Green is good

2025

GREEN BOOK



Powietrze, ziemia, woda

Fot. Michelle Li/Unsplash

Powietrze, ziemia, woda – coraz więcej CO_2 nam ulatuje

● Rok 2024 był kolejnym, w którym emisje CO_2 wzrosły o niemal 1 proc. Wciąż nie jesteśmy w stanie odwrócić tego trendu.

● Pół na pół - tyle wynosi ryzyko, że do końca dekady globalne ocieplenie na trwałe osiągnie już poziom 1,5 st. C, który Świat wyznaczył sobie jako dopuszczalny limit, którego nie przekroczy do połowy wieku. Był to główny cel Porozumienia Paryskiego. Stąd pojawił się nowy, bardziej realistyczny pułap na poziomie 1,75 st. C.

● A jeśli nie uczynimy żadnych postępów, czeka nas ocieplenie o około 2,5 st. C, szacują eksperci Bloomberg NEF.

● Technologia wychwytywania CO_2 (CCS) wciąż jest na bardzo wczesnym etapie wzrostu, rok 2024 przyniósł znaczny postęp w jego rozwoju: obecnie działa 50 instalacji, a w budowie są 44 kolejne.

● Pionierem w rozwoju systemów wychwytywania CO_2 była energetyka, teraz siła ciężkości przesuwa się na energochłonne gałęzie przemysłu, przede wszystkim produkcję cementu, a także hutnictwo.

● Coraz poważniejszym elementem systemu przeciwdziałania emisji CO_2 stają się instalacje do wyławiania dwutlenku węgla bezpośrednio z powietrza (DAC – Direct Air Capture). Na razie działają tylko 4, ale powstaje 16 kolejnych.

● Spore perspektywy stoją przed technologią wykorzystującą morską wodę do wychwytywania dwutlenku węgla. Francuscy naukowcy działający w ramach CNRS oszacowali, że oceany mogą gromadzić 15 Gt CO_2 rocznie. Wykorzystuje się je jako jako naturalną pułapkę i nośnik dwutlenku węgla, który da się odfiltrować.

● Dużo do zrobienia jest także w rolnictwie, które odpowiada za 8,5 proc. emisji gazów cieplarnianych. Konieczna jest zmiana modelu upraw, które cyklicznie oddają CO_2 uwięzione w glebie (np. w czasie orki).

● Wraz ze wzrostem poziomu sekwestracji CO_2 coraz ważniejszym wyzwaniem staje się kwestia, co z nim zrobić. Na razie głównie rozważano magazynowanie pod ziemią, coraz intensywniej pracuje się jednak na technologiami, które wykorzystują go jako surowiec.

● Dwutlenek węgla może być m.in. bazą do produkcji biopaliwa, nawozów, tworzyw sztucznych, czy nawet materiałów oraz detergentów. Pojawiać się w miejscach, w których dotychczas sięgano po kopalne węglowodory.

● Coraz częściej eksperymentuje się także z CO_2 jako potencjalnym źródłem pożywienia, nie tylko paszy dla zwierząt, ale także produktów spożywczych dla ludzi, takich jak np. masło.

● Największym naszym sojusznikiem w walce z nadmiarem CO_2 są jednak lasy. Od początku wieku światowa powierzchnia lasów zamiast jednak rosnąć, to się zmniejszyła (o 2,4 proc.).

● Konieczne jest więc odwrócenie biegu spraw: nie tylko powstrzymanie deforestacji, ale także tzw. reforestacja, czyli odbudowa zielonej tkanki, a nawet sadzenie lasów w miejscach, gdzie ich dotychczas nie było, czyli tzw. aforestacja.

● Naukowcy z ETH w Zurychu opracowali nawet plan, jak to zrobić, i stworzyli mapę, która wskazała aż 1,7 mld hektarów gruntów nadających się do zalesienia.

● Poza CO_2 drugim największym wyzwaniem dla atmosfery jest metan. CH_4 jest odpowiedzialny za blisko 30 proc. wzrostu temperatury liczonego od czasu rewolucji przemysłowej.

● Największym emitentem metanu jest rolnictwo, które rocznie dostarcza do atmosfery około 142 Mt, na drugim miejscu znajduje się energetyka (118 Mt), a na trzecim odpady, przyczyniające się do produkcji około 72 Mt CH_4.

● Coraz więcej uwagi zwraca się też na to, jaki wkład w proces globalnego ocieplenia ma podtlenek azotu. Do dużej emisji N_2O przyczynia się głównie rolnictwo.

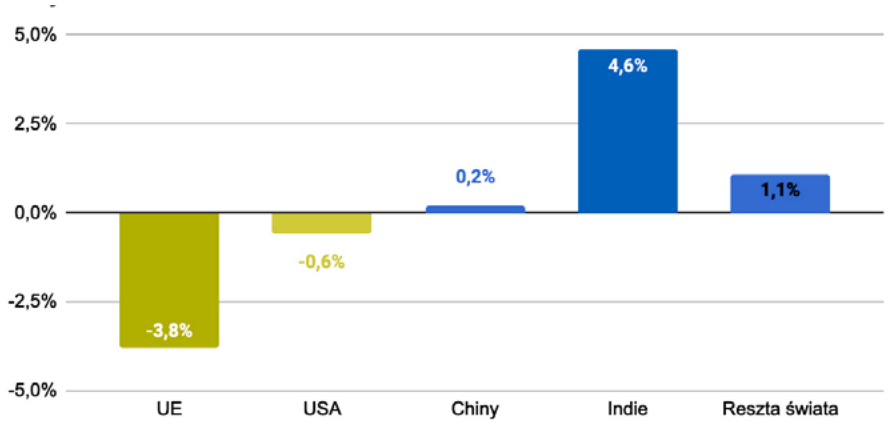
50/50 szans, że za 6 lat globalne ocieplenie osiągnie swój pułap



Fot. Unsplash

W 2024 r. emisje dwutlenku węgla znowu wzrosły, tym razem o 0,8 proc. (37,4 mld ton CO_2) – szacuje Global Carbon Project (GCP), międzynarodowe konsorcjum 120 naukowców z ponad 90 instytucji. Dynamika spadła – rok wcześniej wzrost sięgał 1,1 proc. – ale wciąż nie jesteśmy w stanie odwrócić tego trendu. Pomimo pilnej potrzeby ograniczenia emisji naukowcy twierdzą, że nadal nie ma „żadnych oznak", że świat osiągnął szczyt emisji kopalnych CO_2. Przy przewidywanych emisjach wynikających ze zmian użytkowania gruntów (takich jak wylesianie) wynoszących 4,2 mld ton całkowita emisja CO_2 w 2024 r. wyniosła 41,6 mld ton (w porównaniu z 40,6 mld ton w 2023 r.). Przy ponad 40 mld ton uwalnianych każdego roku obecnie poziom CO_2 w atmosferze nadal rośnie – prowadząc do coraz bardziej niebezpiecznego globalnego ocieplenia.

Wzrost/spadek emisji CO_2 w 2024 roku w poszczególnych krajach



Dane: GCP

● GCP szacuje, że w 2024 r. na całym świecie emisje ze spalania paliw kopalnych wzrosły o: węgiel – 0,2 proc., ropa naftowa – 0,9 proc., gaz – 2,4 proc. Przyczyniają się one odpowiednio do 41 proc., 32 proc. i 21 proc. globalnych kopalnych emisji CO_2. Biorąc pod uwagę niepewność prognoz, możliwe jest, że emisje węgla mogą spaść w 2024 r.

● GCP szacuje, że emisje towarzyszące lotnictwu i żegludze międzynarodowej (3 proc. globalnej sumy i liczone oddzielnie od sumy krajowej/regionalnej) wzrosły o 7,8 proc. w 2024 r., ale pozostały o 3,5 proc. poniżej poziomu sprzed pandemii z 2019 r.

● Na całym świecie emisje wynikające ze zmian użytkowania gruntów (takich jak wylesianie) w ostatniej dekadzie zmniejszyły się o 20 proc., ale w 2024 r. znów rosły.

● Trwałe usuwanie CO_2 poprzez ponowne zalesianie i zalesianie (nowe lasy) kompensuje około połowy emisji z trwałego wylesiania.

● Obecne poziomy usuwania dwutlenku węgla w oparciu o technologię wychwytywania (m.in. CCS z wyłączeniem środków opartych na naturze, takich jak ponowne zalesianie) stanowią tylko około jednej milionowej CO2 emitowanego z paliw kopalnych.

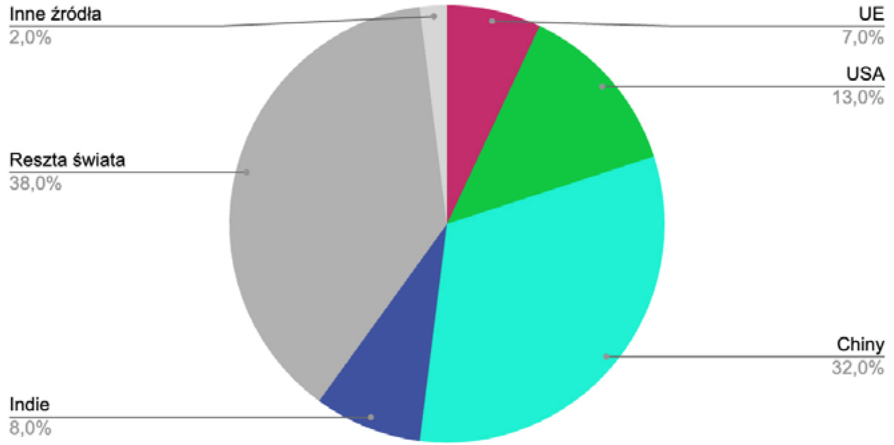
● Poziom CO_2 w atmosferze w 2024 r. osiągnął 422,5 części na milion, 2,8 części na milion powyżej 2023 r. i 52 proc. powyżej poziomów sprzed epoki przemysłowej.

● Emisje z pożarów w 2024 r. były powyżej średniej od początku rekordu satelitarnego w 2003 r., szczególnie ze względu na ekstremalny sezon pożarów w 2023 r. w Kanadzie (który utrzymywał się w 2024 r.) i intensywną suszę w Brazylii.

● Pochłaniacze CO_2 na lądzie i w oceanach łącznie nadal zatrzymują blisko połowę całkowitej emisji CO_2, pomimo negatywnego wpływu zmian klimatycznych.

Zespół Global Carbon Budget szacuje, że przy obecnym tempie emisji mamy 50 proc. szans na to, że globalne ocieplenie za mniej więcej sześć lat będzie konsekwentnie przekraczać 1,5 st. C. Oszacowanie to podlega dużej niepewności, głównie z powodu niepewności dodatkowego ocieplenia pochodzącego ze środków innych niż CO_2 (np. CH_4, N_2O, aerozole). Bezsprzeczne jest jednak, że pozostały budżet węglowy – a tym samym czas pozostały na osiągnięcie celu 1,5 st. C i uniknięcie najgorszych skutków zmian klimatycznych – prawie się skończył.

Udział emisji CO_2 w 2024 roku
Dane: GCP



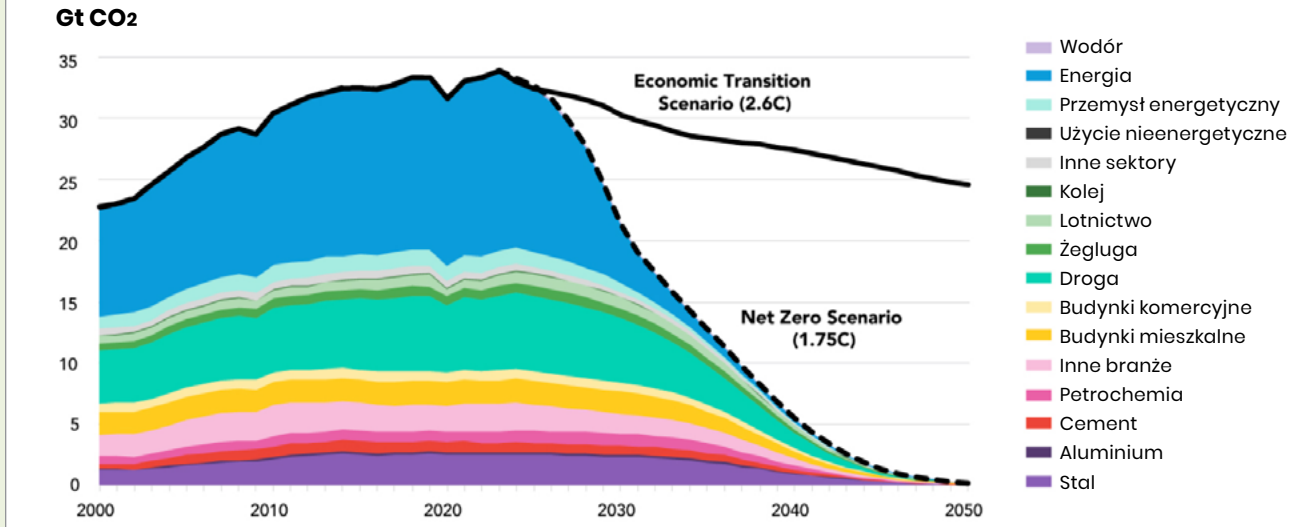
Dekarbonizacja coraz trudniejsza do zrobienia



Fot. Unsplash

● W opinii ekspertów Bloomberg NEF okno na osiągnięcie zerowych emisji netto do 2050 r. szybko się zamyka, ale świat ma jeszcze czas, aby wejść na właściwą ścieżkę – jeśli zostaną podjęte teraz zdecydowane działania. „Niezrobienie tego grozi pozbawieniem możliwości osiągnięcia nawet 1,75 st. C globalnego ocieplenia. Pewien postęp został jednak poczyniony, w ostatnich latach transformacja energetyczna przyspieszyła, a tempo wdrażania czystych technologii i inwestycji kapitałowych gwałtownie wzrosło do rekordowych poziomów. I chociaż emisje pozostają wysokie, przy jeszcze szybszym rozwoju wszystkiego – od odnawialnych źródeł energii po zielone paliwa – neutralność węglowa do połowy stulecia jest trudnym, ale osiągalnym celem", piszą eksperci BNEF.

● Całkowicie zdekarbonizowany globalny system energetyczny do 2050 r. może wiązać się z kosztami w wysokości 215 bln dol. – nie jest to kwota nieistotna, ale tylko o 19 proc. wyższa niż w przypadku transformacji napędzanej gospodarką, w której cele porozumienia paryskiego nie zostaną osiągnięte, a globalne ocieplenie osiągnie 2,6 st. C (patrz rozdział: Kryzys klimatyczny i zielona transformacja).



Źródło: Bloomberg NEF. Uwaga: Economic Transition Scenario pokazuje obecny harmonogram wdrażania projektów, podczas gdy Net Zero Scenario jest scenariuszem osiągnięcia neutralności klimatycznej w 2050 r.

