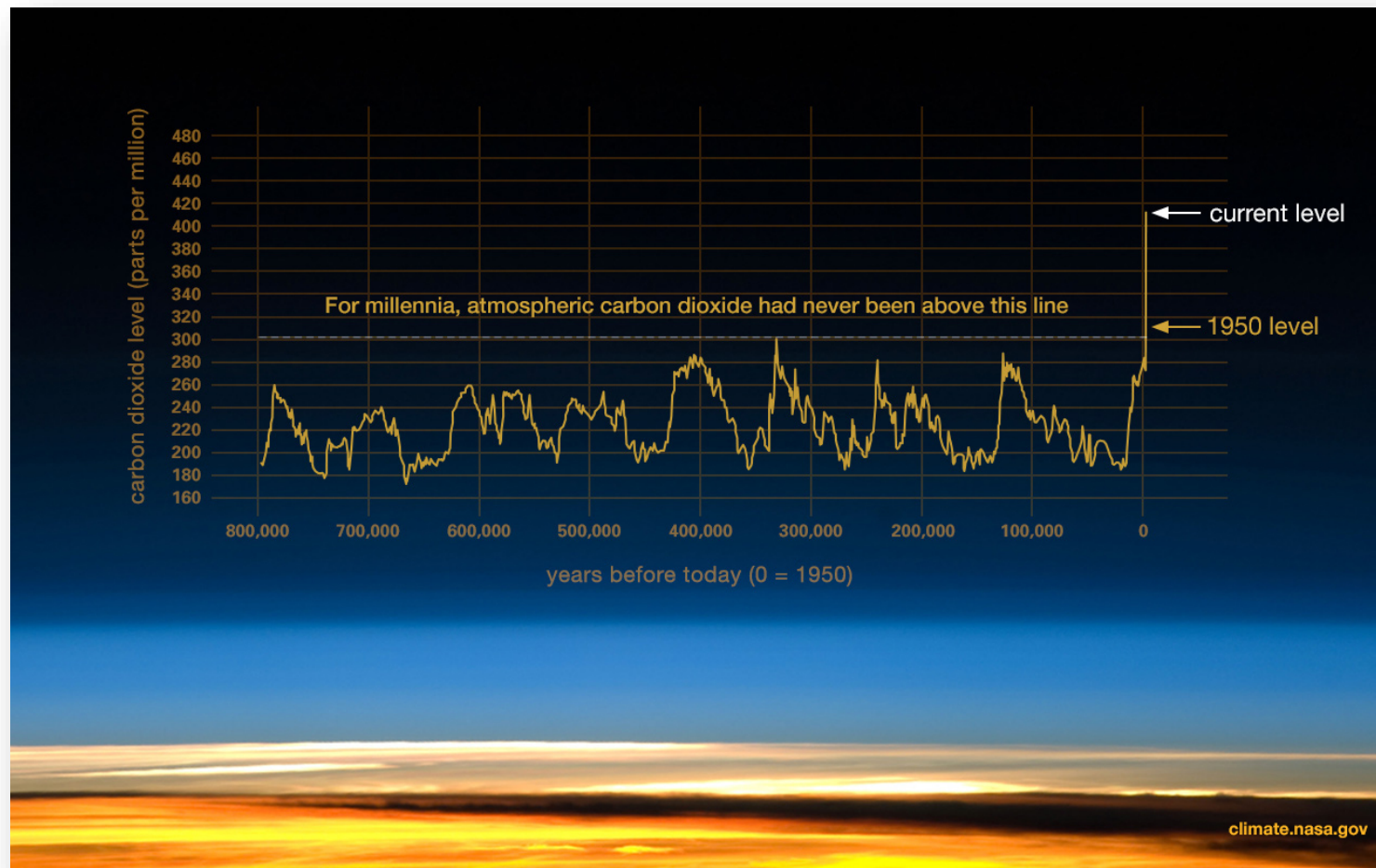
Co na to prawo?

Konwencja o zakazie używania technicznych środków oddziaływania na środowisko (Konwencja o zakazie używania technicznych środków oddziaływania na środowisko w celach militarnych lub jakichkolwiek innych celach wrogich, *Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques* w skrócie *Environmental Modification Convention* (**ENMOD**)) – umowa międzynarodowa z 10 grudnia 1976 przyjęta jako Rezolucja Zgromadzenia Ogólnego ONZ 31/72, otwarta do podpisania w Genewie 18 maja 1977 r.

- ratyfikowana przez Polskę 4 maja 1978 r.
- jej stronami jest obecnie **77 państw (USA-nie)**

Postanowienia konwencji były łamane od samego początku

Zmiany klimatu w pigułce



Jak to działa?

2 główne podejścia

- **USUWANIE DWUTLENKU WĘGLA** Carbon dioxide removal (CDR)
- **OGRANICZANIE PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO** Solar radiation management (SRM).