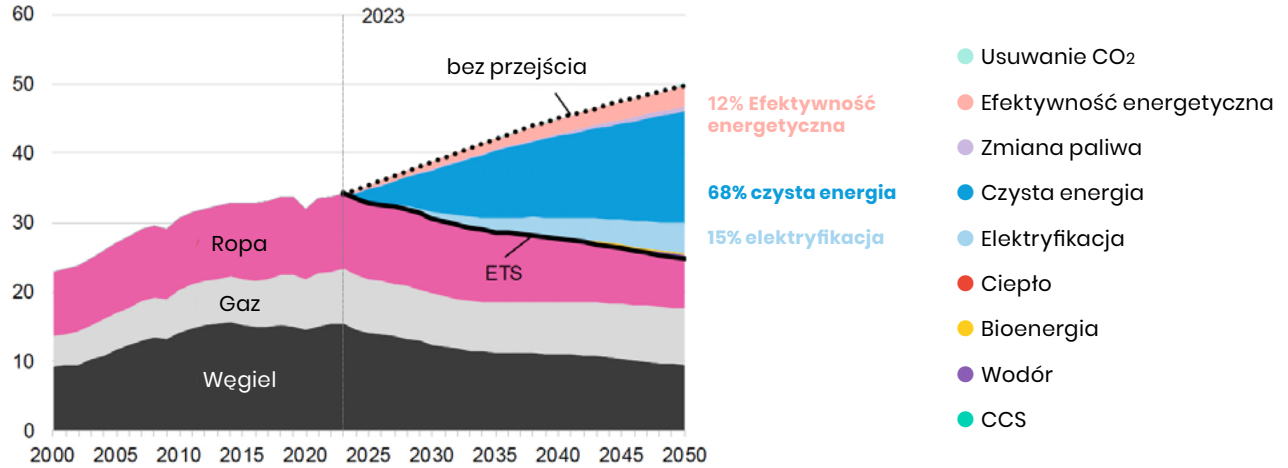
Niezależnie od tego, czy świat osiągnie neutralność klimatyczną, era dominacji paliw kopalnych dobiega końca. Nawet jeśli siłą napędową tej transformacji będą wyłącznie względy ekonomiczne, bez żadnych dodatkowych czynników politycznych, które mogłyby pomóc, udział odnawialnych źródeł energii w wytwarzaniu energii elektrycznej pod koniec tej dekady może przekroczyć 50 proc.

● Scenariusz transformacji gospodarczej (ETS) odzwierciedla świat, w którym decydenci dążą do transformacji energetycznej, opierając się wyłącznie na historycznych trendach w zakresie efektywności oraz ekonomicznie konkurencyjnych, komercyjnie skalowalnych technologiach czystej energii. Same te środki powodują spadek globalnych emisji o 27 proc. do 2050 r. w stosunku do obecnych poziomów i zmniejszenie ich o połowę w porównaniu z kontrfaktycznym scenariuszem „bez transformacji", w którym nie ma dalszego postępu w dekarbonizacji. ETS nie wymaga dalszego wsparcia dla czystych technologii poza istniejącymi środkami, chociaż opiera się na równych warunkach, które pozwalają tym rozwiązaniom na dostęp do rynków i konkurowanie z obecnymi technologiami. Stwarza to warunki dla globalnej zdolności odnawialnych źródeł energii, która do 2030 r. wzrośnie ponaddwukrotnie, a do 2050 r. czterokrotnie w stosunku do obecnych poziomów. Wraz z tym wzrostem paliwa kopalne zostaną odsunięte jako dominujące źródło wytwarzania energii elektrycznej, ponieważ odnawialne źródła energii przekroczą 50 proc. udziału w dostawach pod koniec tej dekady. Zgodnie z ETS wzrost globalnych temperatur powyżej poziomów sprzed epoki przemysłowej osiągnie 2,6 st. C do 2100 r.

● Spadek emisji w tej dekadzie napędzają przede wszystkim gospodarki rozwinięte. „Dostępność i przystępność cenowa energii odnawialnej i pojazdów elektrycznych w połączeniu z umiarkowanym wzrostem zapotrzebowania na energię oznacza, że te regiony wdrażają technologie czystej energii szybciej niż rośnie na nią zapotrzebowanie. Z kolei gospodarki rozwijające się, takie jak Indie, Indonezja i Wietnam, w ramach scenariusza ETS odnotowują wzrost emisji do końca lat 30., ponieważ ich rosnące zapotrzebowanie na energię przewyższa tempo wdrażania czystej energii w krótkim okresie. Co istotne, Chiny podążają za gospodarkami rozwiniętymi, a emisje spadają tam już dziś i to utrzyma się do końca dekady. Tak szybkie i duże osiągnięcia w zakresie wdrażania czystej technologii pokazują, że w ramach ETS globalne emisje mogłyby z miejsca osiągnąć szczyt", zaznaczają analitycy BNEF.

● Dominujące w transformacji gospodarczej w perspektywie 2050 r. będą rzecz jasna odnawialne źródła energii i elektryfikacja. Dzieje się tak również w bardziej defensywnym scenariuszu ETS w porównaniu z wariantem przyszłości bez transformacji, w którym nie ma dalszych postępów w zakresie dekarbonizacji. Energia wiatrowa, słoneczna i jądrowa zaczynają zastępować istniejącą produkcję paliw kopalnych w systemie energetycznym i zaspokajać nowe zapotrzebowanie na energię, redukując emisje o 68 proc. Drugim co do wielkości motorem napędowym jest elektryfikacja zastosowań końcowych, takich jak

Redukcja emisji CO_2 ze spalania paliw według pomiaru, scenariusz ETS w porównaniu ze scenariuszem bez przejścia (Gt CO_2)



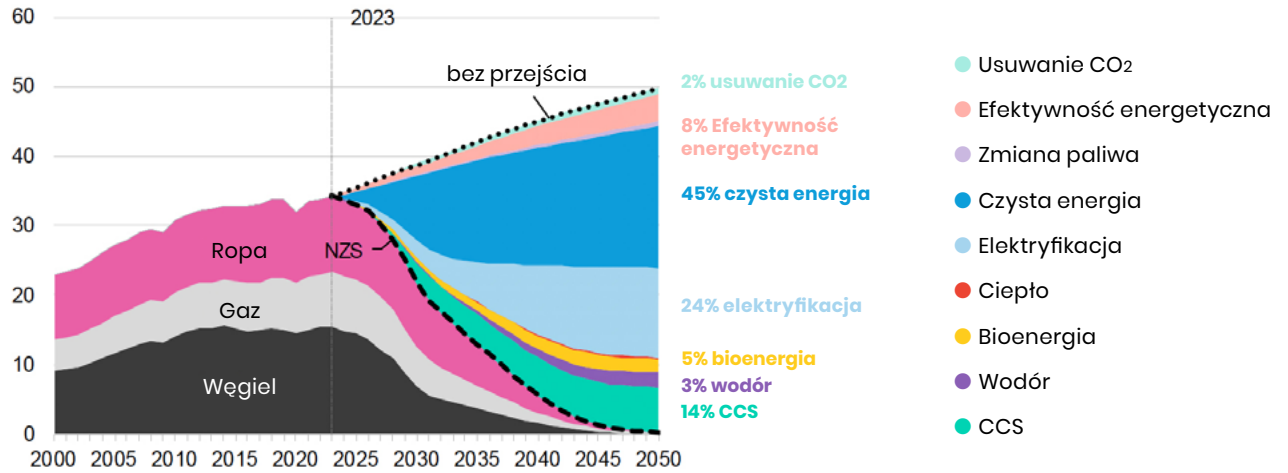
Źródło: Bloomberg NEF. Uwaga: **CCS** (Carbon Capture and Storage) – system do wychwytywania, przesyłu i gromadzenia strumienia dwutlenku węgla ze źródeł przemysłowych.

pojazdy elektryczne, pompy ciepła w budynkach i procesy przemysłowe, które zmniejszają emisję o 15 proc. Kolejne 12 proc. redukcji pochodzi z większej efektywności energetycznej, w tym wzrostu efektywności w gospodarstwach domowych, budynkach i większego recyklingu w przemyśle.

● Trzeba brać przy tym pod uwagę, że przemysł w porównaniu z energetyką i transportem nie ma prostej ścieżki do dekarbonizacji. Przynajmniej takiej, która byłaby konkurencyjna cenowo. To sprawia, że dotacje lub jakaś forma kosztów CO_2 są kluczowe dla wprowadzenia jakichkolwiek redukcji emisji w przemyśle. Zielona energia elektryczna może być konkurencyjna w zelektryfikowanych procesach, ale nawet przy istniejących politykach i dotacjach odnotowuje się tylko niewielkie zmiany w emisjach przemysłowych. W scenariuszu ETS bezpośrednie emisje CO_2 (znane jako zakres 1) wzrosną do 2050 r. o 6 proc., osiągając szczyt pod koniec lat 40. Tylko branże wykorzystujące ciepło o niskiej i średniej temperaturze (sektor celulozowo-papierniczy oraz spożywczy i napojowy) odnotują niższe emisje do 2050 r., co jest spowodowane postępującą elektryfikacją procesów niskotemperaturowych. Sektor cementowy jest bardzo wysoko emisyjny, a nie ma przy tym konkurencyjnych pod względem kosztów opcji na produkcję bezemisyjną (jedyną opcją jest inwestycja w CCS). Stąd w scenariuszu ETS emisja dwutlenku węgla do połowy wieku wzrośnie tu o 27 proc., co będzie największym przyrostem wśród wszystkich gałęzi przemysłu.

● Znacznie bardziej złożony jest scenariusz NZS osiągnięcia neutralności klimatycznej. W jego przypadku dekarbonizacja sektora energetycznego odpowiada za 45 proc. emisji unikniętych od dziś do 2050 r., co wskazuje, że znacznie więcej jest do zrobienia w pozostałych obszarach. Dużo większe znaczenie będzie mieć w tym względzie elektryfikacja sektorów końcowych, w tym transportu drogowego, budynków i przemysłu, która odpowiadać miałaby za 25 proc. redukcji. Rozwiązania potrzebne do zmniejszenia pozostałych 30 proc. emisji są najtrudniejsze do skalowania: biopaliwa w żegludze i lotnictwie; wodór w przemyśle i transporcie; wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla w przemyśle i energetyce.

Redukcja emisji CO_2 ze spalania paliw według pomiaru, scenariusz NZS w porównaniu ze scenariuszem bez przejścia (Gt CO_2)



Źródło: Bloomberg NEF. Uwaga: Scenariusz „bez przejścia" jest hipotetyczną alternatywą, który nie modeluje dalszej poprawy dekarbonizacji i efektywności energetycznej. W energetyce i transporcie zakłada, że przyszły miks paliwowy nie zmieni się od 2023 r. (2027 r. w sektorze żeglugi). Dla wszystkich innych sektorów alternatywą dla scenariusza Net Zero (NZS) jest scenariusz przejścia gospodarczego. „Czysta energia" obejmuje odnawialne źródła energii i energię jądrową, a nie obejmuje wychwytywania i składowania dwutlenku węgla (CCS), wodoru i bioenergii, które są przypisane do odpowiednich kategorii. „Efektywność energetyczna" obejmuje wzrost efektywności po stronie popytu i większy recykling w przemyśle.

Niecałe trzy dekady na zdecydowane działania



Fot. Unsplash

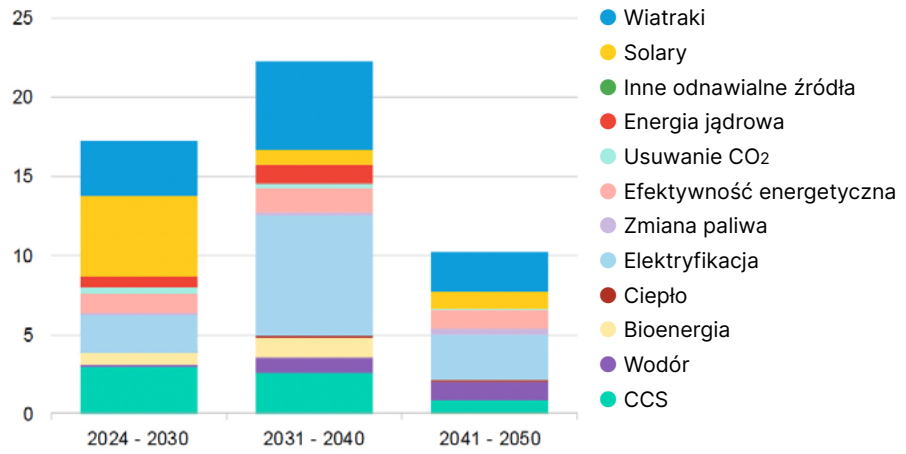
Dla realizacji scenariusza NZS kluczowe jest podjęcie błyskawicznych działań. Eksperci BNEF rozpisali je na trzy kolejne dekady:

1. Okres 2024-2030 musiałby być zdominowany przez szybką dekarbonizację sektora energetycznego, wzrost efektywności energetycznej i szybkie przyspieszenie wdrażania wychwytywania i składowania dwutlenku węgla. W tym siedmioletnim okresie tylko wiatr i słońce odpowiadałyby za połowę redukcji emisji, które łącznie powinny sięgnąć około 17 Gt CO_2. Duży potencjał redukcyjny ma także rozwój systemów do przechwytywania dwutlenku węgla (CCS).

2. W kolejnej dekadzie (2031-2040) uwaga powinna skupić się za to na dekarbonizacji tzw. zastosowań końcowych: elektryfikacja w przemyśle, transporcie i budynkach odpowiadałaby za 35 proc. emisji uniknietych w tym okresie (łącznie musiałyby wynieść 22 Gt CO_2). Redukcja emisji z wodoru i bioenergii również zyskałaby na znaczeniu, ponieważ budżety węglowe dla sektorów trudnych do redukcji się zmniejszą. W energetyce w tym okresie kluczowe byłyby inwestycje w elektrownie wiatrowe.

3. W trzecim okresie – od 2041 do 2050 r. – wymagane redukcje emisji byłyby już najmniejsze (10 Gt CO_2). Działania byłyby znacznie bardziej zróżnicowane – opierałyby się na połączeniu różnych technologii ukierunkowanych na sektory trudne do redukcji, przy czym na znaczeniu zyskiwałby wodór odpowiedzialny za 11 proc. redukcji.

Redukcje emisji netto CO_2 według okresu i pomiaru/technologii, scenariusz Net Zero w porównaniu ze scenariuszem bez transmisji
(uniknięte Gt CO_2)



Źródło: Bloomberg NEF. Uwaga: Dane pokazują wkład netto każdej technologii w redukcję emisji dwutlenku węgla według okresu w porównaniu z alternatywnym scenariuszem „bez przejścia", w którym nie ma dalszych działań w kierunku dekarbonizacji. Długości okresów różnią się. CCS to wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla. „Inne odnawialne źródła energii" obejmują wszystkie inne niepalne odnawialne źródła energii w wytwarzaniu energii elektrycznej, w tym hydroenergię, geotermię i energię słoneczną.

Dziewięć technologii zadecyduje o powodzeniu lub porażce przejścia na gospodarkę niskoemisyjną



Fot. Woliul Hasan/Unsplash

Nie ma jednego rozwiązania, które mogłoby przekształcić system energetyczny z wysokoemisyjnego na niskoemisyjny. Stąd eksperci BNEF wskazali dziewięć kluczowych technologii, które dobrze wykorzystane mogą doprowadzić do tego, że uda nam się powstrzymać emisję oraz globalne ocieplenie. To też zestaw dziewięciu kamieni milowych, kluczowych na ścieżce do dekarbonizacji, które trzeba osiągnąć w 2050 r.:

1. Auta elektryczne – flota pojazdów elektrycznych wzrośnie do 1,5 mld pojazdów i nie zostanie sprzedany żaden nowy pojazd z silnikiem spalinowym po 2034 r.

2. OZE – moc wiatrowa i słoneczna osiągnie 31 terawatów (TW) – spowoduje to potrojenie całkowitej mocy odnawialnych źródeł energii od dziś do 2030 r., a następnie ponowne potrojenie od 2030 do 2050 r.

3. Magazyny energii – zainstalowana moc magazynowania baterii osiągnie 4 TW – ponad 50-krotność poziomów z 2023 r.

4. Atom – moc elektrowni jądrowych wzrośnie mniej więcej trzykrotnie, do 1 TW.

5. CCS – moc wychwytywania dwutlenku węgla wzrośnie do 8 Gt CO2 rocznie w porównaniu z obecnymi śladowymi poziomami.

6. Wodór – zużycie czystego wodoru wyniesie 390 mln ton rocznie – cztery razy więcej niż obecne zapotrzebowanie na wodór oparty na paliwach kopalnych.

7. SAF – zużycie zrównoważonego paliwa lotniczego (Sustainable Aviation Fuel) osiągnie 88 mld galonów rocznie w porównaniu z obecnymi śladowymi poziomami.

8. Sieć – światowa sieć energetyczna powiększy się do miliona kilometrów długości – prawie dwukrotnie w porównaniu z obecnymi minimalnymi poziomami.

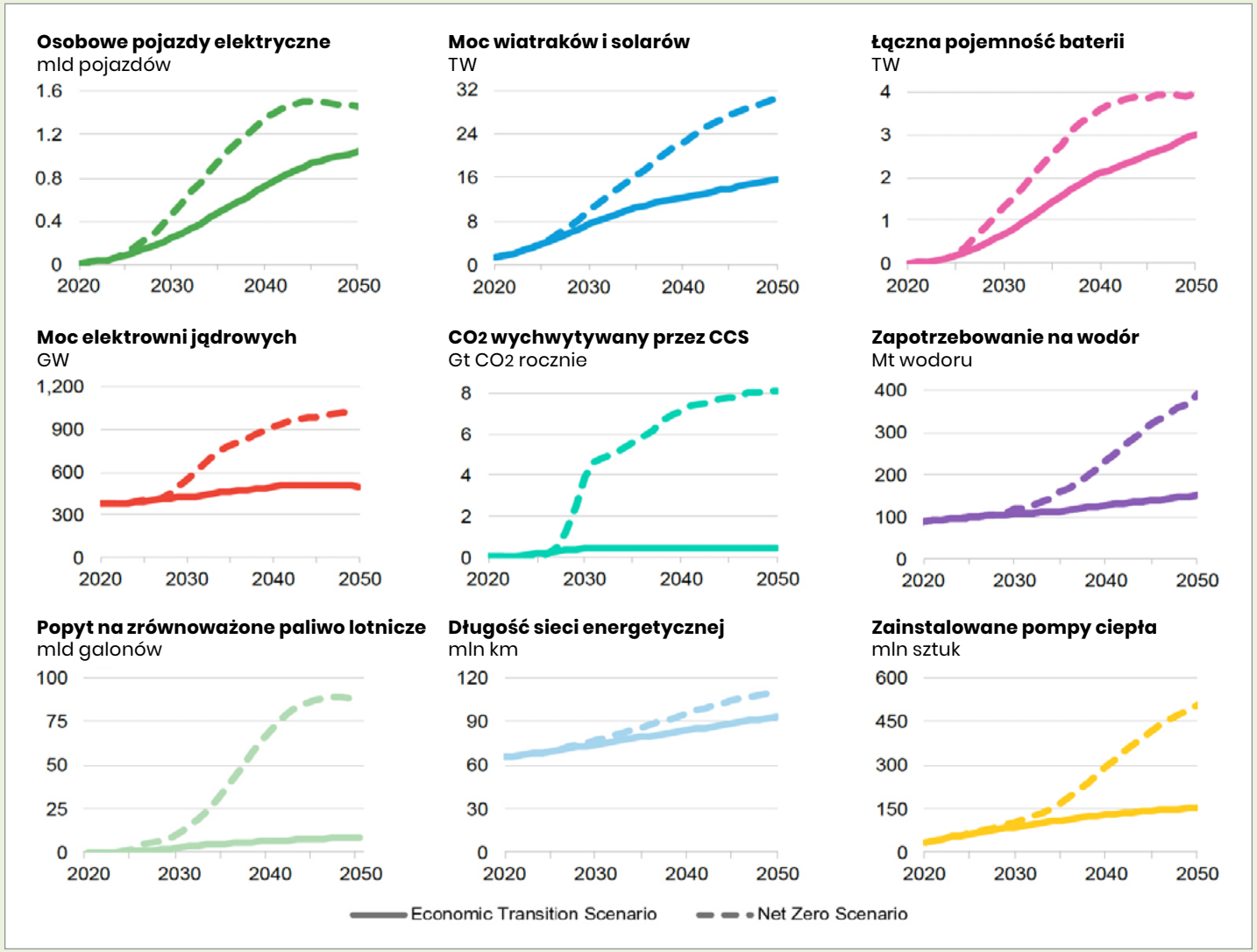
9. Pompy ciepła – pompy ciepła osiągają łącznie ponad 500 mln zainstalowanych jednostek – prawie

10-krotny wzrost w stosunku do dzisiejszego poziomu.

Spośród dziewięciu filarów tylko cztery to dojrzałe, komercyjnie skalowalne technologie ze sprawdzonymi modelami biznesowymi: pojazdy elektryczne, energia odnawialna, magazynowanie energii i sieci energetyczne. Nadal wymagają one znacznego przyspieszenia, aby wejść na ścieżkę zerowej emisji netto, ale ryzyko technologiczne jest niewielkie lub nie występuje wcale, premie ekonomiczne są niewielkie lub nie istnieją, a modele finansowania działają już na dużą skalę.

Jak widać na rysunku, każda z tych technologii odnotowuje silny wzrost w Economic Transition Scenario (ETS), czyli scenariuszu, w którym oddziałują wyłącznie bodźce ekonomiczne, co potwierdza ich dojrzałość. Z drugiej strony energia jądrowa, CCS, wodór, zrównoważone paliwa lotnicze i pompy ciepła nie są obecnie konkurencyjne cenowo ani komercyjnie. W rezultacie ich wdrażanie w ETS ulega stagnacji. Jednak każda z tych technologii musi szybko się skalować, aby osiągnąć trajektorie określone w Net Zero Scenario (NZS), w którym działania polityczne prowadzą do neutralności klimatycznej.

Źródło: Bloomberg NEF.
Uwaga: Economic Transition Scenario pokazuje obecny harmonogram wdrażania projektów, podczas gdy Net Zero Scenario jest scenariuszem osiągnięcia neutralności klimatycznej w 2050 r. Wiatr obejmuje offshore i onshore. Energia słoneczna obejmuje fotowoltaikę na małą skalę i na skalę przemysłową. Magazynowanie baterii obejmuje magazynowanie stacjonarne.



CCS

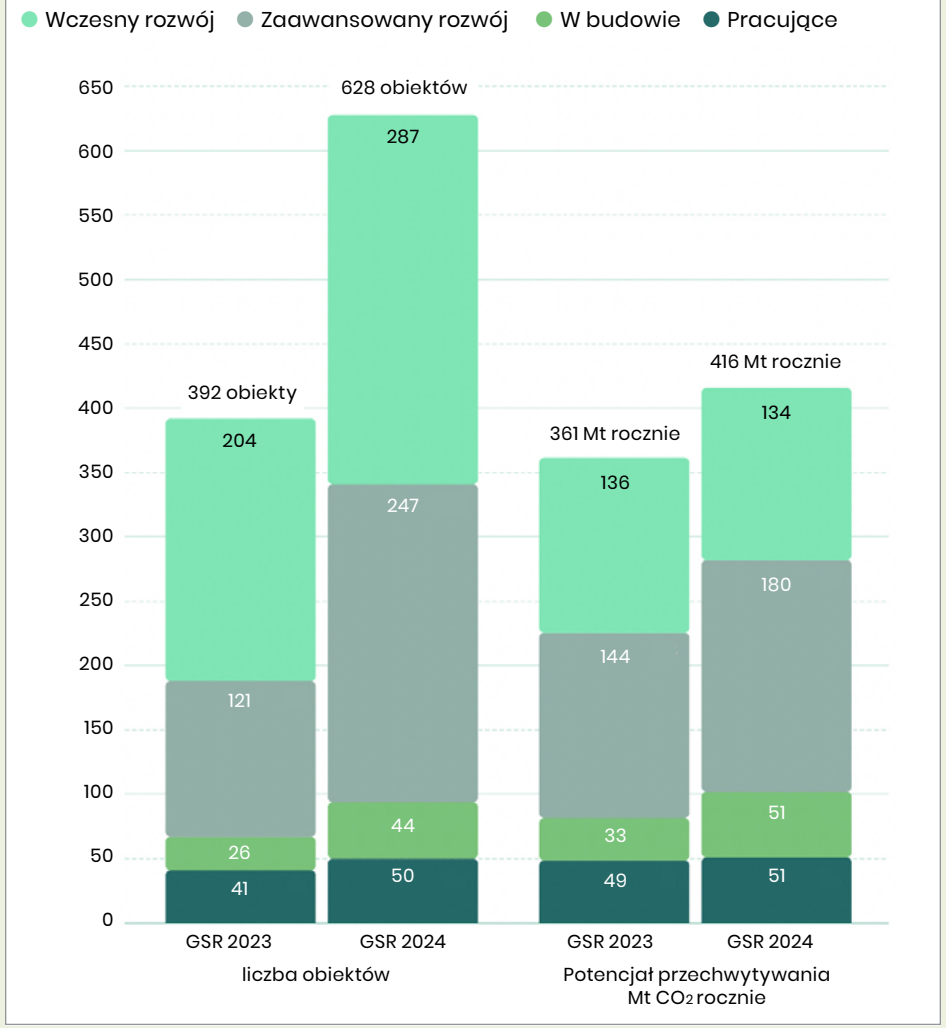


Fot. Matthias Heyde/Unsplash

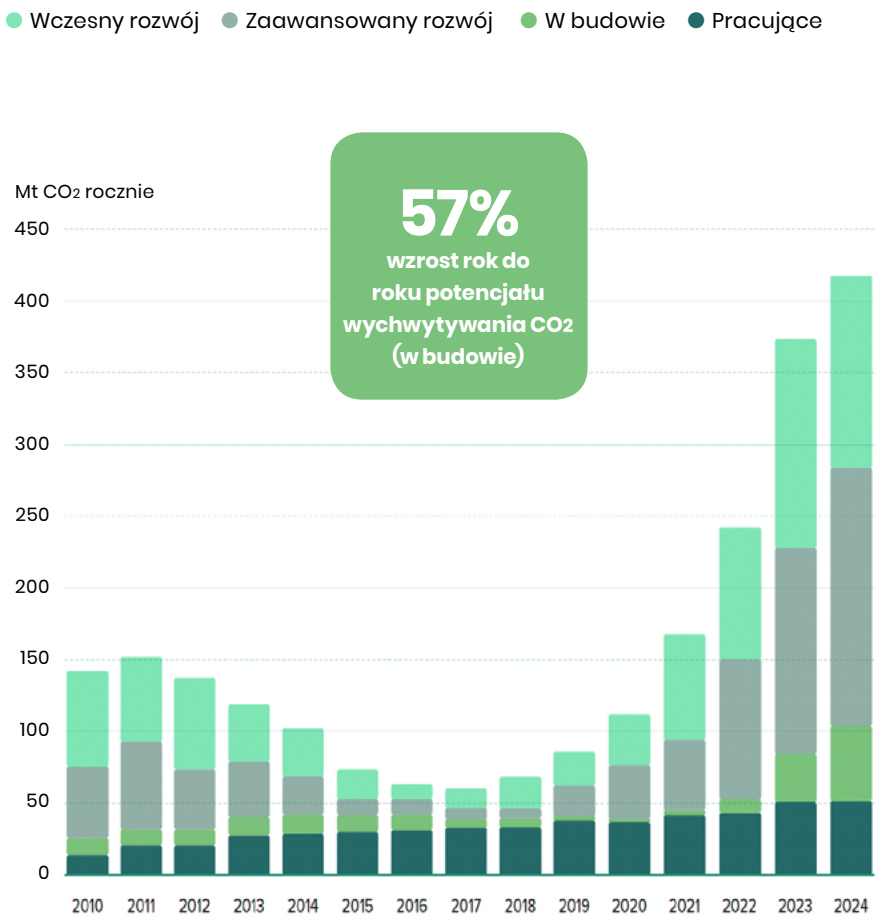
● Chociaż sektor CCS jest wciąż na bardzo wczesnym etapie wzrostu, rok 2024 przyniósł znaczny postęp w jego rozwoju. Obecnie działa 50 obiektów o mocy 51 Mt CO_2 rocznie, a w budowie są 44 instalacje o analogicznej mocy, co oznacza, że wkrótce możliwości sekwestracji zostaną podwojone. Co więcej, w planach jest 628 projektów (stan z lipca 2024 r.), co stanowi wzrost o 60 proc. rok do roku. Zarówno pod względem liczby obiektów, jak i skali projektów plany osiągnęły rekordowe poziomy. Łącznie mowa jest o potencjale sekwestracji CO_2 na poziomie 416 Mt rocznie.

● Od 2017 r. przepustowość wychwytywania odnotowała silny wzrost na średniorocznym poziomie 32 proc. W ciągu ostatniego roku przepustowość wychwytywania wzrosła o 15 proc. Co ważniejsze, możliwości sekwestracyjne obiektów, które są w budowie, wzrosła o 57 proc. Znacząco zwiększyła się również liczba projekty na zaawansowanym etapie rozwoju, które mają już zabezpieczoną znaczącą część finansowania – liczba tych projektów w ciągu roku wzrosła ze 121 do 247.

Komercyjne obiekty CCS według liczby i całkowitej zdolności wychwytywania CO_2



Potencjał wychwytywania CO_2 przez komercyjne rurociągi CCS od 2010 r.



● Środowisko inwestycyjne w CCS w ubiegłym roku na całym świecie uległo znacznej poprawie dzięki wdrożeniu różnych polityk, które ułatwią podejmowanie projektów wychwytywania CO_2. Odbywało się to w czterech obszarach:

1. Ustawodawstwo i regulacje umożliwiające uruchamianie projektów CCS:

– Japonia uchwaliła ustawę CCUS Business Act (Ministerstwo Gospodarki Japonii, 2024).
– Rada UE zatwierdziła ustawę Net-Zero Industry Act, której celem jest osiągnięcie zdolności wtrysku CO_2 wynoszącej 50 mln ton rocznie do 2030 r. (Rada UE, 2024).
– Indonezja wydała kompleksowe regulacje CCS (Ministerstwo Energii i Zasobów Mineralnych Indonezji, 2024).
– Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska wydała nowe przepisy wymagające, aby istniejące elektrownie węglowe i przyszłe elektrownie gazowe zmniejszyły emisję CO_2 o 90 proc. do 2032 r., wykorzystując technologię taką jak wychwytywanie dwutlenku węgla (Stany Zjednoczone – Biuro Prasowe Agencji Ochrony Środowiska, 2024).