Solar Radiation Management



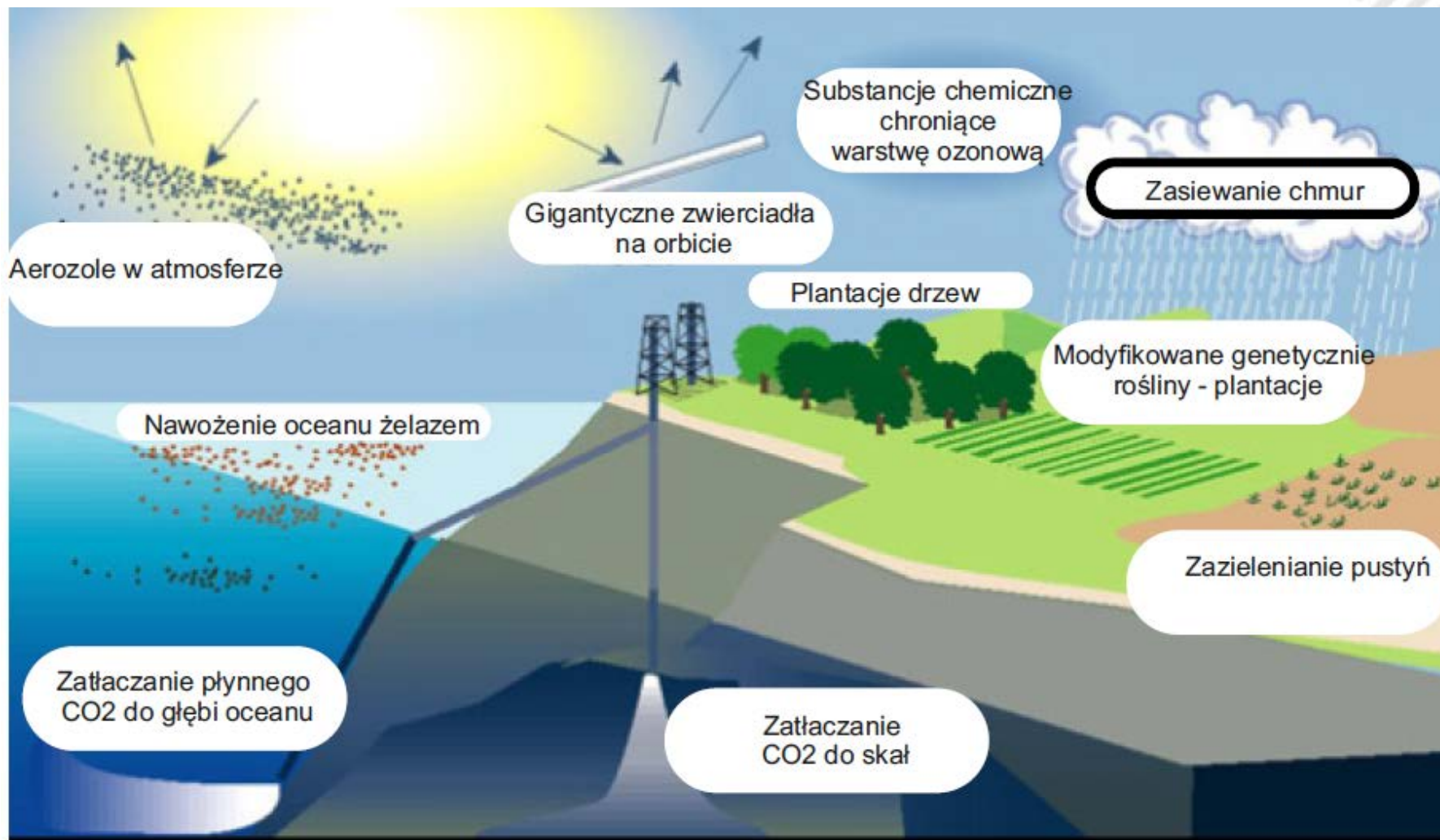
Carbon Dioxide Removal



Earth Radiation Management



Metody geoinżynieryjne



Ile to kosztuje?

- Dużo-mało?

„wyszczepianie do atmosfery związków siarki mogłoby kosztować TYLKO 2 miliardy dolarów rocznie”



GEOENGINEERING A HALF-CENTURY OF EARTH SYSTEM EXPERIMENTATION

- Geoenengineering hotspots
- Countries with some reported geoenengineering activity
- Countries with no reported geoenengineering activity

Geoenengineering is the large-scale, intentional manipulation of earth or climate systems. While geoenengineering has century-old roots in weather modification efforts, its modern history began in Asia in the 1960s. A UN treaty (Environmental Modification Convention, ENMOD) outlawed the hostile use of weather control in 1978 and the UN Convention on Biological Diversity (CBD) adopted a *de facto* geoenengineering moratorium in 2010.

While there is no complete record of the scores of weather and climate control projects in dozens of countries, this map attempts to describe the expanding scope of research and experimentation. Geoenengineering is not science fiction. Some governments and scientists see it as a means to delay or dilute climate change. Others see it as scientific hubris and a political attempt to commandeer the planetary thermostat.

NOTE: The information on this map is not exhaustive. No doubt, significant experiments have gone unreported and other reported trials have been abandoned. Importantly, many weather control projects and soil initiatives using biochar are intended to be local and are not intended to manipulate the climate. However, even local techniques can be scaled up to have ecological and economic implications for other countries.

Landmark Events in Geoenengineering

1. India: Project GROMET (1967), weather modification (renaming) by USA to end Bihar famine
2. Vietnam: USA's Operation Popeye, weather warfare to drown out transport and crops (1967-1972)
3. New York, USA: UN ENMOD outlaws weather warfare (1978)
4. Southern Sea: One year after Earth Summit, USA conducts first major ocean fertilization test (1993)
5. California, USA: NASA and Carnegie Institute convene expert workshop on SRM (2006)
6. London, UK: Virgin Earth Challenge announced for GHG removal (2007)
7. Pacific Ocean near Galapagos Islands: US company Planktos's plans to seed thousands of kilometers of ocean with iron halted by Ecuador (2007)
8. Sulu Sea: Philippines stops Australian company's urea dump for ocean fertilization (2008)
9. Bonn, Germany: CBD adopts moratorium on ocean fertilization (2008)
10. Washington (Seattle), USA: Bill Gates funds geoenengineering research (2008-2012)
11. Scotia Sea: Lohafex experiment ignores CBD moratorium on ocean fertilization (2009)
12. London, UK: Royal Society publishes major report on geoenengineering, calls for more research (2009)
13. Washington, DC / London, UK: Joint Congressional / Parliamentary hearings on geoenengineering (2010)
14. London, UK: London Convention / Protocol prohibits commercial ocean fertilization research (2010)
15. Asilomar, USA: 175 scientists gather to elaborate "voluntary guidelines" on geoenengineering research (2010)
16. Nagoya, Japan: CBD adopts geoenengineering moratorium (2010)
17. Lima, Peru: IPCC convenes expert meeting on geoenengineering (2011)
18. Brussels, Belgium: European Parliament passes resolution on Rio+20, which includes opposing geoenengineering (2011)
19. Ecuador: Pujili communities sue the country's biggest frozen vegetable exporter for cloud seeding to diminish rainfall (2011)
20. Southrop, UK: SRM experiment ("SPICE") put on hold (2011)
21. Berlin, Germany: Government and Parliament studies on geoenengineering (2011-2012)

Weather Modification

Increased Precipitation: Seeding clouds with particles of silver iodide or other chemicals to provoke rain or snow

Reduced Precipitation: Water and cloud-based methods to reduce rainfall, diffuse hail storms and hurricanes and to disperse fog

Land-based Techniques

Air Capture: (a.k.a. artificial trees or carbon sucking machines) to remove atmospheric CO₂

Biochar: Agricultural "waste," crops and/or trees burned in low-oxygen conditions to make charcoal that is then added to soils with the aim of sequestering carbon

Carbon Capture and Storage (CCS): Processes to capture carbon emissions at source for burial (excluded from CBD provisional definition of geoenengineering)

Bio-Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS): CCS applied to power plants burning biomass, theoretically resulting in net carbon removal from the atmosphere

Solar Radiation Management (SRM)

Stratospheric aerosols (a.k.a. artificial volcanoes), cloud whitening, whitening the surface of the Earth or "space mirrors," with the aim of diverting sunlight

Water-based Techniques

Ocean Fertilization: Stimulating the production of carbon-eating algae by adding iron or nitrogen to seawater, or other techniques that modify ocean chemistry to enhance CO₂ sequestration

Algae Schemes: Industrial cultivation of algae to consume CO₂ and, theoretically, to generate new biofuels

Other

Major research and policy institutes focusing on geoenengineering (without testing)

Noteworthy initiatives that do not fit into any of the above categories (e.g., enhanced weathering)

For more information: WWW.ETCGROUP.ORG/GEOENGINEERINGMAP

Naśladowanie natury?

- Mt Pinatubo



- Alczyki



Kto za, kto przeciw?

- IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change)



- Bill Gates, Richard Branson, Murray Edwards, Niklas Zennström

- 
- David Keit (Harvard University), Ken Caldeira (Stanford)



THE
KEITH GROUP

- (Geo)polityczne
- Techniczne
- Środowiskowe
- Finansowe
- Zdrowotne



Polecane źródła

- OWNING THE WEATHER – film dokumentalny produkcji Discovery Channel, dostępny na kanale youtube (45 minut):

<https://youtu.be/4S-yVYNPiFU>

- „ZA” – FUTURISM
- <https://futurism.com/climate-change-geoengineering>

STANOWISKO „pośrednie” **Carnegie Climate Geoengineering Governance Initiative**

<https://www.c2g2.net/>

- „PRZECIW” – **Geoengineering Monitor**

<http://www.geoengineeringmonitor.org>

„Geoinżynieria a zmiany klimatu”

Materiały dla nauczyciela
zawierające wskazówki metodyczne, scenariusz lekcji
oraz klucz odpowiedzi do kart pracy



This work is licensed under a
[Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Pakiet „Geoinżynieria a zmiany klimatu”

Pakiet „Geoinżynieria a zmiany klimatu” powstał w ramach projektu „Debaty oxfordzkie dla edukacji młodzieży w zakresie przedmiotów matematyczno-przyrodniczych”. Umożliwia on realizację podstawowych celów projektu, jakimi są m.in. zwiększenie umiejętności w zakresie rozumowania w naukach przyrodniczych, zwiększenie zainteresowania uczniów tymi naukami, co w przyszłości może zaowocować podjęciem przez nich kariery naukowej.

Przygotowując uczniów do debaty należy także pamiętać o rozwoju takich umiejętności jak: umiejętność komunikowania się w języku ojczystym, argumentacji i wystąpień publicznych. Uczniowie powinni doskonalić umiejętności skutecznego przekonywania, poprawnej argumentacji, poprawnego rozumowania i mówienia, kompozycji tekstów, używania środków retorycznych w wypowiedziach ustnych, mówienia zgodnego z regułami kultury języka, interpretacji tekstów, publicznego wygłaszania i prezentacji tekstów, dyskusji i negocjacji.

Aby osiągnąć powyższe cele, realizację pakietów tematycznych powinny poprzedzić zajęcia przygotowujące uczniów do debat. Można je zrealizować w porozumieniu z nauczycielami innych przedmiotów oraz z wychowawcą klasy. Kształcenie podstawowych umiejętności komunikacyjnych można wpisać do planu pracy wychowawcy klasy, a przygotowane scenariusze lekcji wykorzystać na godzinach wychowawczych. Materiały do pracy z uczniami znajdują się w następujących dokumentach:

1. **Praktyczne ćwiczenia „na rozgrzewkę”** – Załącznik nr 2 do [Krajowych ram metodycznych wdrażania projektu ODYSSEY w praktyce szkolnej – poradnik dla nauczyciela](#), str. 36-37;

W dokumencie tym znajdują się ćwiczenia: aktywnego słuchania, wystąpień publicznych oraz umiejętności debatowania.

2. **Plany lekcji poświęcone ogólnemu rozwijaniu umiejętności debatowania** – Załącznik nr 2 do [Krajowych ram metodycznych wdrażania projektu ODYSSEY w praktyce szkolnej – poradnik dla nauczyciela](#), str. 37-53.

Materiał ten składa się z 7 scenariuszy lekcji przygotowanych przez dr Foteini Englezou, prezes Greckiego Instytutu Badań Retorycznych i Komunikacyjnych. Scenariusze są wskazówką do pracy. Nie ma konieczności realizowania wszystkich lekcji. Nauczyciel może sam zdecydować które scenariusze (lub ich wybrane fragmenty) są najbardziej przydatne do pracy z konkretną grupą uczniów. W dokumencie zaprezentowano następujące scenariusze:

1. Umiejętności komunikacyjne
 2. Mów o faktach naukowych, nie o własnych opiniach
 3. Stwórz przekonujący i merytoryczny argument
 4. Poszukiwanie dowodów
 5. Rozwijanie umiejętności językowych uczniów
 6. Kontrargumentacja i zbijanie
 7. Błędy logiczne
3. [Poradnik metodyczny dla nauczycieli: „Debaty ODYSSEY w nauczaniu przedmiotów ścisłych”](#).
Ostatnim etapem przygotowania do prowadzenia debat w oparciu o konkretne pakiety jest zapoznanie uczniów z zasadami debatowania, szczegółowo opisanymi w powyższym dokumencie.

Geoinżynieria a zmiany klimatu

Pakiet „Geoinżynieria a zmiany klimatu” składa się z następujących elementów:

- Prezentacja multimedialna;
- Film – nagranie na podstawie prezentacji;
- Pakiet edukacyjny „Geoinżynieria a zmiany klimatu” – materiały dla ucznia;
- Karty pracy (jednakowe dla wszystkich pakietów);
- „Geoinżynieria a zmiany klimatu” – materiały dla nauczyciela (zawierające klucz odpowiedzi).

Zaleca się realizację pakietu na minimum trzech jednostkach lekcyjnych.

Obserwowane współcześnie zmiany klimatu przejawiające się przede wszystkim globalnym ociepleniem, ale także wzrostem intensywności zjawisk atmosferycznych spowodowały, że ludzie zaczęli dostrzegać konieczność ochrony przyrody i wdrażania takich sposobów rozwoju gospodarczego, które pozwoliłyby pozostawić kolejnym pokoleniom środowisko przyrodnicze w stanie co najmniej takim, jakim je zastaliśmy. Niektórzy naukowcy posuwają się w tych planach dalej, wykazując, że człowiek jest w stanie wpływać na atmosferę i zjawiska w niej zachodzące, aby przeciwdziałać zmianom klimatu, albo modyfikować go na własne potrzeby.

Przedstawiony pakiet „Geoinżynieria a zmiany klimatu” zawiera przede wszystkim opis działań i możliwości w zakresie wpływu geoinżynierii na klimat. Umożliwia także uczniom sformułowanie argumentów popierających te działania, jak również wykazujących niebezpieczeństwa wynikające z interwencji człowieka.

Deбата nad tezą, że „Należy inwestować w techniki geoinżynieryjne, aby przeciwdziałać zmianom klimatu” może odbywać się zarówno podczas zajęć dodatkowych z zakresu przedmiotów przyrodniczych, w szczególności związanych z ochroną środowiska przyrodniczego, jak również na lekcjach geografii. Poziom materiałów dostosowany jest do uczniów szkół ponadpodstawowych.

Przygotowanie i przeprowadzenie debaty umożliwia realizację poniższych punktów podstawy programowej nauczania geografii¹:

Szkoły ponadpodstawowe – zakres podstawowy

I.1. przedstawia możliwości wykorzystywania różnych źródeł informacji geograficznej i ocenia ich przydatność;

I.4. podaje przykłady informacji pozyskiwanych na podstawie obserwacji i pomiarów prowadzonych w terenie;

I.5. interpretuje dane liczbowe przedstawione w postaci tabel i wykresów;

III.1. przedstawia czynniki klimatotwórcze decydujące o zróżnicowaniu klimatu na Ziemi;

III.7. przedstawia piękno, potęgę oraz dynamikę zmian zachodzących w atmosferze, wyjaśnia przyczyny tych zmian, ukazuje ich zagrożenia i skutki w formie prezentacji fotograficzno-opisowej.

XIII.8. identyfikuje konflikty interesów w relacjach człowiek – środowisko i rozumie potrzebę ich rozwiązywania zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju oraz podaje własne propozycje sposobów rozwiązania takich konfliktów;

XIII.10. przyjmuje postawę współodpowiedzialności za stan środowiska przyrodniczego Ziemi.

XIV.10. dokonuje analizy stanu środowiska w Polsce i własnym regionie oraz przedstawia wnioski z niej wynikające, korzystając z danych statystycznych i aplikacji GIS;

XIV.11. uzasadnia konieczność działań na rzecz ochrony środowiska przyrodniczego w Polsce, określa możliwości własnego zaangażowania w tym zakresie oraz przedstawia różne formy ochrony przyrody w Polsce.