2. Planowanie strategiczne:

– UE opublikowała komunikat przedstawiający pośredni cel klimatyczny na rok 2040 wraz ze swoją strategią zarządzania emisjami dwutlenku węgla w przemyśle, opierającą się na zwiększeniu skali technologii zarządzania emisjami dwutlenku węgla (Global CCS Institute, 2024a).
– ZEA ogłosiły swoją długoterminową strategię dekarbonizacji i rolę CCUS.

3. Podatek węglowy:

– UE uruchomiła swój mechanizm dostosowania granicznego emisji dwutlenku węgla (CBAM), ustalając ceny emisji wbudowanych w importowane towary o wysokiej zawartości dwutlenku węgla (Komisja Europejska 2023). Eksporterzy produktów wysokoemisyjnych do UE staną się mniej konkurencyjni w UE, jeśli nie zmniejszą emisji swoich produktów, na przykład poprzez CCS.
– Singapur podniósł podatek węglowy do 25 S$/t CO_2e na lata 2024 i 2025, a w 2026 r. zwiększy go do 45 S$/t CO_2e, dążąc do osiągnięcia 50-80 S$/t CO_2e do 2030 r. (Ministerstwo Zrównoważonego Rozwoju i Środowiska Singapuru, 2024).

4. Porozumienia transgraniczne:

– Norwegia podpisała dwustronne porozumienie ze Szwecją, Danią, Belgią i Holandią (Global CCS Institute, 2024b) w sprawie transgranicznego transportu i składowania CO_2.
– Podobny model współpracy wypracowały Francja i Dania (Euractive, 2024).
– ExxonMobil i Shell (konsorcjum S-Hub) nawiązały współpracę z rządem Singapuru w celu opracowania centrum CCS do transgranicznego transportu i magazynowania (ExxonMobil, 2024).
– Rząd Wielkiej Brytanii rozpoczął współpracę z dostawcami technologii T&S w ramach klastra CCS Track-2 (Acorn i Viking) (rząd Wielkiej Brytanii
– Departament Bezpieczeństwa Energetycznego i Net Zero, 2024).

Tu też pojawiły się inicjatywy prywatne:

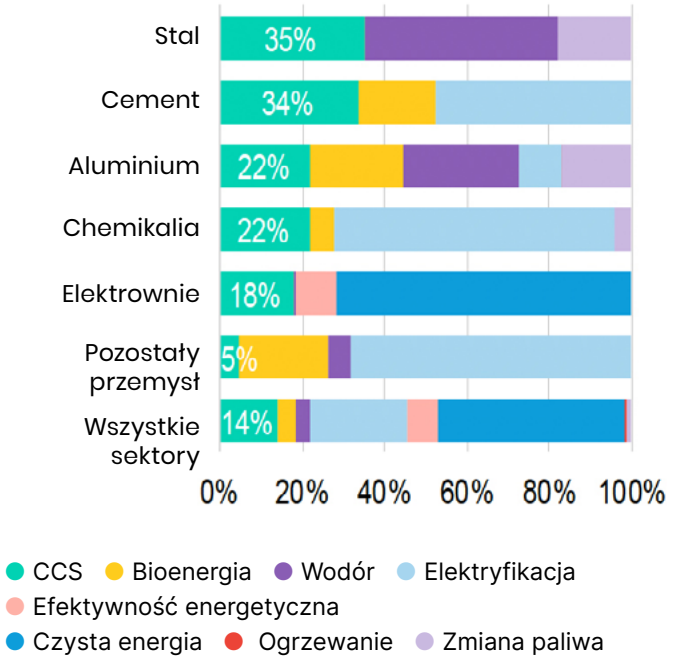
– Porozumienia o współpracy w celu transgranicznego

transportu CO_2 od emitentów w Japonii do miejsc składowania w Indonezji, Malezji i Australii.
– Porozumienie między Yara International (Holandia) i Northern Lights (Norwegia) (Yara International, 2023).

● Aby dojść do neutralności klimatycznej (Net Zero Scenario – NZS), wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla musi mieć szerokie zastosowanie w przemyśle, sektorze energetycznym i produkcji wodoru. Według prognoz BNEF w latach 2024-2050 CCS odpowiadać ma za 35 proc. redukcji emisji energetycznych w produkcji stali, 34 proc. w sektorze cementowym i 22 proc. w produkcji aluminium i przetwórstwie chemikaliów. „Niebieski" wodór – wytwarzany przez reforming gazu ziemnego i wychwytywanie emisji – stanowiłby 3 proc. całkowitej produkcji wodoru w 2050 r. W tym czasie elektrownie opalane paliwami kopalnymi wyposażone w CCS zredukują 10 proc. wszystkich emisji.

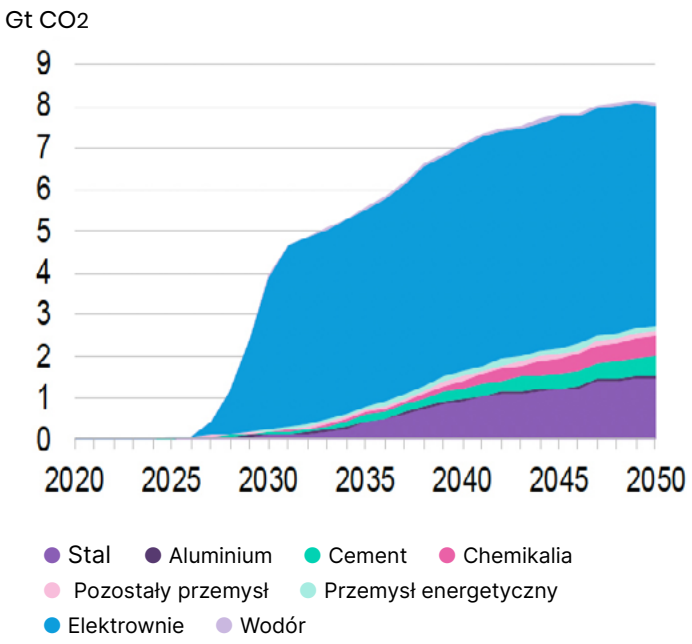
● Głównym czynnikiem dużej roli, jaką CCS ma do odegrania na drodze do zerowej emisji netto, jest konkurencyjność kosztowa i dostępność tej technologii w ciągu najbliższych 10 lat. Zwłaszcza w porównaniu z technologiami alternatywnymi, takimi jak np. zielony wodór. Aby wykorzystać swój potencjał, branża CCS musi osiągnąć próg, który do tej pory był poza jej zasięgiem: wykazać, że może niezawodnie wychwytywać emisje, znacznie obniżając koszty. W Net Zero Scenario zarówno wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla (wiązanie CO_2 w miejscu jego emisji), jak i usuwanie dwutlenku węgla (usuwanie CO_2 z powietrza) zmniejszy emisje łącznie o 160 Gt CO_2 w latach 2024-2050. Gdyby te emisje nie były sekwestrowane, przy założeniu niezmienności innych czynników świat do 2050 r. ociepliłby się o 1,9 st. C. Aby zrekompensować brak CCS, konieczne byłoby znacznie szybsze skalowanie innych technologii dekarbonizacji, takich jak wodór lub bioenergia.

Udział wychwytywania i składowania CO_2 w całkowitej redukcji emisji, 2024-2050, Scenariusz Net Zero



Źródło: Bloomberg NEF. Uwaga: Pokazano skumulowaną redukcję emisji w porównaniu ze scenariuszem „bez przejścia" tylko dla emisji energetycznych; emisje procesowe nie są uwzględnione. Aluminium jest głównie poddawane recyklingowi. CCS to wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla.

Globalne roczne emisje CO_2 wychwytywane przez CCS, według sektora, Scenariusz Net Zero



Źródło: Bloomberg NEF.

Cały świat CCS



Fot. Unsplash

Ameryka

Federalne finansowanie i zachęty polityczne nadal napędzają inwestycje w CCS w Ameryce Północnej, podczas gdy w Brazylii trwają prace nad regulacjami.

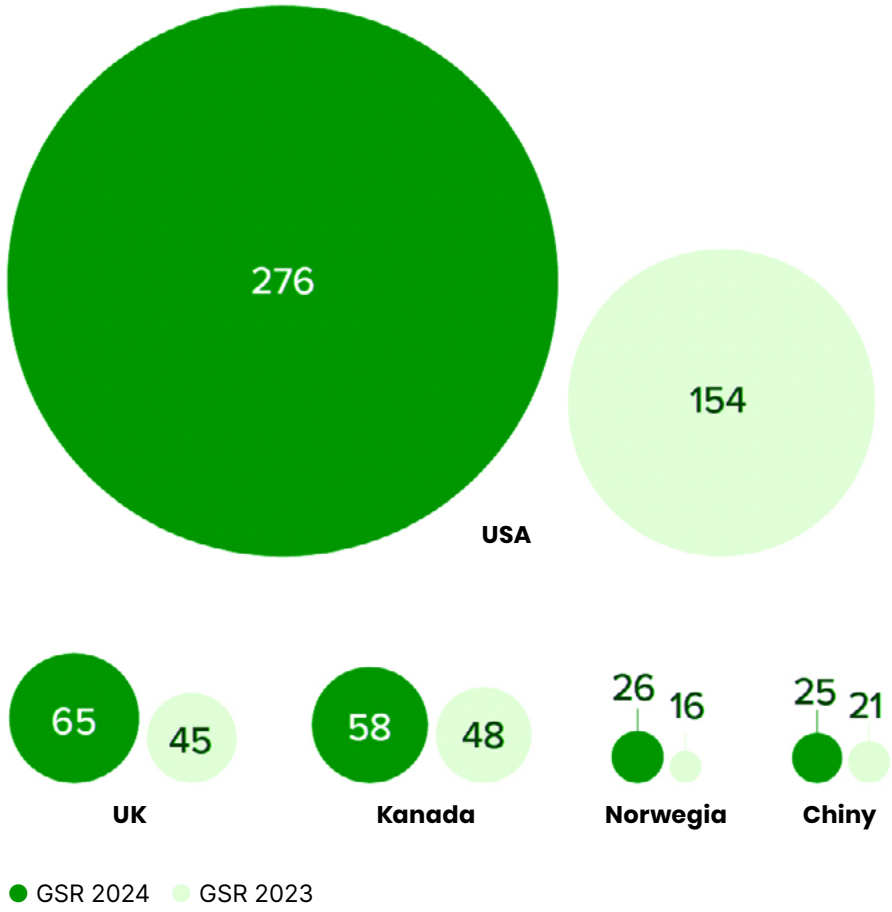
– Rząd USA nadal bezpośrednio finansuje nowe inwestycje za pośrednictwem dwupartyjnego prawa infrastrukturalnego. Około 10 mld dol. zostało przyznanych (lub jest w trakcie negocjacji) na wsparcie zarządzania emisjami dwutlenku węgla i centrów czystego wodoru.

– W Kanadzie federalna cena dwutlenku węgla wzrosła o 15 CAD za tonę w kwietniu 2024 r.

– do 80 CAD za tonę – i będzie rosła o 15 CAD za tonę rocznie, osiągając 170 CAD za tonę do 2030 r., przy czym wszystkie programy prowincjonalne muszą spełnić ten federalny punkt odniesienia.

– 8 października Brazylia stała się pierwszym krajem Ameryki Południowej, który uchwalił przepisy dotyczące CCS, zapewniając ramy odniesienia dla innych krajów Ameryki Południowej.

5 najlepszych krajów z projektami CCS w 2024 r. w porównaniu z 2023 r.



Europa i Wielka Brytania

Polityka dekarbonizacji w Europie napędza powstawanie solidnego pipeline'u projektów CCS.

– Opublikowano strategię zarządzania emisjami dwutlenku węgla w przemyśle UE.
– Ustawa o zerowej emisji dwutlenku węgla w przemyśle weszła w życie w czerwcu 2024 r., wyznaczając ogólnounijny cel 50 Mtpa CO_2 do 2030 r.
– Austria, Dania, Francja, Niemcy, Norwegia, Polska, Szwecja, Szwajcaria i Wielka Brytania wprowadziły i/lub ogłosiły strategie zarządzania emisjami dwutlenku węgla w przemyśle albo mapy drogowe wdrożenia CCS.
– Szwecja i Dania zobowiązały się do zapewnienia wsparcia finansowego na rzecz redukcji emisji biogennego CO_2.
– Dania wydała swoją pierwszą licencję na eksplorację lądowego składowania CO_2
– W październiku 2024 r. rząd Wielkiej Brytanii ogłosił wsparcie finansowe w wysokości do 21,7 mld funtów w ciągu najbliższych 25 lat dla 2 klastrów CCS.

Bliski Wschód i Afryka

Region coraz bardziej koncentruje się na CCS jako ważnym elemencie swojej strategii dekarbonizacji.

– ZEA ogłosiły swoją mapę drogową dekarbonizacji przemysłu, która obejmuje CCS. Długoterminowa strategia ZEA przewiduje 43,5 Mtpa mocy CCS do 2050 r.
– Państwowa spółka naftowa Arabii Saudyjskiej, Saudi Aramco, ogłosiła zwiększenie swojego celu CCS do 14 Mtpa CO_2 do 2035 r.
– Oman uruchomił CCUS i Blue Hydrogen Framework.
– Kenia ogłosiła projekt Direct Air Capture o wartości 1 Mtpa. Łącznie oczekuje się, że przyczynią się one do prognozowanej regionalnej mocy CCS wynoszącej co najmniej 65 Mtpa do 2035 r.

Chiny

CCS odgrywa ważną rolę w chińskiej polityce klimatycznej.

– Uruchomiono plan wdrażania demonstracyjnych technologii zielonych i niskoemisyjnych, zapewniając wsparcie finansowe uznanym projektom dekarbonizacji, w tym CCS. Sześć z pierwszych 47 wybranych projektów jest związanych z CCS, w tym największa na świecie instalacja wychwytująca w elektrowni węglowej, która jest obecnie w budowie i będzie wychwytywać 1,5 Mtpa CO_2.
– Chiny ogłosiły nowy plan działania mający na celu redukcję emisji z floty elektrowni węglowych do poziomów porównywalnych z elektrowniami gazowymi do 2027 r. CCS jest jedną z trzech głównych strategii osiągnięcia tego celu, obok współspalania z amoniakiem niskoemisyjnym lub biomasą.

Centra Azji i Pacyfiku (Apac) oraz Indie

Transgraniczne projekty CCS są dominującym trendem CCS w Azji.

– Malezja i Indonezja starają się rozwijać wszystkie aspekty łańcucha wartości CCS, aby zarządzać krajowymi emisjami i magazynować importowany CO_2 za opłatą.
– Japonia, Singapur i Korea Południowa aktywnie starają się rozwijać transnarodowe łańcuchy wartości CCS i eksportować CO_2 do magazynowania w Malezji, Indonezji lub Australii.
– Indonezja, Korea Południowa i Japonia opublikowały ramy regulacyjne, a Malezja miała przedstawić swoje przepisy pod koniec 2024 r.
– Australia zmieniła przepisy niezbędne do umożliwienia importu CO_2 do składowania geologicznego.

Wszystkie pułapki na CO_2

● Systemy wychwytywania dwutlenku węgla (CCS) po raz pierwszy uruchomiono w 1972 r. w Stanach Zjednoczonych, gdzie w elektrowni gazu ziemnego Terral NGPP w Teksasie wychwycono i składowano ponad 200 mln ton CO_2 pod ziemią. Od tego czasu technologia mocno się rozwinęła i zróżnicowała. Mamy więc pełen wachlarz rozwiązań:

CCS (Carbon capture and storage) – to system do wychwytywania, przesyłu i gromadzenia strumienia dwutlenku węgla ze źródeł przemysłowych.

CCUS lub **CCS/U** (Carbon capture, utilization, and storage) – analogicznie jak w CCS dwutlenek węgla się wychwytuje, ale może być nie tylko magazynowany, lecz także używany jako surowiec.

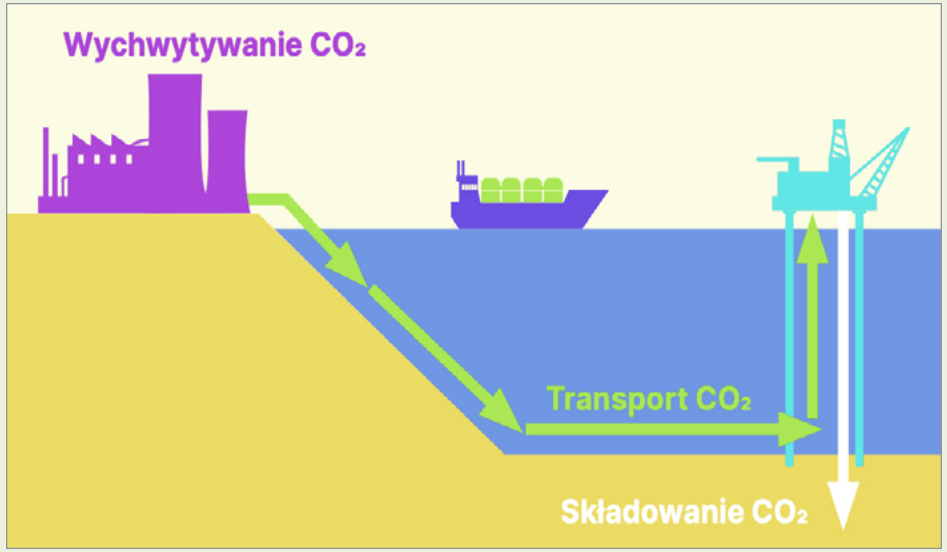
BECCS (Bioenergy with carbon capture and storage) – to proces wydobywania z biomasy energii przy jednoczesnym wychwytywaniu i gromadzeniu CO_2. Może być to więc elektrownia zasilana biomasą lub biogazem z dedykowanym systemem CCS. Takie rozwiązanie jest negatywne, jeśli chodzi o emisję (usuwa ją z atmosfery), bo sekwestruje CO_2 wcześniej przechwycony z atmosfery przez rośliny w czasie ich wzrostu (z obecnego punktu widzenia klasyczny CCS jest neutralny, bo przechwytuje CO_2 zgromadzony w gazie, węglu lub ropie miliony lat temu).

DAC (Direct Air Capture) – to instalacje wychwytujące emisje bezpośrednio z powietrza (patrz na kolejnej stronie). Jeśli mają przestrzeń do gromadzenia CO_2, używa się wówczas skrótu **DACCS**.

DOC (Direct Ocean Capture) – to systemy do wychwytywania CO_2 bezpośrednio z wody morskiej i oceanicznej. Zbliżona do DAC jest tu najpopularniejsza technologia wychwytywania za pomocą szeregu procesów elektrochemicznych. Oczyszczona woda morska jest następnie zwracana, aby wchłonąć więcej CO_2 z atmosfery.

NET (Negative emissions technology) – tak określa się technologie o negatywnej emisji, które tak jak w przypadku BECCS czy DAC wpływają na zmniejszenie ilości CO_2 w atmosferze. W tym kontekście pojawiają się także pojęcia usuwanie dwutlenku węgla **CDR** (Carbon dioxide removal) lub usuwanie gazów cieplarnianych **GGR** (Greenhouse gas removal).

Sekwestracja węgla w glebie, mineralizacja CO_2 lub gromadzenie go w oceanie to kolejne dopiero rozwijające się techniki wychwytywania dwutlenku węgla, o których poniżej.



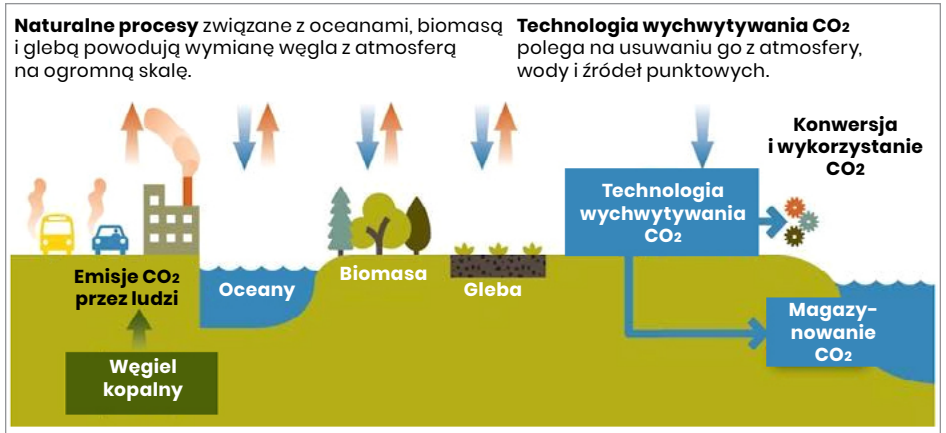
NAUKOWCY MAJĄ GŁOS: najlepszy sposób na wykorzystanie CO_2



Fot. Allison Saeng/Unsplash

● Wychwytywanie dwutlenku węgla z powietrza lub przemysłu i jego recykling może brzmieć jak idealne rozwiązanie klimatyczne. Gaz cieplarniany pozostaje z dala od atmosfery, gdzie może ogrzać planetę, i pozwala uniknąć użycia większej ilości paliw kopalnych. Tyle że nie wszystkie projekty wychwytujące emisję dwutlenku węgla oferują takie same korzyści ekonomiczne i środowiskowe. W rzeczywistości niektóre mogą pogorszyć zmiany klimatyczne – pisze na łamach The Conversation Volker Sick, profesor zaawansowanych badań w energetyce. – Kieruję Global CO_2 Initiative na Uniwersytecie Michigan, gdzie moi koledzy i ja uczymy się, jak wykorzystać wychwytywany dwutlenek węgla w sposób, który pomaga chronić klimat. Aby pomóc dowiedzieć się, które projekty się opłacą, i ułatwić te wybory, nakreśliliśmy zalety i wady najczęstszych źródeł CO_2 i jego zastosowań.

● Węgiel odgrywa kluczową rolę w wielu obszarach naszego życia. Od niego zależą takie materiały jak nawozy, paliwo lotnicze, tekstylia, detergenty i wiele innych. Lata badań i zmiany klimatyczne, których świat już doświadcza, jasno pokazały jednak, że ludzkość musi pilnie zakończyć stosowanie paliw kopalnych i usunąć nadmiar CO_2 z atmosfery i oceanów, który powstał w wyniku ich użycia. W niektórych obszarach, takich jak np. energetyka, węgiel można stosunkowo prosto zastąpić bezemisyjnymi alternatywami, jednak jest wiele zastosowań, takich jak paliwo lotnicze lub tworzywa sztuczne, gdzie węgiel będzie znacznie trudniejszy do wyeliminowania. I po to opracowywane są technologie wychwytywania i recyklingu dwutlenku węgla. Spośród wszystkich opcji wykorzystania przechwyconego CO_2 moi koledzy i ja preferujemy używanie go jako surowca do produkcji, ale przyjrzyjmy się wszystkim możliwościom.



Równoważenie budżetu węglowego w środowisku jest złożone, a aktywne zarządzanie węglem jest niezbędne do stabilizacji klimatu.
Uniwersytet Michigan, CC BY-ND

● W przypadku każdej metody kluczowe są jej konsekwencje środowiskowe i parametry ekonomiczne.
W najlepszych przypadkach proces pozostawi mniej CO_2 w środowisku niż wcześniej. Dobrym na to przykładem jest wykorzystanie wychwyconego CO_2 do produkcji materiałów budowlanych, takich jak beton. Usuwa dwutlenek węgla z atmosfery i tworzy produkt, który ma wartość ekonomiczną. Kilka metod jest neutralnych pod względem emisji dwutlenku węgla, co oznacza, że nie dodają nowego CO_2 do środowiska. Na przykład podczas korzystania z CO_2 wychwytywanego z powietrza lub oceanów i przekształcania go w paliwo lub żywność, węgiel powraca do atmosfery, ale użycie wychwytywanego węgla pozwala uniknąć potrzeby nowego węgla z paliw kopalnych.
Inne kombinacje są jednak szkodliwe, ponieważ zwiększają ilość CO_2 w środowisku. Doskonałym przykładem jest popularne przechowywanie go w podziemnych składowiskach.

● Od lat działają instalacje wychwytujące nadmiar CO_2 i przechowujące go pod ziemią w naturalnych strukturach porowatych skał, takich jak głębokie zbiorniki solne, bazalt lub kawerny pozostałe po wydobyciu ropy naftowej lub gazu. Nazywa się to wychwytywaniem i sekwestracją dwutlenku węgla (CCS). Jeśli zostanie wykonany prawidłowo, składowanie geologiczne może trwale usunąć duże ilości CO_2 z atmosfery. Kiedy CO_2 jest wychwytywany z powietrza, wody lub biomasy, bilans węglowy jest ujemny – mniej CO_2 pozostaje w powietrzu. Jednakże jeśli CO_2 pochodzi z nowych emisji paliw kopalnych, na przykład elektrowni węglowej lub gazowej, neutralność węglowa nie jest możliwa. Żadna technologia wychwytywania dwutlenku węgla nie działa bowiem ze 100-procentową wydajnością, a część CO_2 zawsze przedostaje się w powietrze. Wychwytywanie CO_2 jest również kosztowne. Jeśli nie ma produktu do sprzedania, podziemne przechowywanie może stać się kosztowną usługą ostatecznie objętą podatkami lub opłatami, podobną do płacenia za utylizację śmieci. Jednym ze sposobów na obniżenie kosztów jest sprzedaż wychwytywanego CO_2 firmom wydobywającym ropę naftową – to powszechna praktyka, w ramach której przechwycone CO_2 zatłacza się w pole naftowe, aby więcej ropy wypchnąć z ziemi. Chociaż oczekuje się, że większość CO_2 pozostanie pod ziemią, rezultatem jest większa ilość paliw kopalnych, które ostatecznie wyślą więcej dwutlenku węgla do atmosfery, eliminując korzyści dla środowiska.

Porównanie CCUS według źródła i sposobu wykorzystania

Wartość sposobu wychwytywania i wykorzystania lub sekwestracji CO_2 w dużym stopniu zależy od źródła – paliwa kopalne, biomasa, powietrze, ocean etc. – oraz sposobu jego przechowywania lub użycia.

Metoda przechowywania lub użycia	Źródło CO_2: paliwa kopalne lub wapień	Źródło CO_2: powietrze, woda lub biomasa
Zwiększony odzysk ropy naftowej	Utrwala zależność od zasobów kopalnych	Zastępuje kopalny CO_2, ale wspiera dalsze stosowanie paliw kopalnych
Magazynowanie geologiczne	Redukcja emisji netto	Trwałe przechowywanie – brak zysku ekonomicznego
Materiały budowlane lub specjalistyczne	Opłacalne przechowywanie; ciągła zależność od kopalnego CO_2	Ujemne emisje, z zyskiem ekonomicznym
Chemikalia lub rolnictwo	Może zmniejszyć popyt na surowce, ale większość węgla kopalnego uwalnia się do atmosfery	Potencjał stałego przechowywania >100 lat
Żywność, paliwa lub płyny	Może zmniejszyć popyt na surowce, ale utleniane są znaczne ilości węgla kopalnego	Neutralny pod względem emisji dwutlenku węgla

Dane: Global CO_2 Initiative/University of Michigan

Ocena technologii: od najlepszej do najgorszej

● Krótkotrwałe materiały wykonane z CO_2 obejmują paliwa lotnicze, żywność, leki i płyny robocze stosowane w obróbce metali. Te przedmioty nie są szczególnie trwałe i wkrótce się rozkładają, ponownie uwalniając dwutlenek węgla. Ale ich sprzedaż daje wartość ekonomiczną, pomagając opłacić koszty procesu wychwytywania i przetwarzania CO_2. Może on zostać ponownie wychwycony z powietrza i wykorzystany do wytworzenia przyszłej generacji produktów, które stworzyłyby zrównoważoną i cyrkularną gospodarkę węglową. Jednak działa to tylko wtedy, gdy CO_2 jest wychwytywany z powietrza lub oceanów. Jeśli CO_2 pochodzi z paliw kopalnych, jest nowy w bilansie węglowym i zostanie dodany do środowiska, gdy produkty się rozkładają. Nawet więc jeśli zostanie ponownie uchwycony, negatywnie wpłynie to na klimat.

● Niektóre minerały i odpady mogą przekształcać CO_2 w wapień lub inne materiały skalne. Stworzone w ten sposób minerały mogą być bardzo trwałe, o żywotności dłuższej niż 100 lat. Dobrym przykładem jest cement. CO_2 może reagować z cząstkami w betonie, powodując jego mineralizację w postaci stałej. Rezultatem jest użyteczny produkt, który można sprzedać, zamiast przechowywać pod ziemią. Inne trwałe produkty obejmują kruszywa stosowane w budownictwie drogowym, włókno węglowe stosowane w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym i obronnym, a także niektóre polimery. Materiały te zapewniają najlepsze korzyści środowiskowo-ekonomiczne, gdy są wykonane z CO_2 wychwytywanego z atmosfery, a nie pochodzącego ze spalania paliw kopalnych.

● CCUS może być użytecznym rozwiązaniem, a rządy zaczęły inwestować miliardy dolarów w jego rozwój. Proces ten musi być ściśle monitorowany, aby zapewnić, że technologie wychwytywania dwutlenku węgla nie opóźnią stopniowego wycofywania paliw kopalnych. Trzeba wykorzystać najlepszą kombinację źródeł CO_2 i sposobów jego wykorzystania, aby wypracować metody łatwe do skalowania i przystępne kosztowo z punktu widzenia społeczeństwa. Ponieważ zmiany klimatu są tak złożonym problemem, który szkodzi ludziom na całym świecie i obciąża przyszłe pokolenia, uważam, że konieczne jest, aby działania były nie tylko szybkie, lecz także dobrze przemyślane i bazujące na dowodach.