¹ dotyczy podstawy programowej obowiązującej w roku 2020

Szkoły ponadpodstawowe – zakres rozszerzony

I.7. rozumie istotę identyfikowania zależności przyczynowo-skutkowych, funkcjonalnych i czasowych między elementami przestrzeni geograficznej, argumentowania, wnioskowania i formułowania twierdzeń o prawidłowościach;

III.1. wykazuje związek między budową atmosfery a zjawiskami i procesami meteorologicznymi;

III.7. dostrzega prawidłowości w rozmieszczeniu zjawisk i procesów atmosferycznych;

XVIII.1. wyjaśnia powstawanie geozagrożeń meteorologicznych i klimatycznych (tropikalne cyklony, trąby powietrzne, pustynnienie, zmiany klimatu);

XVIII.8. wskazuje na mapach obszary współcześnie zlodzone i ocenia wpływ zmian klimatycznych na zasięg pokrywy lodowej;

XIX.3. prezentuje przykłady sposobów pokonywania przyrodniczych ograniczeń działalności gospodarczej człowieka i ocenia ich zgodność z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Lekcja 1. Czym są techniki geoinżynierijne i jaki jest ich wpływ na klimat?

Techniki geoinżynierijne i ich wpływ na klimat mogą być dla uczniów tematem nowym. W nauczaniu geografii zwraca się głównie uwagę na czynniki przyrodnicze czynniki klimatotwórcze, zaś wpływ działalności człowieka na klimat ogranicza się na ogół do wzrostu efektu cieplarnianego i zanieczyszczenia atmosfery. Tymczasem istnieje szereg technik geoinżynierijnych, które mogą wpływać na klimat w taki sposób, aby przeciwdziałać niekorzystnym zmianom klimatu.

Zaleca się, aby uczniowie otrzymali materiały dla ucznia na kilka dni przed lekcją. Umożliwi im to wstępne zapoznanie się z tematem lekcji i ułatwi aktywny udział w lekcji. Do przeprowadzenia lekcji można wykorzystać prezentację multimedialną lub film nagrany przez autora pakietu. Dobrym pomysłem na przeprowadzenie lekcji jest także omówienie przez uczniów wybranych (przypisanych uczniom wcześniej) technik geoinżynierijnych.

Lekcja 2. „Należy inwestować w techniki geoinżynierijne, aby przeciwdziałać zmianom klimatu” – formułujemy argumenty za i przeciw postawionej tezie.

Celem drugiej lekcji jest sformułowanie jak największej liczby argumentów (zarówno za, jak i przeciw tezie), które zostaną wykorzystane przez uczniów podczas debaty, która będzie zwieńczeniem pracy z pakietem.

Scenariusz lekcji

1. Czynności organizacyjne, sprawdzenie listy obecności, zapoznanie z tematem i celami lekcji [5 minut].
2. Przygotowanie argumentów [25 minut]

Nauczyciel dzieli klasę na zespoły dwuosobowe. Każdy zespół otrzymuje 16 kart pytań dostępnych w pakiecie edukacyjnym (materiały dla ucznia, str. 29-31) oraz 2 egzemplarze karty pracy nr 1 (po jednym dla każdego ucznia). Uczniowie na podstawie pytań formułują argumenty za przedstawioną tezą, przeciw tezie oraz takie, które są dyskusyjne i mogą być użyte w dyskusji przez obie strony. Uczniowie pracują wspólnie, ale każdy uczeń indywidualnie wypełnia swoją kartę pracy. Przykładowe argumenty do karty pracy nr 1 znajdują się w kluczu odpowiedzi.

3. Podział uczniów na drużyny „za” i „przeciw” [10 minut].

Podział na drużyny może się odbywać na kilka sposobów. Każdy z nich ma swoje zalety i wady.



- Uczniowie deklarują się, które argumenty są bliższe ich przekonaniom. Nauczyciel dzieli klasę na zespoły (o zbliżonej liczbie uczniów każdy) w sposób najbardziej zgodny z przekonaniami uczniów.
- Drugi sposób zakłada podział podobny jak wyżej, z tą różnicą, że ostatecznie drużyna składająca się ze zwolenników danej tezy staje się drużyną „przeciw”, zaś przeciwnicy tezy stają się grupą, która będzie przygotowywała argumenty „za”. Zwolennicy takiego podziału zakładają, że w większym stopniu uczy on uczestników debaty posługiwania się argumentami popartymi faktami, a w mniejszym stopniu bazuje na emocjach.
- Podział na drużyny można również zrobić w sposób losowy.
- Podziału może również dokonać nauczyciel w sposób subiektywny, dbając o to, aby w każdej drużynie znaleźli się zarówno liderzy, jak i uczniowie wymagający większej pomocy, tak aby obie drużyny miały zbliżony potencjał. W celu zaoszczędzenia czasu na podział, nauczyciel może go dokonać już na początku lekcji, np. rozdając uczniom karty pracy nr 1 wydrukowane na kartkach różnego koloru, lub oznaczonych w jakiś inny sposób.

Nauczyciel rozdaje uczniom karty pracy nr 2 (po jednej karcie dla każdego ucznia) i wyjaśnia, na czym polega zadanie, które uczniowie wykonają w domu. Przykładowe rozwiązanie karty dla jednego argumentu znajduje się w kluczu odpowiedzi.

Uczniowie w każdej drużynie czytają przygotowane argumenty zgodne z przydziałem do danej grupy. Następnie dzielą się między sobą, w taki sposób, aby każdy uczeń otrzymał 1 argument, który opracuje (jako pracę domową) zgodnie z wytycznymi w karcie pracy nr 2.

Każda drużyna wyznacza też spośród siebie 3 osoby, które będą prezentowały argumenty przygotowane przez całą grupę. Uczniowie ustalają kolejność wystąpień. Podczas debaty pozostali członkowie drużyn, którzy nie są zaangażowani w bezpośrednie prowadzenie debaty, wypełniają kartę pracy nr 3.

4. Podsumowanie lekcji, ocena pracy uczniów [5 minut].

Lekcja 3. Debata

Podczas ostatniej lekcji drużyny prowadzą debatę według wytycznych zawartych w „Poradniku metodycznym...” Długość trwania debaty to 45 minut. W trakcie trwania debaty nauczyciel nie komentuje argumentów ani nie wskazuje na bieżąco błędów popełnianych przez uczniów.

Debata w formie ćwiczeniowej powinna mieć następującą strukturę:

1. Rozpoczęcie debaty przez moderatora albo przewodniczącego debaty [3 minuty].
2. Wstępne głosowanie przez publiczność [2 minuty].
3. Pierwszy/a debatan(t)ka drużyny badawczej A: mowa argumentacyjna [4 minuty].
4. Pierwszy/a debatan(t)ka drużyny badawczej B: mowa argumentacyjna [4 minuty].
5. Otwarta runda pytań pomiędzy pierwszymi debatantami obu drużyn [3 minuty].
6. Drugi/a debatan(t)ka drużyny A: mowa kontrargumentacyjna [4 minuty].
7. Drugi/a debatan(t)ka drużyny B: mowa kontrargumentacyjna [4 minuty].
8. Otwarta runda pytań pomiędzy drugimi debatantami obu drużyn [3 minuty].
9. Czas przygotowawczy do Podsumowania Kontrargumentacji (P.K.) oraz Końcowa Otwarta Runda Pytań (K.O.R.P.) [2 minuty].
10. Trzeci/a debatan(t)ka drużyny A: Podsumowanie Kontrargumentacji [2 minuty].
11. Trzeci/a debatan(t)ka drużyny B: Podsumowanie Kontrargumentacji [2 minuty].
12. Końcowa Otwarta Runda Pytań (K.O.R.P.) [3 minuty].
13. Trzeci/a debatan(t)ka drużyny A: Kontrargumentacyjny wniosek końcowy [2 minuty].
14. Trzeci/a debatan(t)ka drużyny B: Kontrargumentacyjny wniosek końcowy [2 minuty].



Erasmus+



15. Ostateczne głosowanie przez publiczność/ zwięzła ocena pisemna [3 minuty].
16. Ogłoszenie wyników przez moderatora/ moderatorkę [2 minuty].

Jeżeli debata będzie prowadzona podczas zajęć pozalekcyjnych, wówczas zaleca się przeznaczenie na tę część np. 90 minut. Pozwoli to na przygotowanie sali do debaty, przypomnienie zasad, przeprowadzenie debaty oraz omówienie jej przebiegu i ocenę pracy uczniów.

W warunkach zajęć lekcyjnych idealnie byłoby przeznaczyć na debatę dwie połączone jednostki lekcyjne. Biorąc pod uwagę warunki szkolne, trudności organizacyjne i brak możliwości przeznaczania zbyt wielu lekcji na treści rozszerzające podstawę programową, debatę można przeprowadzić na jednej lekcji, przy zachowaniu dużej dyscypliny czasowej. W tym wypadku zaleca się, aby podczas kolejnej lekcji z klasą poświęcić jeszcze dodatkowe 10 minut na omówienie debaty, wskazanie mocnych stron oraz błędów popełnianych przez uczestników debaty.

Zgodnie z założeniami w debacie uczestniczy w sposób aktywny 6 uczniów (po 3 z każdej drużyny). Nauczyciel może także wyznaczyć spośród uczniów moderatora oraz osobę, która będzie przestrzegała dyscypliny czasu. Pozostali uczniowie otrzymają kartę pracy nr 3. Ich zadaniem będzie uważne słuchanie debaty oraz odnotowanie, mocnych stron drużyny przeciwnej oraz obszarów wymagających poprawy, a także uzasadnienie wyboru. Wypełniona karta pracy nr 3 może być podstawą wystawienia oceny za aktywność na lekcji uczniów, którzy nie brali bezpośredniego udziału w debacie, ale uczestniczyli w jej przygotowaniu i byli aktywnymi obserwatorami jej przebiegu.

Karta pracy nr 1 – klucz odpowiedzi

ZA	DYSKUSYJNE	PRZECIW
KARTA PYTAŃ 2 <i>Jak szybko przynosi efekty ograniczenie emisji gazów cieplarnianych?</i> Nie jest to na pewno efekt natychmiastowy. Jeśli przyjmiemy ograniczenie globalnego ocieplenia do 1,5 stopnia jako nasz cel, globalna emisja gazów cieplarnianych musi spaść o 55% do 2030 r., według ONZ. Obecnie całkowita globalna emisja oscyluje wokół 53,5 gigaton ekwiwalentu dwutlenku węgla (CDE). Różnica między tym, gdzie jesteśmy teraz, a tym, gdzie powinniśmy być do 2030 r., wynosi zatem około 29 gigaton tzw. ekwiwalentu dwutlenku węgla (CDE). A efekt to wciąż wzrost – tylko wolniejszy, ograniczony do 1,5 stopnia Celsjusza, a nie zahamowanie wzrostu temperatury czy wręcz odwrócenie procesu. Wysiłek jest zatem ogromny, a jak szybko możemy liczyć na efekty? Wg jednego z eksperymentów po całkowitym „wyłączeniu” emisji, po stu latach chłodzenia się planeta ociepliła się o 0,37 stopnia Celsjusza, w ciągu kolejnych 400 lat, gdy ocean wchłaniał coraz mniej ciepła. Podczas gdy wynikający z tego skok temperatury wydaje się niewielki, należy pamiętać, że Ziemia na dziś ociepliła się o 0,85 stopnia Celsjusza w stosunku do czasów przedindustrialnych. KARTA PYTAŃ 7 <i>Czy możliwe jest natychmiastowe powstrzymanie wszystkich emisji gazów cieplarnianych?</i> Bardzo trudno o takie globalne ustalenia, a jeszcze trudniejsze jest ich egzekwowanie. W 2015 roku w	KARTA PYTAŃ 5 <i>Czy geoinżynieria ogranicza wszystkie zidentyfikowane negatywne skutki zmian klimatu?</i> To zależy od techniki, i nie ma jednej idealnej i uniwersalnej. Techniki typu SRM nie ograniczają np. zakwaszenia oceanu, które jest konsekwencją zmian klimatycznych i poważnie zagraża łańcuchom pokarmowym. Z drugiej strony, techniki wychwytu CO₂ mogą przyczynić się również do ograniczenia i tego efektu. Kontynuowanie spalania paliw kopalnych, niejako „legitymizowane” przez techniki geoinżynierijne to także zanieczyszczenie powietrza i wody, zużycie wody, naruszanie praw rdzennych społeczności, niestabilność polityczna, przemoc i inne. Tu geoinżynieria nie daje rozwiązań. KARTA PYTAŃ 10 <i>Jak metody geoinżynierijne wpływają potencjalnie na opady deszczu? Czy wszystkie w taki sam sposób?</i> Wpływ metod geoinżynierijnych na opady jest różnorodny: 1) ☹️ Ograniczenie opadów deszczu, w szczególności w regionach tropikalnych Cząstki siarczany „wstrzykiwane” do atmosfery nie tylko odbijają światło słoneczne, obniżają temperaturę, ale także pochłaniają ciepło powstające z powierzchni Ziemi. Zmniejsza to różnicę temperatur między warstwami atmosfery, która jest mechanizmem napędzającym tworzenie się chmur i	KARTA PYTAŃ 1 <i>Jak szybko można powstrzymać efekty wywołane metodami geoinżynierijnymi?</i> W przypadku zainicjowania np. zasiewu chmur, użyczenia oceanu – nie jest możliwe nagłe przerwanie procesu w przypadku nieprzewidzianych okoliczności. Nie istnieje „wyłącznik” – tracimy kontrolę nad procesem. KARTA PYTAŃ 3 <i>Jakie konsekwencje może mieć ograniczenie dopływu promieniowania słonecznego dla OZE?</i> Metody SRM z założenia zmniejszają ilość promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi, powszechnie zastosowanie takich technik ograniczyłoby potencjał jednej z największych alternatyw wytwarzania energii elektrycznej z paliw kopalnych: energii słonecznej (fotowoltaika). KARTA PYTAŃ 4 <i>Jak inwestowanie w geoinżynierię wpływa na poszukiwanie sposobów ograniczenia emisji?</i> Przejsie na geoinżynierię która obiecuje szybkie efekty, grozi opóźnieniem wdrożenia przejścia od paliw kopalnych i może ograniczyć finansowanie i inwestycje w inne rozwiązania klimatyczne. Niektóre propozycje geoinżynierii wymagają ogromnych ilości energii, co oznacza mniej energii przyjaznej dla klimatu na inne potrzeby.

tzw. Porozumieniu paryskim kraje uzgodniły cel „ograniczenia wzrostu średniej temperatury powierzchni Ziemi na poziomie znacznie poniżej 2 stopni Celsjusza ponad poziom przedindustrialny i kontynuowanie wysiłków na rzecz ograniczenia wzrostu temperatury do 1,5 stopnia.”. Kraje przedstawiły też swoje dobrowolne plany redukcji emisji, określane jako INDC (Intended Nationally Determined Contributions – Planowane Wkłady Zamierzone przez Kraje). Tymczasem po trzech latach utrzymywania stałej globalnej emisji gazów cieplarnianych wzrosła o 1,1% w 2018 roku ... Brak jakiegokolwiek emisji w praktyce oznacza natychmiastowe zaprzestanie produkcji przemysłowej lub przejście w 100% na odnawialne źródła energii i transport bezemisyjny.