Fot. Allison Saeng/Unsplash

Sekwestranci: energetyka



Fot. Patrick Schätz/Unsplash

TREND

Pierwotnie systemami CCS interesowała się głównie Europa. Wkrótce dołączyły do niej USA, które zwiększają wydobycie i wykorzystanie gazu, a także kraje Zatoki Perskiej, dla których ma to być podstawowy sposób na ograniczenie emisji z paliw kopalnych.

Rozwój

Liderem rozwoju technologii CCS pozostają Stany Zjednoczone. Sekwestracja rozwija się tu przede wszystkim w sektorze przetwarzania etanolu, gazu ziemnego i wodoru. Drugim kluczowym ośrodkiem inwestycji w projekty CCS jest UE. Ogólnoeuropejski cel to 50 Mtpa CO_2 do 2030 r. ustalony w ustawie Net-Zero Industry Act (wszedł w życie w czerwcu 2024 r.). Ambitne cele stawia sobie też Wielka Brytania, która wspiera rozwój czterech klastrów CCUS wychwytujących 20-30 Mtpa CO_2, a na początku października premier ogłosił, że w ciągu 25 lat na technologię wychwytywania przeznaczy do 21,7 mld funtów finansowania na wsparcie klastrów Teesside i Merseyside. CCS stał się też podstawowym modelem dekarbonizacji dla krajów Bliskiego Wschodu i Afryki, które coraz bardziej koncentrują się na CCS jako części swoich strategii dekarbonizacji: ZEA ma na celu wychwytywanie i składowanie 10 Mtpa CO_2 do 2030 r., Katar 11 Mtpa CO_2, a Arabia Saudyjska 44 Mtpa CO_2 do 2035 r. To niemal tyle co UE.

Technologia

Wychwytywanie dwutlenku węgla z kominów elektrowni i fabryk odbywa się głównie przez skierowanie spalin do komór wypełnionych roztworem wychwytującym – jest to zwykle mieszanka amin lub związków na bazie amoniaku, które wiążą się z CO_2, tworząc stabilną formę, którą można oddzielić od reszty spalin. Następnie związek ten się podgrzewa i CO_2 jest uwalniane z wiązania aminowego. Jedną z kluczowych wad jest energochłonność obecnej technologii, stąd rozwój nowych, bardziej efektywnych rozwiązań. Takich jak rodzaj akumulatora zaproponowany przez firmę Verdox: to elektrody pokryte związkiem zwanym poliantrachinonem, który w pewnych warunkach zyskuje chemiczne właściwości przyciągania dwutlenku węgla, a po ich zmianie może go uwalniać. Akumulator ładuje się prądem o niskim natężeniu, przyciągając przepływające cząsteczki CO_2. Kiedy się nasyci, wystarczy odwrócić napięcie, a CO_2 zostaje uwolnione jako strumień czystego gazu.

Gracze

Drax Power Station
Klemetsrud Waste-to-Energy CCS
Glacier CCS Project – Entropy
Bayu-Undan
Verdox
Saudi Aramco
S-Hub
Worley
Porthos

Sekwestranci: przemysł

TREND

Chociaż rozwój systemów wychwytywania dwutlenku węgla zaczął się w energetyce, to z biegiem czasu będzie miał znacznie większe znaczenie dla dekarbonizacji sektorów przemysłu pracujących w bardzo wysokich temperaturach, takich jak hutnictwo oraz produkcja cementu. Tu wyeliminowanie procesu spalania będzie bowiem znacznie trudniejsze niż w energetyce.

Fot. Morteza Mohammadi/Unsplash

Rozwój

Obecnie w przemyśle cementowym działa tylko jeden zakład sekwestracji CO_2, Qingzhou Oxy-Fuel Combustion Carbon Capture Project w Chinach, a jeden jest w budowie – Brevik Cement Plant w Norwegii. Aktywnie rozwija się jednak 30 projektów CCS. Są one zlokalizowane w Europie, Ameryce Północnej i Chinach i mają łączną zdolność wychwytywania 29 Mt CO_2. W hutnictwie zakłady produkcyjne mają tendencję do długiego okresu eksploatacji i mało prawdopodobne jest, aby zamykano je dla wprowadzenia nowych bezemisyjnych technologii. Stąd wychwytywanie CO_2 przy produkcji stali ma tak duże znaczenie. Obecnie działa tylko jedna instalacja CCS Al Reyadah w Zjednoczonych Emiratach Arabskich. Rocznie wychwytuje 0,8 Mt CO_2 w zakładach wykorzystujących technologię bezpośredniej redukcja żelaza (DRI), o czym obok. W Ameryce Północnej oraz w regionie Azji i Pacyfiku w trakcie realizacji jest sześć kolejnych projektów CCS, które będą obniżać emisyjność hutnictwa.

Technologia

W hutnictwie jednym z rozwiązań jest wykorzystanie bezpośredniej redukcji żelaza (DRI), która eliminuje bezpośrednie emisje dwutlenku węgla – w tym przypadku węgiel zastępowany jest przez wodór - oraz pieców łukowych, potrzebujących znacznie mniej energii niż klasyczne. Z kolei naukowcy z MIT Department of Mechanical Engineering sugerują, aby proces wychwytywania połączyć z przekształceniem go w surowiec do dalszej produkcji. Dzięki elektrodom przyciągają CO_2 uwalniane z sorbentu i przekształcają je w formę nadającą się do użytku. Z kolei naukowcy z BSRC Fleming zaproponowali, aby przy sekwestracji wykorzystać anhydrazę węglanową (enzym CA-KRI), rodzaj białka, które przyspiesza proces rozpuszczania dwutlenku węgla w wodzie. W porównaniu z konwencjonalnymi metodami enzym ten doskonale radzi sobie w warunkach przemysłowych w temperaturach powyżej 80 st. C. Sprawdzać się to w technologii usuwania CO2 z mieszanin gazowych (Hot Potassium Carbonate, HPC).

Gracze

Heidelberg
Holcim
Cemex
Summit (Mid West Express)
Navigator (Heartland Greenway)
Prinos
Helios
ADNOC
Emirates Steel Industries

Sekwestranci: sieci



TREND

Historycznie rzecz biorąc, instalacje CCS były zintegrowane pionowo – pojedyncza instalacja wychwytywania CO_2 z dedykowanymi systemami sprężania, rurociągów i magazynowania CO_2. Dziś dominującym modelem rozwoju stają się jednak sieci CCS.

Fot. Northern Lights

Rozwój

Wdrażanie CCS za pośrednictwem sieci bierze górę, ponieważ zapewniają one korzyści skali, które zmniejszają koszty, ryzyko i oferują synergię modeli biznesowych. Rozwijane są węzły wychwytywania i sieci transportowe do obsługi regionalnych źródeł CO_2. Źródła te znajdują się zwykle w odległości mniejszej niż 1000 km od zasobu składowania, ale mogą być znacznie dalej, jeśli pozwala na to skala i ekonomika projektu, szczególnie gdy głównym środkiem transportu jest statek. Ciągły rozwój sieci CCS zaowocował powstaniem nowej kategorii branżowej – infrastruktury do transportu i składowania CO_2. Liderem tego segmentu jest norweski Northern Lights. Dziś jest to największa kategoria sektorowa CCS: na całym świecie rozpoczęto pracę nad 126 instalacjami tego typu, podczas gdy największa pojedyncza branża, czyli producenci etanolu, pracuje nad 84 projektami.

Jak to działa

Sieci CCS obejmują zakłady wychwytujące wykorzystujące wspólną infrastrukturę transportową i magazynową. Wiele obiektów do transportu i składowania CO_2 objętych planem wdrożenia nie jest powiązanych z konkretnym źródłem wychwytywania CO_2. Te same obiekty do transportu oraz składowania CO_2 wciąż mają jednak projektowaną przepustowość i ogłaszają maksymalną roczną wielkość zatłaczania, która będzie wykazywana jako ich pojemność. Według informacji CCS Institute modelowanie sugeruje, że można by wychwycić i składować do 4,2 Gt CO_2 poprzez utworzenie 160 węzłów na całym świecie przy kosztach poniżej 85 dol. za tonę CO_2. Oczywiste jest, że rozwój sieci i węzłów CCS ma kluczowe znaczenie, ponieważ do osiągnięcia celów zerowej emisji netto do połowy stulecia wymagane jest składowanie około 10 Gt CO_2 rocznie.

Gracze

Northern Lights
Wolf
CarbonNet
CarbFix CODA
Knutsen NYK Carbon Carriers

Sekwestranci: powietrze



TREND

Początkowo przewidywano, że emisje CO_2 będę wychwytywane wyłącznie u źródła, takiego jak elektrownia, huta czy cementownia. Wraz z takimi firmami jak Climeworks pojawiły się jednak instalacje do wyławiania dwutlenku węgla z każdego rodzaju powietrza (DAC – Direct Air Capture) i sektor ten stał się wyjątkowo prężnie rozwijającą się niezależną działalnością.

Fot. Climeworks

Rozwój

Climeworks, pierwszą prototypową instalację Direct Air Capture (DAC), uruchomiła w 2017 r. w szwajcarskim Hinwil, a komercyjny zakład Orca ruszył jesienią 2021 r. w Islandii. Możliwość wychwytywania 4 Kt CO_2 rocznie sprawiało, że instalacja ekologiczna, zasilana energią geotermalną, była największą na świecie. Climeworks w 2022 r. pozyskał 650 mln franków finansowania na kolejny, znacznie większy projekt Mammoth – uruchomiony został także na Islandii w maju 2024 r. i przechwytuje 36 Kt CO_2. Climeworks stawia teraz Cypress, pierszą instlację w USA równolegle powstaje tu jednak znacznie większy projekt: Occidental Petroleum kosztem 1,3 mld dolatów latem 2025 r. planuje uruchomić instalację Stratos o mocy 500 Kt CO_2. Za oceanem w użyciu są na razie dwie małe instalacje: Heirloom w 2023 r. zbudował w Bay Area DAC o mocy 1 Kt CO_2, a Heimdal w 2024 r. w Oklahomie uruchomiła zakład Bantam o mocy 5 Kt CO_2. W sumie na świecie działają na razie 4 instalacje DAC, ale powstaje w sumie 16 kolejnych.

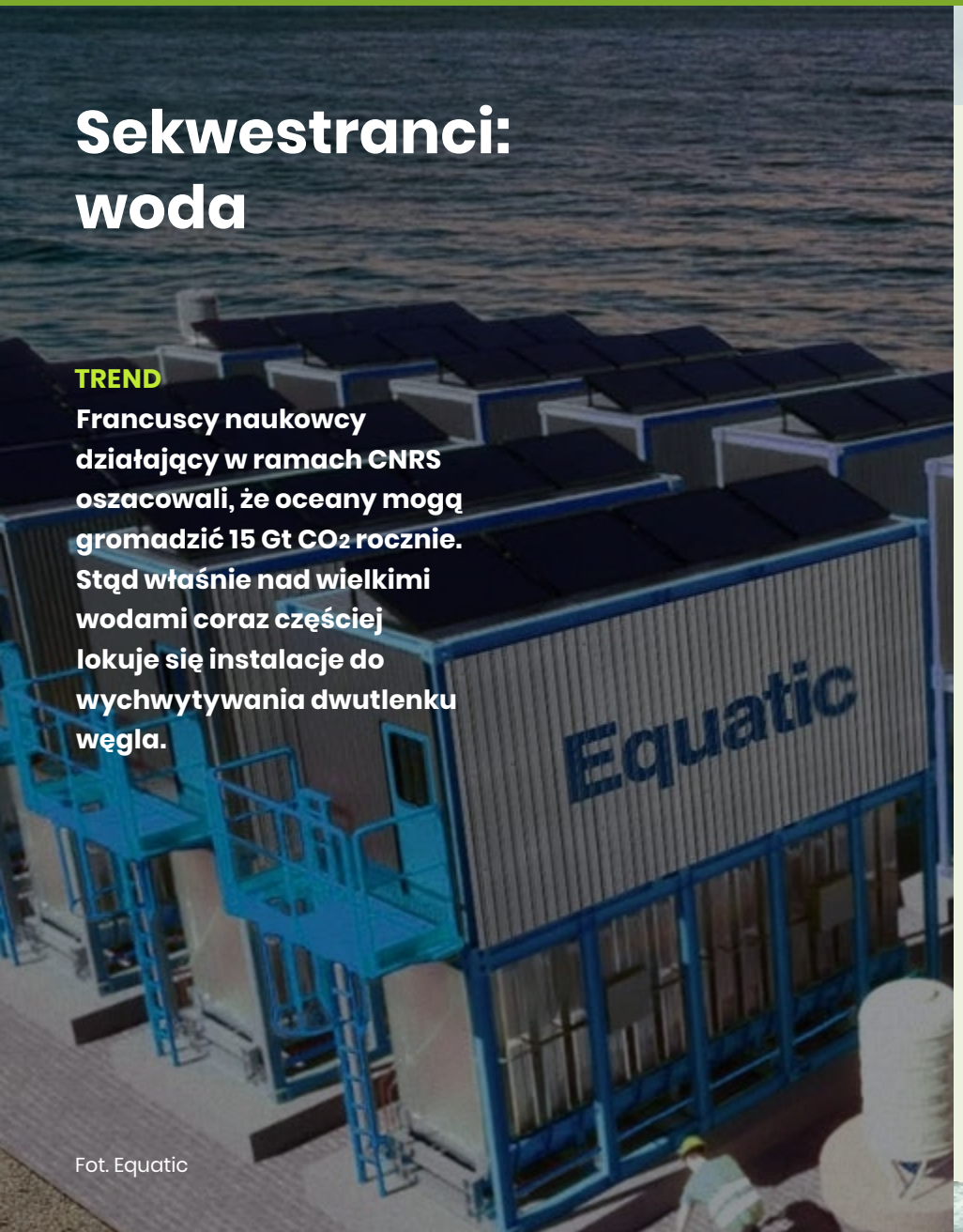
Koszty

Największą słabością projektów bezpośredniego wychwytywania CO_2 z powietrza (DAC) jest duża energochłonność (około 1,2 tys. kWh na tonę CO_2), co przekłada się na wysokie koszty pozyskania CO_2 – wahają się między 500 a 1000 euro za tonę. Dla porównania cena uprawnień do emisji CO_2 w ub.r. sięgała 70 euro. Na razie Climeworks oferuje więc dobrowolne offsety dla firm i osób fizycznych – analogiczne np. do zielonych offsetów sprzedawanych z biletami lotniczymi. Są to pakiety miesięczne 30, 50, 100 dol. za wychwycenie odpowiednio 30, 50 i 100 kg CO_2, co odpowiada kosztom sekwestracji. Przedsiębiorstwa inwestujące w DAC nie zrażają się tym jednak – Occidental do 2035 r. chce mieć 70 takich instalacji, a Heirloom przekonuje, że w przyszłej dekadzie zejdzie z kosztami do poziomu 100 dol. za tonę. Z kolei Noya pracuje nad tanim, modułowym systemem o małej mocy. To rodzaj klimatyzatora (cooling tower), który będzie nie tylko chłodzić, ale też zbierać CO_2, co ma obniżyć koszty sekwestracji.