KARTA PYTAŃ 8

Co się stanie, jeśli wszystkie antropogeniczne emisje gazów cieplarnianych do atmosfery zostaną nagle zatrzymane? Czy to powstrzyma globalne ocieplenie?

Prostą odpowiedzią jest: nie, nie powstrzyma. Uwolniony dwutlenek węgla pozostanie w atmosferze przez tysiące lat. Dopiero po wielu tysiącach powróci do obiegu, np. do skał, na przykład poprzez utworzenie węglanu wapnia (wapienia) - gdy muszle organizmów morskich osiadą na dnie oceanu. Ale w perspektywie naszej cywilizacji, raz uwolniony dwutlenek węgla jest w naszym środowisku zasadniczo na zawsze. Nie znika, chyba że my sami go usuniemy. Jeśli przestaniemy emitować gazy cieplarniane od jutra, nie oznacza to końca historii globalnego ocieplenia. Temperatura nadal będzie rosła, a prawdopodobnie po około 40 latach klimat ustabilizuje się w temperaturze wyższej niż „normalna” dla poprzednich pokoleń

opady deszczu.

- 2) ☹ Przedłużenie okresów monsunowych i wzrost ilości zjawisk ekstremalnych

Z kolei ograniczenie opadów deszczu w Arktyce może mieć pozytywne efekty dla zachowania lodowców (deszcz w uproszczeniu 'dziurawi' powierzchnię pokrytą lodem). ☺

KARTA PYTAŃ 11

Czy techniki geoinżynierijne są drogie czy tanie?

Technologia związana z dostarczaniem siarczanów do atmosfery zastosowana na skalę globalną mogłaby kosztować 2 do 2,5 miliarda dolarów rocznie.” Około 500 miliardów dolarów rocznie jest inwestowanych w zielone technologie. Z drugiej strony, adaptacja do skutków zmian klimatu takich jak podniesienie poziomu oceanów, to koszty wielokrotnie większe, praktycznie niemożliwe do dokładnego określenia.

KARTA PYTAŃ 14

Czy metody geoinżynierijne, przetestowane w walce ze zmianami klimatu, mogą posłużyć również w innych wyzwaniach ludzkości lub być wykorzystywane w inny sposób?

Tak, zarówno dla dobra ludzkości i przeciwko niej. Techniki przetestowane i udoskonalone w ramach geoinżynierii mogą posłużyć przy tzw. terraformacji – potencjalnym przystosowywaniu innych planet do odtworzenia warunków życia podobnego do ziemskiego. Nie wiemy, kiedy bardzo przyda nam się taka „zapasowa” planeta, np. w przypadku zagrożenia z kosmosu. Z drugiej strony, interwencje geoinżynierijne mogą mieć regionalnych zwycięzców i przegranych; do tego stopnia, że geoinżynieria z powodzeniem zmienia wzorce klimatyczne w przewidywalny sposób, będzie prawdopodobnie

KARTA PYTAŃ 6

Jakie są możliwe skutki uboczne metod geoinżynierii na środowisko i zdrowie oraz geopolitykę

Konsekwencje zastosowania technik geoinżynierijnych są trudne do przewidzenia, bo system klimatyczny jest skomplikowany, pełen zależności i wrażliwy na zmiany.

Przykładowe przewidywane konsekwencje:

- Wstrzykiwanie siarczanów do atmosfery może niszczyć warstwę ozonową, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu ilości promieniowania UV docierającego do Ziemi; to poważne zagrożenie dla zdrowia ludzi (rak skóry, uszkodzenia wzroku)
- Użyźnianie oceanów powoduje zakwity glonów, potencjalnie strefy beztlenowe – „przyduchy”, niszczycielskie dla życia
- Wiele propozycji geoinżynierijnych wymaga intensywnej eksploatacji ogromnych ilości ziemi (np. plantacje roślin o wysokim albedo). Te projekty nieuchronnie wyparłyby miliony ludzi i potencjalnie niszczyłyby całe ekosystemy

Negatywne efekty nie ominą rolnictwa. To kwestia nie tylko możliwych susz, ale też skutków iniekcji aerozoli. Naukowcy zebrali szereg zbiorów danych, aby poznać wpływ wulkanów na rolnictwo w przeszłości. W szczególności przyjrzyli się, ile aerozoli - drobnych cząstek zawieszonych w atmosferze, które mają efekt chłodzenia na klimat - erupcji Mount Pinatubo w 1991 r. I El Chichon w 1982 r. Wprowadzonych do atmosfery. Następnie porównali to z poziomem światła słonecznego docierającego do

KARTA PYTAŃ 9

Czy wszystkie metody geoinżynierii wymagają użycia chemikaliów?

Część metod CRM i SRM nie wymaga użycia potencjalnie szkodliwych substancji. Nawet zasiewanie chmur może wg niektórych technik odbywać się poprzez rozpylanie po prostu wody morskiej, a nie siarczanów. Z kolei zastosowanie wapieni zamiast siarczanów może mieć wręcz dodatkowe pozytywne efekty – np. zapobiec zniszczeniu warstwy ozonowej.

KARTA PYTAŃ 12

Czy można stosować niektóre metody po bardzo niskich kosztach?

Tak, wg niektórych naukowców, w niektórych przypadkach można wykorzystać istniejące rozwiązania techniczne, przykład: modyfikacja chmur pierzastych (Cirrus), które w przeciwieństwie do innych chmur nie odbijają większości promieniowania słonecznego z powrotem w przestrzeń kosmiczną, ale tworzą się na dużych wysokościach i niskich temperaturach, zatrzymują promieniowanie długofalowe i mają wpływ na klimat podobny do gazów cieplarnianych. Rozrzedzone chmury można uzyskać poprzez wstrzyknięcie tzw. jąder kondensacji (takich jak pył). Pył na takich wysokościach mogą rozpylać samoloty pasażerskie, przy okazji normalnych rejsów.

KARTA PYTAŃ 15

Czy istnieje naturalny proces częściowo „odtworzany” przez metody geoinżynierijne?

TAK, na lokalną/regionalną skalę – np.:

1) w Arktyce amoniak z ptasiego guana przyczynia się do procesu analogicznego do zasiewania chmur. 2)

wykorzystywana jako narzędzie wojny, bardzo niebezpieczne i niszczycielskie, tak jak już miało to miejsce w przeszłości (por. Operacja Popeye).

ziemi i plonami pszenicy, ryżu, soi i kukurydzy, upraw, które stanowią około połowy światowego spożycia kalorii – ukazało się, że wpływ jest negatywny. To poważne zagrożenie dla stabilności zapewnienia żywienia ludzkości.

KARTA PYTAŃ 13

Czy proces decyzyjny dotyczący używania technik geoinżynierijnych jest globalnie sprawiedliwy?

Istnieje duże ryzyko konfliktu między narodami, które podejmują własne jednostronne próby zmiany klimatu. To pole do rywalizacji mocarstw, kosztem państw słabiej rozwiniętych. Nie jest jasne, kto miałby podejmować decyzje o tak globalnych skutkach. W dniach 18-29 października 2010 w Nagoya (Japonia) odbyło się posiedzenie ONZ (Organizacja Narodów Zjednoczonych). Na konwencji zachowania bioróżnorodności (Convention on Biological Diversity, www.cbd.int) ogłoszono moratorium (tymczasowe wstrzymanie) na działania geoinżynierijne związane z klimatem. Warto pamiętać, że Stany Zjednoczone nie ratyfikowały konwencji ONZ. Skutki negatywne poniosą najprawdopodobniej państwa najbiedniejsze.

Erupcje wulkaniczne to źródło pyłów, zwiększających ilość promieniowania słonecznego odbijanego z powrotem do przestrzeni kosmicznej (por. karta historii dot. Erupcji Mt. Pinatubo).

KARTA PYTAŃ 16

Czy technologie, które dziś stosujemy powszechnie, zawsze były akceptowane i witane entuzjastycznie?

Nie. TECHNOFOBIA jest nadal powszechnym zjawiskiem, nowe technologie są źródłem obaw i teorii spiskowych. Nie jest to zjawisko nowe. Już Sokrates, który nigdy nie PISAŁ, powiedział, że wynalezienie pisma przyniesie zapomnienie i tylko pozory mądrości, ale nie prawdy czy prawdziwego sądu. Jego uczeń Platon, pisząc na zwoju, zgodził się, mówiąc, że pisanie było krokiem wstecz dla prawdy. Thomas J. Watson, prezes i dyrektor generalny IBM, powiedział w 1943 roku: „Istnieje rynek światowy dla około pięciu komputerów”.

Kiedy w 1825 r. Otwarto kolej Stockton-Darlington, ludzie obawiali się najgorszego: ciało ludzkie z pewnością nie zostało stworzone do podróżowania z niewiarygodną prędkością 50 km/h. Ludzie szczerze wierzyli, że ich ciała się roztopią. Podobne obawy budziła elektryczność, telegraf czy, bardziej współcześnie – WI-FI.

Karta pracy nr 2

Na podstawie udostępnionych przez nauczyciela materiałów przygotuj argumenty do dyskusji. Jedna grupa uczniów przygotowuje argumenty popierające tezę, druga natomiast argumenty przeciwstawne. Skorzystaj z zaproponowanego schematu.

Argument wraz z uzasadnieniem	Przewidywane kontrargumenty grupy przeciwnej	Odpowiedzi na kontrargumenty
Techniki przetestowane i udoskonalone w ramach geoinżynierii mogą mieć szerokie zastosowania dla dobra ludzkości. Mogą na przykład posłużyć przy tzw. terraformacji, czyli potencjalnym przystosowywaniu innych planet do odtworzenia warunków życia podobnego do ziemskiego. Nie wiemy, kiedy bardzo przyda nam się taka „zapasowa” planeta, np. w przypadku zagrożenia z kosmosu. Jeśli będziemy potrafili kształtować klimat i kontrolować jego zmiany, będziemy mogli zbudować cywilizację nawet w warunkach teoretycznie niesprzyjających.	Skoro geoinżynieria z powodzeniem zmienia wzorce klimatyczne w przewidywalny sposób, będzie prawdopodobnie wykorzystywana w pierwszej kolejności nie do budowania życia na innej planecie, ale jako narzędzie wojny, bardzo niebezpieczne i niszczycielskie, tak jak już miało to miejsce w przeszłości – na przykład w trakcie tzw. operacji POPEYE, kiedy Siły Powietrzne USA wykonały w czasie wojny w Wietnamie ponad 2600 lotów mających na celu ZASIEW CHMUR. Do atmosfery wypuszczano jodek srebra i jodek ołowiu, co doprowadziło do przedłużenia pory monsunowej, doprowadzając np. do osuwisk i rozmiękania dróg.	Obawy przed rozwojem każdej nowej technologii hamują postęp. TECHNOFOBIA jest nadal powszechnym zjawiskiem. Kiedy w 1825 r. otwarto kolej na trasie Stockton-Darlington, ludzie obawiali się najgorszego: ciało ludzkie z pewnością nie zostało stworzone do podróżowania z niewiarygodną prędkością 50 km/h. Ludzie szczerze wierzyli, że ich ciała się roztopią. Podobne obawy budziła elektryczność, telegraf czy, bardziej współcześnie – WI-FI. Nie może nas hamować obawa przed tym, że osiągnięcia nauki mogą być źle wykorzystywane. Geoinżynierii nie można traktować jako broni stworzonej przez człowieka – niektóre techniki geoinżynierijne, w tym właśnie wspomniane zasiewanie chmur, imitują naturalne procesy. Przykłady? W Arktyce amoniak z ptasiego guana naturalnie przyczynia się do procesu analogicznego do zasiewania chmur, lokalnie ochładzając klimat. Erupcje wulkaniczne to źródło pyłów, zwiększających ilość promieniowania słonecznego odbijanego z powrotem do przestrzeni kosmicznej, jak to miało miejsce np. po erupcji Mt. Pinatubo w 1992 roku. Potencjalnie złe intencje ludzi nie powinny dyskredytować naukowo uzasadnionych rozwiązań.

	Istnieją duże wątpliwości, czy techniki geoinżynierijne będą faktycznie używane dla dobra ludzkości, biorąc pod uwagę fakt, że proces decyzyjny dotyczący używania technik geoinżynierijnych nie jest globalnie sprawiedliwy i potencjalnie może stać się przyczyną konfliktów międzynarodowych. To pole do rywalizacji mocarstw, kosztem państw słabiej rozwiniętych. Nie jest jasne, kto miałby podejmować decyzje o tak globalnych skutkach. Skutki negatywne poniosą najprawdopodobniej państwa najbardziej zagrożone, np. w związku z problemami w produkcji żywności.	Obawy przed nierównością dostępu do technologii i narażenia na jej skutki zahamowałyby każdy postęp naukowy. WI-FI. Nie może nas hamować obawa przed tym, że osiągnięcia nauki mogą być źle wykorzystywane. Geoinżynieria może być dla państw najbardziej zagrożonych najlepszym rozwiązaniem, zmieniając wzorce opadów może ograniczyć susze, a tym samym zapobiegać problemom z dostępem do żywności czy wody pitnej. Państwa najbardziej zagrożone już teraz ponoszą koszty postępujących zmian klimatycznych, które są dla nich realnym zagrożeniem. Od lat podejmowane są próby globalnych ustaleń dotyczących ograniczeń emisji, a wysiłki nie przynoszą szybko oczekiwanych rezultatów. W 2015 roku w tzw. Porozumieniu paryskim kraje uzgodniły cel „ograniczenia wzrostu średniej temperatury powierzchni Ziemi na poziomie znacznie poniżej 2 stopni Celsjusza ponad poziom przedindustrialny i kontynuowanie wysiłków na rzecz ograniczenia wzrostu temperatury do 1,5 stopnia.”. Kraje przedstawiły też swoje dobrowolne plany redukcji emisji. Tymczasem po trzech latach utrzymywania stałej globalnej emisji gazów cieplarnianych wzrosła o 1,1% w 2018 roku.
--	--	--