Gracze

Climeworks
Heirloom
Battelle
Occidental
1PointFive
Carbon Engineering
Noya
Oxy
Carbfix

Sekwestranci: woda



Fot. Equatic

TREND

Francuscy naukowcy działający w ramach CNRS oszacowali, że oceany mogą gromadzić 15 Gt CO_2 rocznie. Stąd właśnie nad wielkimi wodami coraz częściej lokuje się instalacje do wychwytywania dwutlenku węgla.

Rozwój

Instalacja do sekwestracji CO_2 w wodzie morskiej jest przede wszystkim znacznie mniejsza niż fabryki wychwytujące dwutlenek węgla z powietrza, przez co mniejsza jest też skala inwestycji. Tutaj proces sekwestracji jest też znacznie mniej energochłonny, więc jest tańszy. Heimdel, szacuje, że koszt wychwycenia tony CO_2 w jego pilotażowym projekcie to 472 dol., czyli nawet połowa tego, co w przypadku sekwestracji z atmosfery. W Quebecu Equatic stawia już bardzo dużą instalację o mocy 110 Kt CO_2, która będzie jednocześnie produkować 3,6 Kt wodoru, sekwestracja dwutlenku węgla w oceanie wciąż budzi jednak wątpliwości i wg wielu naukowców może wiązać się z nieznanymi ryzykami. „Nie ma jeszcze wystarczających informacji na temat skuteczności lub wpływu jakiegokolwiek konkretnego podejścia, a więc nie można podejmować świadomych decyzji dotyczących ich stosowania na dużą skalę", napisali w liście otwartym opublikowanym na Ocean CDR Science.

Technologia

Oceanu można użyć jako nośnika CO_2, który da się odfiltrować. Proces zaczyna się od odsolenia wypompowanej wody, którą poddaje się elektrolizie. Tu rozdziela się na dwa roztwory: zasadowy zawierający wodorotlenek sodu (NaOH) i kwasowy z chlorowodorem (HCl). Kwas wykorzystuje się w procesach przemysłowych, a odkwaszony roztwór jest zawracany do oceanu, zwiększając jego zdolność do pochłaniania większej ilości atmosferycznego CO_2 – NaOH w morzu reaguje z CO_2 z powietrza, tworząc wodorowęglan. Na UCLA opracowano z kolei reaktor przepływowy wyposażony w siatkę, który umożliwiałby przenikanie ładunku elektrycznego do wody, w ten sposób czyniąc ją alkaliczną. Rozpuszczony dwutlenek węgla łączy się tu z wapniem i magnezem występującymi w wodzie morskiej, tworząc wapień i magnezyt. Wyczyszczona z niego woda opuszczająca reaktor gotowa jest do przyjęcia większej ilości CO_2. Do wody morskiej można dodać też np. oliwinu (rodzaj krzemianu), który zwiększa możliwości wychwytywania CO_2.

Kluczowi gracze

Heimdel
Ebb Carbon
ClimateWorks
UCLA Institute for Carbon Management
The Liveability Challenge
Chan Zuckerberg Initiative Vesta
Equatic

Sekwestranci: morskie uprawy

TREND

Dwutlenek węgla przechwytywać i gromadzić w wodzie można nie tylko za sprawą wyrafinowanych technologii bazujących na elektrolizie. Nie mniej skuteczne są wszelkie odmiany morskiego rolnictwa.



Fot. Alexandros Giannakakis/Unsplash

Wodorosty

Zostera to rodzaj szybko rosnącej morskiej trawy, którą co roku od ponad dekady mieszkańcy Jokohamy sadzą w kwietniu na przybrzeżnym dnie morskim w ramach Yokohama Blue Carbon. Podobnie czynią mieszkańcy Fukuoki. Rozrastając się, zostera gromadzi dużą ilość CO_2, który później można odsprzedać w formie kredytów węglowych. To tzw. niebieski węgiel, pojęcie wprowadzone w 2009 r. przez Program Środowiskowy Narodów Zjednoczonych (UNEP). To węgiel zmagazynowany w środowiskach morskich m.in. właśnie w formie roślin wodnych. Trawy morskie takie jak zostera są przy tym jadalne, a prof. Gregory Nishihara z Uniwersytetu Nagasaki wyliczył, że dla wychwycenia całej krajowej emisji wyłącznie za pomocą wodorostów trzeba by wykorzystać 10 proc. morskiej strefy ekonomicznej Japonii, która obejmuje około 433 mln ha.

Algi

Algi czy też glony to właściwie mniejsi kuzyni wodorostów, którzy mają te same zalety: szybko rosną w morskiej toni, gromadząc duże ilości dwutlenku węgla, a jednocześnie bardzo dobrze nadają się jako pokarm. Z powodzeniem technikę ich masowej uprawy opanowali już Brytyjczycy z Brilliant Planet (o czym na kolejnej stronie), a naukowcy z Cornell University przewidują, że w połowie wieku algi staną się treścią naszych posiłków. Biorąc pod uwagę rosnącą liczbę ludności globu, glony mają przewagę, jeśli chodzi o efektywność upraw, nawet w porównaniu z tak wydajnymi roślinami jak soja. Do produkcji tej samej ilości niezbędnych aminokwasów algi potrzebują tylko jakieś 13 proc. gruntu, które zużywa soja, ale co jeszcze ważniejsze, niespełna 0,2 proc. wody, którą pochłaniają jej uprawy. W zmniejszaniu emisji gazów cieplarnianych algi mają też tę zaletę, że jako dodatek do pasz zmniejszają ilość wydzielanego przez krowy metanu.

Plankton

Wykorzystanie zooplanktonu może być jedną z najciekawszych metod na topienie CO_2 w głębinach morza. Naukowcy z Dartmouth College na łamach magazynu „Nature" opisali, jak napędzili ten proces przy użyciu gliny rozpylonej na powierzchni oceanów. W tej formie dobrze wiąże się z cząsteczkami dwutlenku węgla i staje się atrakcyjnym pokarmem dla zooplanktonu. Ten z kolei, trawiąc, przetworzony pokarm wydala, a odchody osiadają na dnie. Glinę najlepiej rozpylać pod koniec okresu zakwitu glonów, które rozprzestrzeniają się na setki mil kwadratowych i rocznie usuwają około 150 mld ton CO_2. Rozkładając się, oddają go jednak do atmosfery i tu właśnie do gry wkracza glina, która zawczasu łączy się z ulatującymi cząsteczkami węgla, z powrotem ściągając go do wody jako pokarm dla planktonu.

Sekwestranci: łowcy CO_2 z morskiej toni



Fot. Angus Gray/Unsplash

Wyłapywanie rozpuszczonego w wodzie dwutlenku węgla (CO_2) może być nawet bardziej efektywne niż tego lotnego, z powietrza. Pokazują to firmy, które w swoich instalacjach DOC (Direct Ocean Capture) wykorzystują wszelkie dostępne i sprawdzone technologie.

Brineworks

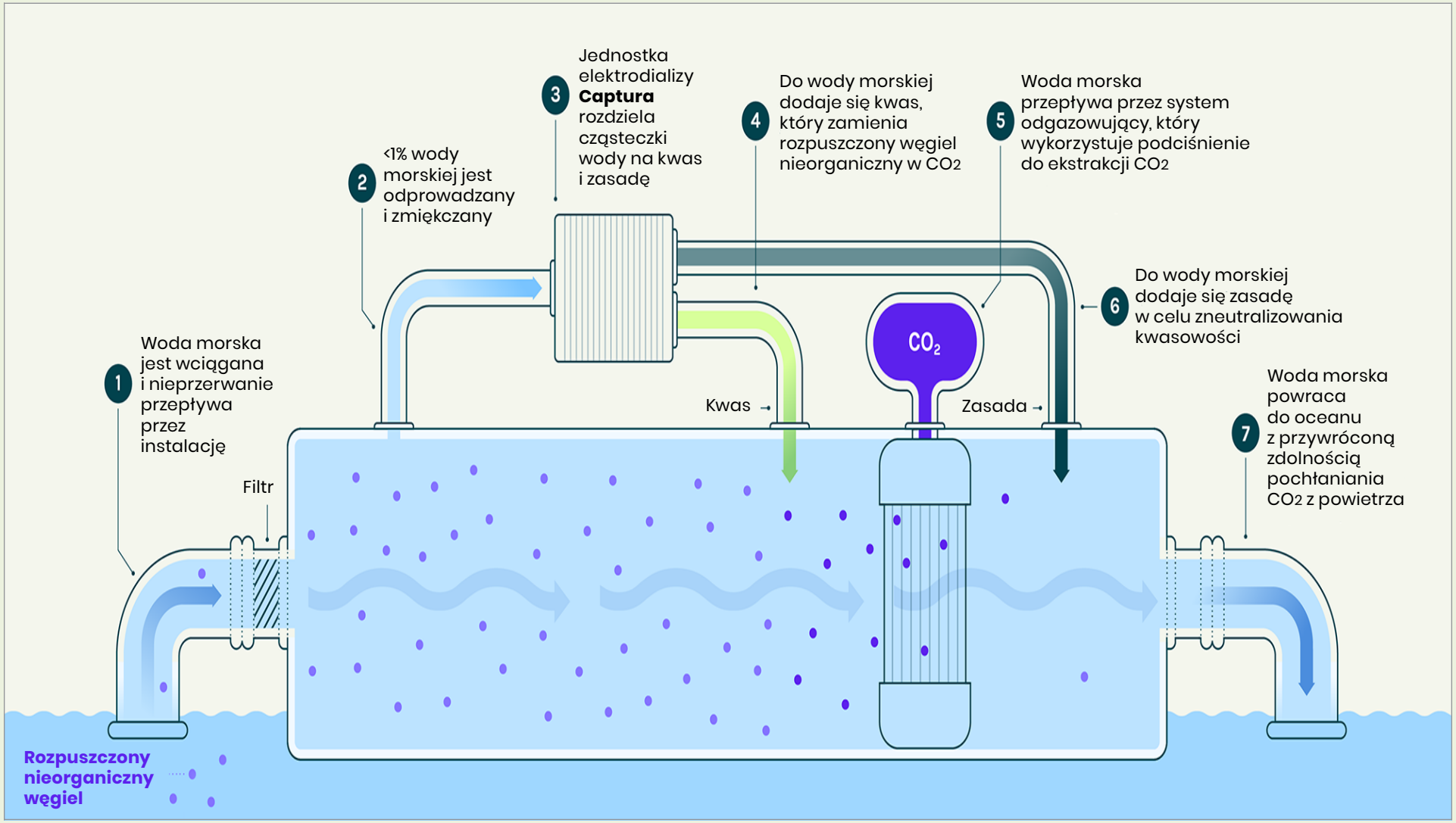
Ten holenderski start-up jako punkt wyjścia do ekstrakcji CO_2 z wody morskiej wykorzystuje elektrolizę, która dzieli cząsteczki wody na tlen i wodór. Proces zasilany jest z OZE, sam jest więc bezemisyjny, a do oceanu oddaje tylko wodę, bez dodatków chemicznych. Kolejną zaletą technologii Brineworks jest fakt, że jako produkt uboczny wytwarza zielony wodór. Jego sprzedaż ma być dodatkowym źródłem przychodów. W modelu biznesowym kluczowe jest jednak obniżenie kosztów wychwytywania CO_2 do 100 dol. za tonę, czyli dwa razy mniej niż w przypadku DAC.

Brilliant Planet

To brytyjski start-up, który postanowił walczyć z rosnącymi globalnymi temperaturami za pomocą mikroalg. Firma specjalizuje się w uprawie mikroalg na pustyniach przybrzeżnych i stawach zewnętrznych z zamiarem wyciągnięcia dwutlenku węgla z atmosfery. Dotychczas problemem z mikroalgami rosnącymi w laboratorium była ich silna wrażliwość na nawet drobne zmiany w jakości wody, co skutkowało wyższymi kosztami. Brilliant Planet udało się jednak wymyślić innowacyjny proces, który obniżył te koszty, torując w ten sposób drogę do skalowalności i potencjalnego usuwania CO_2 z atmosfery. Brytyjski start-up już z powodzeniem zademonstrował wydajność swojej technologii w Maroku i obecnie współpracuje z globalną firmą konsultingową ds. inżynierii i zarządzania Mott MacDonald nad wdrożeniem największego na świecie zakładu produkcji glonów, który miał być uruchomiony już w zeszłym roku.

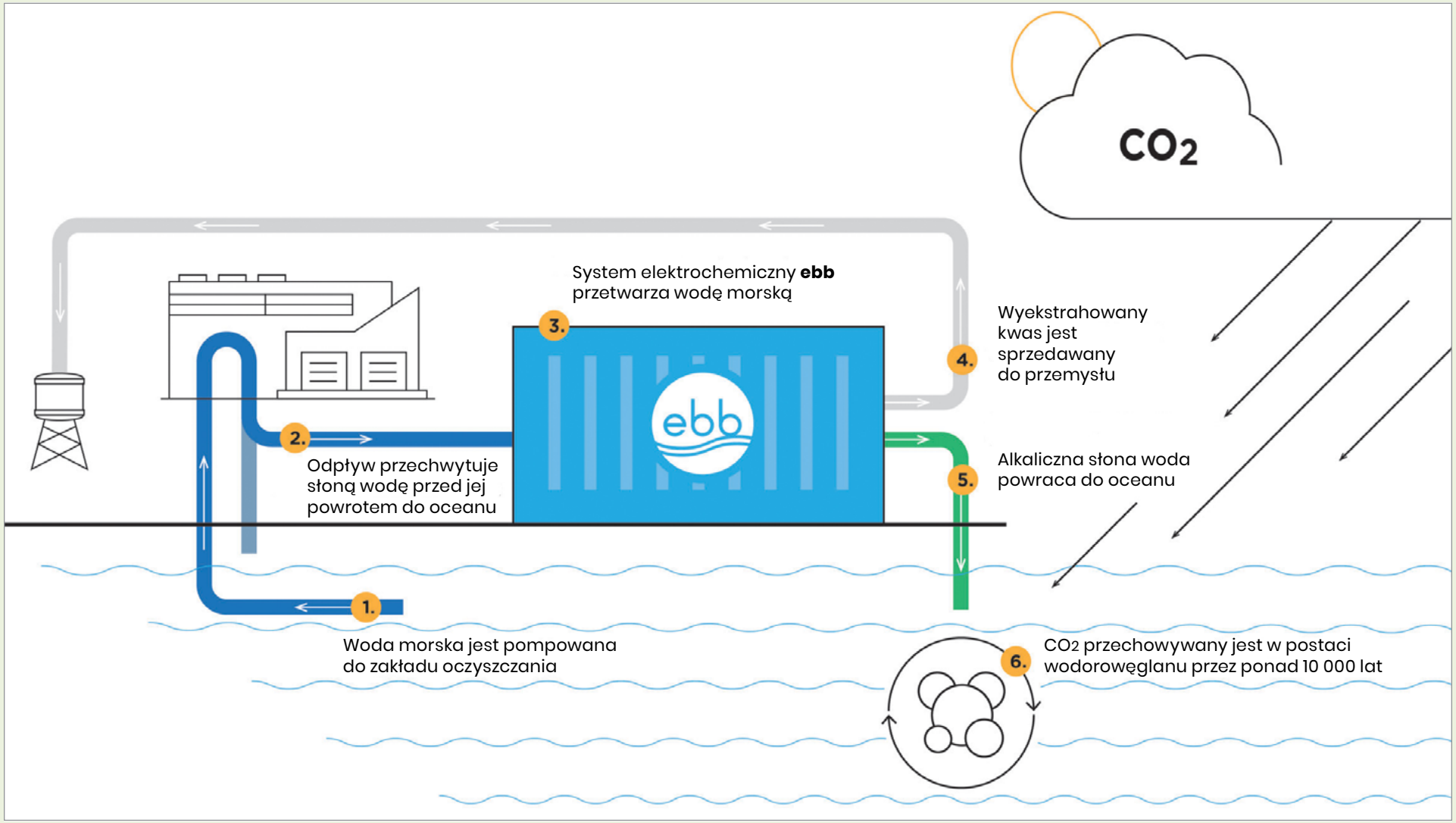
Captura

To spin-off California Institute of Technology (Caltech), który do wydobycia CO_2 z wody wykorzystuje elektrodializę. Proces ten polega na zakwaszeniu wody oceanicznej, dzięki czemu rozpuszczony w wodzie morskiej dwutlenek węgla jest uwalniany, a następnie wychwytuje się go za pomocą membran. Do napędzania procesu Captura również wykorzystuje energię odnawialną, a żeby jeszcze bardziej zmniejszyć własny ślad węglowy, do wydobywania CO_2 chce zastosować istniejącą infrastrukturę, taką jak zakłady odsalania lub wycofane z eksploatacji platformy wiertnicze. Captura ma wsparcie Departamentu Energii USA i firm z branży, takich jak norweski Equinor. Wspólnie pracują nad projektem pilotażowym na Hawajach, który będzie usuwał 1 tys. ton CO_2 rocznie.