Argument wraz z uzasadnieniem	Przewidywane kontrargumenty grupy przeciwnej	Odpowiedzi na kontrargumenty
Kiedy rządy, czy organizacje międzynarodowe podejmują decyzje o tym, jak zmierzyć się ze zmianami klimatu, muszą się liczyć z tym, że dysponują ograniczonymi zasobami, przede wszystkim finansowymi. Inwestycje w bardzo drogą geoinżynierię oznaczają ograniczenie inwestycji w inne, długofalowe i zrównoważone rozwiązania klimatyczne, takie jak Odnawialne Źródła Energii.	Nie wszystkie metody geoinżynieryjne wymagają ogromnych nakładów finansowych. W niektórych przypadkach można przecież wykorzystać istniejące rozwiązania techniczne. Przykładem może być modyfikacja chmur pierzastych (Cirrus), które w przeciwieństwie do innych chmur nie odbijają większości promieniowania słonecznego z powrotem w przestrzeń kosmiczną, ale tworzą się na dużych wysokościach i niskich temperaturach, zatrzymują promieniowanie długofalowe i mają wpływ na klimat podobny do gazów cieplarnianych. Rozrzedzone chmury można uzyskać poprzez wstrzyknięcie tzw. jąder kondensacji (takich jak pył). Pył na takich wysokościach mogą rozpylać samoloty pasażerskie, przy okazji normalnych rejsów.	Wybór „ograniczanie” czy „geoinżynieria” ma wymiar nie tylko finansowy. Kontynuowanie spalania paliw kopalnych jest niejako „legitymizowane” przez techniki geoinżynieryjne: skoro istnieje rozwiązanie techniczne, dlaczego ograniczać zużycie zasobów, produkcję, konsumpcję, zyski? Ma to skutki wykraczające poza same zmiany klimatu, to także zanieczyszczenie powietrza i wody, zużycie wody, naruszanie praw rdzennych społeczności, niestabilność polityczna, przemoc i inne. Tu geoinżynieria nie daje rozwiązań.
	Inwestycje w tzw. „zrównoważone” rozwiązania, takie jak OZE, nie mogą być porównywane z geoinżynierią jeśli chodzi o skuteczność przeciwdziałania zmianom klimatu. Metody geoinżynieryjne działają natychmiast. Nawet jeśli jutro zaprzestalibyśmy spalania paliw kopalnych, nie powstrzyma to globalnego ocieplenia. Uwolniony do tej pory dwutlenek węgla pozostanie w atmosferze przez tysiące lat. Dopiero po wielu tysiącach lat powróci do obiegu, np. do skał, na przykład poprzez utworzenie węglanu wapnia (wapienia) - gdy muszle organizmów morskich osiadną na dnie oceanu. Ale w perspektywie naszej cywilizacji, raz uwolniony dwutlenek węgla jest w naszym środowisku. Temperatura nadal będzie rosnąć, a prawdopodobnie dopiero po około 40 latach klimat ustabilizuje.	Większość metod, które aktualnie są rozważane na dużą skalę, takich jak zasiewanie chmur, wymaga jednak nakładów, i nie tylko finansowych. Niektóre metody geoinżynierii wymagają ogromnych ilości energii, co oznacza mniej energii przyjaznej dla klimatu na inne potrzeby. Mają też negatywne skutki dla środowiska, takie jak zmiana globalnych wzorców opadów, susze w obszarach subsaharyjskich Afryki, problemy z produkcją żywności. Szybkość działania metod geoinżynieryjnych nie jest ich niekwestionowaną zaletą, przeciwnie. W przypadku zainicjowania np. zasiewu chmur, użyczenia oceanu – nie jest możliwe nagłe przerwanie procesu w przypadku nieprzewidzianych okoliczności. Nie istnieje „wyłącznik” – tracimy kontrolę nad procesem, rozpoczyna się cały łańcuch reakcji o globalnej skali i nieprzewidywalnych skutkach, chociażby środowiskowych. Przykładem może być sytuacja, która miała miejsce w Zjednoczonych Emiratach Arabskich, gdzie każdego roku walcząc z suszą wojskowi wykonują około 160 misji, w trakcie których z samolotów na chmury są zrzucane ładunki z jodkiem srebra, w efekcie jednak jeden regionów dotknęła katastrofalna powódź: w ciągu zaledwie kilkudziesięciu godzin spadło tyle deszczu, ile zazwyczaj spada przez 2,5 roku, co doprowadziło m.in. o ogromnych osuwisk.

Karta pracy nr 1

Udostępniony przez nauczyciela pakiet edukacyjny zawiera zestaw pytań, które mają pomóc w przygotowaniu argumentów do dyskusji nad przedstawioną tezą. Na ich podstawie przygotuj zestaw argumentów i pogrupuj je na te które są ewidentnie za dyskutowaną tezą, przeciw tezie oraz te argumenty, które mogą być wykorzystane zarówno przez jedną, jak i drugą stronę. Wpisz je w odpowiednie miejsca w tabeli.

ZA	DYSKUSYJNE	PRZECIW

The project has been funded with the support of European Commission within ERASMUS+ program



--	--	--

Karta pracy nr 2

Na podstawie udostępnionych przez nauczyciela materiałów przygotuj argumenty do dyskusji. Jedna grupa uczniów przygotowuje argumenty popierające tezę, druga natomiast argumenty przeciwstawne. Skorzystaj z zaproponowanego schematu.

Argument wraz z uzasadnieniem	Przewidywane kontrargumenty grupy przeciwnej	Odpowiedzi na kontrargumenty

Karta pracy nr 3

Imię i nazwisko Klasa Drużyna (za/przeciw)

Podczas debaty obserwuj uważnie wystąpienia debatantów z drużyny przeciwnej. Następnie oceń, które wystąpienie najbardziej Cię przekonało oraz jakie obszary wystąpienia przeciwników powinny zostać poprawione.

1. Pod względem **merytorycznym** (np. jakość przedstawionych argumentów, wiarygodność danych i dowodów naukowych) w drużynie przeciwnej najbardziej przekonał mnie debatant nr

Uzasadnienie:

.....

.....

.....

.....

.....

2. Pod względem **stylu prezentacji i komunikacji z widownią** (np. pewna, przekonująca, autentyczna i dynamiczna postawa, umiarkowane gesty, różnorodność głosu, dobry kontakt wzrokowy z publicznością, użycie umiarkowanego humoru, przyjazne i profesjonalne podejście do wszystkich uczestników, skuteczne użycie języka ciała) w drużynie przeciwnej najbardziej przekonał mnie debatant nr

Uzasadnienie:

.....

.....

.....

.....

.....

Wskaż element wystąpienia drużyny przeciwnej, który wymaga dopracowania. Uzasadnij swoją odpowiedź.

.....

.....

Uzasadnienie:

.....

.....

.....

.....

.....