Ebb Carbon

Firma swoją działalność koncentruje na organizacjach przetwarzających wodę, takich jak farmy rybne, zakłady odsalania, zakłady przemysłu przybrzeżnego i oceaniczne laboratoria badawcze. Gdy woda morska przepływa przez te obiekty, technologia Ebb dzieli ją na kwaśne i alkaliczne roztwory przy użyciu niskoemisyjnej energii elektrycznej. Powstały w ten sposób roztwór alkaliczny zwracany jest do oceanu, gdzie wiąże CO_2, tworząc wodorowęglan, który jest stabilną formą magazynowania CO_2 przez 10 000 lat. Proces jest tu więc odwrotny niż w przypadku Sea02. W ten sposób Ebb pomaga również obniżyć kwasowość oceanu, która wpływa na gatunki morskie, takie jak ryby i skorupiaki.

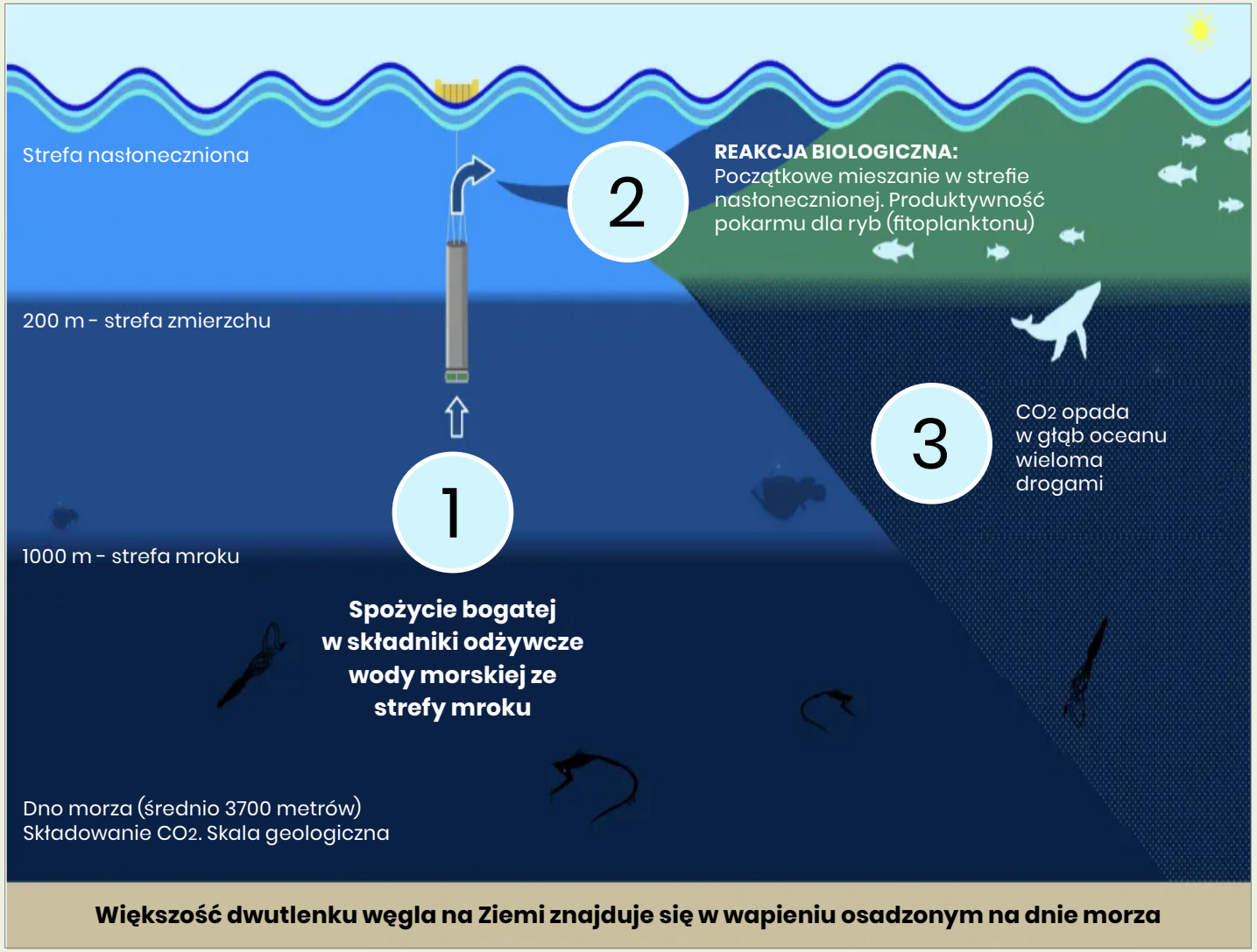


Equatic

To start-up zajmujący się usuwaniem dwutlenku węgla, który niedawno wydzielił się z Instytutu Zarządzania Węglem UCLA Samueli School of Engineering. Unikalne podejście Equatic wykorzystuje naturalną zdolność oceanu do sekwestracji dwutlenku węgla i przyspiesza ją za pomocą procesu, który ostatecznie nie tylko skutkuje trwałym usuwaniem CO_2, ale także wytwarza wodór ujemny pod względem emisji dwutlenku węgla. Firma posiada dwa zakłady pilotażowe w Singapurze i Los Angeles. Cały dwutlenek węgla obecnie usuwany przez start-up z siedzibą w Los Angeles został już przedsprzedany takim klientom jak dostawca płatności Stripe czy Boeing – ten ostatni podpisał umowę zakupu 62 Kt CO_2, a także na 2,1 Kt wodoru. Do 2026 r. firma chce usuwać 100 Kt dwutlenku węgla rocznie, a następnie zwiększyć swoją działalność, aby osiągnąć miliony ton do 2028 r. Wówczas chce już osiągnąć koszty poniżej 100 dol. za tonę CO_2.

Ocean-Based Climate Solutions

To jeden z pionierów oceanicznych CDR, który działalność rozpoczął w 2005 r. Bazuje na technologii, która nie tylko pomaga usunąć emisję dwutlenku węgla z atmosfery, ale także zwiększa populacje ryb: pobiera CO_2 z powietrza i przekształca go w pokarm dla ryb oceanicznych, jednocześnie zatapiając dwutlenek węgla na dno morskie. Technologia ta obejmuje pompy upwell, które przenoszą wodę, bogatą w składniki odżywcze, z głębin morskich na nasłonecznioną powierzchnię, gdzie nadmiar CO_2 jest naturalnie przekształcany w fitoplankton. Firma z siedzibą w Santa Fe przetestowała swoją technologię w różnych częściach świata, w tym w USA, na Bermudach i w Peru. Inną zaletą tej technologii jest to, że zasila ją wyłącznie odnawialna energia ze słońca i fal morskich.



Większość dwutlenku węgla na Ziemi znajduje się w wapieniu osadzonym na dnie morza

SeaO_2

To kolejna holenderska inicjatywa, tym razem spin-off Uniwersytetu w Delf. Tu podstawą procesu jest jednak elektrodializa, dzięki której CO_2 udaje się wyekstrahować z wody morskiej. SeaO_2 najpierw pobiera wodę z głębokości 50–100 m, po wstępnym odfiltrowaniu trafia ona do elektrodializera bipolarnego (BPMED), gdzie prąd odpowiedniej gęstości generuje tzw. trwałą huśtawkę pH, oddzielając kwasy od zasad. Zakwaszona tu woda morska jest poddawana odgazowaniu CO_2, podczas którego rozpuszczone jony wodorowęglanu zmieniają się w rozpuszczony dwutlenek węgla. W tej formie jest ekstrahowany z wody, kompresowany i magazynowany. Aby przywrócić równowagę pH, do zakwaszonej wody dodaje się strumień alkaliczny wytworzony w elektrodializerze. W takim stanie może wrócić do oceanu. W 2023 r. firma usunęła pierwszą tonę CO_2, a w tym roku ma to być już 1 tys. ton, w 2030 1 mln ton, a w 2045 r. aż 1 mld ton.



Planetary Technologies
Firma postawiła sobie ambitny cel, jakim jest wychwycenie 1 mld ton dwutlenku węgla z atmosfery do 2045 r. Planetary Technologies działa przy tym jednocześnie na czterech frontach: usuwa CO_2 z powietrza, oczyszcza odpady kopalniane, zamieniając je w nietoksyczny środek zobojętniający, dzięki któremu przywraca naturalną kwasowość oceanu (dzięki temu ocean może wyciągać dwutlenek węgla z powietrza). Dodatkowo proces ten jako „produkt uboczny" wytwarza zielony wodór. Aby skalować swoją technologię, firma podjęła już przygotowania do otwarcia pierwszych zakładów w Kanadzie i Wielkiej Brytanii. Planetary Technologies ściśle współpracuje również z instytucjami akademickimi, takimi jak Plymouth Marine Lab i University of Miami Basico.

Running Tide
Założona w 2017 r. Running Tide łączy ze sobą proces fotosyntezy i zwiększania zasadowości wody oceanu. Uprawiając makroalgi i skorupiaki, a następnie zatapiając je na dnie, wykorzystuje procesy geologiczne, które pozwalają na długoterminowe przechowywanie CO_2. Firma niedawno podpisała umowę z Microsoftem na sekwestrację 12 Kt CO_2 i wybrała Deloitte jako audytora dla kredytów węglowych, które zamierza wydać. Running Tide rozmieścił dwie konstelacje platform obserwacyjnych oceanów u wybrzeży Islandii. Będą one wykorzystywane do zapewnienia wglądu w biochemię oceanu i pomocy w modelowaniu optymalnej ścieżki do skalowania jego technologii.

Seafields
To firma naukowa z Wielkiej Brytanii, która oferuje Sargassum jako rozwiązanie kryzysu klimatycznego. Jest to rodzaj brązowych makroalg lub wodorostów, które naturalnie występują w umiarkowanych i tropikalnych oceanach świata. Uprawa i zatapianie sargassum w głębinach oceanu może działać jako sposób na usunięcie i przechowywanie ogromnych ilości CO_2 przez tysiąclecia. Zaletą tych alg jest fakt, że swobodnie pływają i gromadzą dużą ilość węgla. Ponadto wodorosty rosną bardzo szybko i podwajają objętość co dwa tygodnie, dzięki czemu rozwiązanie to jest niezwykle łatwe do skalowania. Seafields twierdzi, że jest pierwszą firmą, która udomowiła sargassum.

Vesta
Projekt Vesta oferuje bardzo obiecujące podejście do oceanicznego CDR, ponieważ jego rozwiązanie obraca się wokół materiału, który jest już dostępny w obfitości – piasku. Rozwiązaniem jest to, co określa się jako wzmocnione wietrzenie wybrzeża. Mianowicie firma odkryła, że dodanie niewielkich ilości drobno zmielonego minerału oliwinu do regularnego dźwięku na plaży może pomóc w wydobywaniu większej ilości CO_2 z powietrza, a nawet przywrócić podlegające erozji wybrzeża. Aby zaprezentować tę koncepcję, Vesta uruchomiła swój pierwszy projekt demonstracyjny w Southampton wraz z NSBC Beach Erosion Control District (NSBC-BECD) latem 2022 r. Ponieważ oliwin jest jednym z najczęstszych minerałów na świecie, rozwiązanie klimatyczne Vesty jest nie tylko skalowalne, ale może być potencjalnie bardziej opłacalne niż wiele innych alternatyw. Ponadto Vesta pracuje również nad zrozumieniem, w jaki sposób jej podejście CDR może pozytywnie wpłynąć na wysiłki polityczne.



Sekwestranci: skały



TREND

Dopiero rodzącą się technologią gromadzenia CO_2 poza atmosferą jest wykorzystywanie minerałów. To tzw. mineral carbonation, co można dość niezgrabnie tłumaczyć jako karbonatyzacja mineralna (ew. mineral sequestration).

Fot. Unsplash

Rozwój

W tym przypadku wychwycony CO_2 reaguje z materiałami zawierającymi tlenki metali, tworząc węglany i stały produkt uboczny, np. krzemionkę. Produkty karbonatyzacji minerałów to naturalnie występujące, stabilne ciała stałe. Złoża krzemianu magnezu i wapnia wystarczą do wiązania CO_2, który mógłby powstać w wyniku spalania wszystkich zasobów paliw kopalnych: aby związać tonę CO_2, potrzeba około 1,6–3,7 ton skał. Co więcej, z termodynamicznego punktu widzenia nieorganiczne węglany reprezentują niższy stan energetyczny niż CO_2, stąd reakcja karbonatyzacji jest egzotermiczna i może dostarczyć energię. Proces jest jednak powolny, a technologia wciąż jest w fazie rozwoju. Najlepszym zbadanym dotychczas przypadkiem jest mokra karbonatyzacja naturalnego oliwinu krzemianowego, kosztuje od 50 do 100 dol. za tonę zmagazynowanego CO_2 i przekłada się na 30-50 proc. oszczędności energii w pierwotnej elektrowni (dane IPCC).

Technologia

Dobrym absorberem CO_2 są skały bazaltowe. Wykorzystuje to m.in. Lithos, który kruszy ją na pył i rozprowadza na polach uprawnych. Kiedy woda deszczowa miesza się z bazaltem, wyzwala reakcję chemiczną, która wychwytuje i zatrzymuje CO_2 w postaci wodorowęglanu spływającego rzekami do mórz, gdzie odżywia rafy koralowe oraz skorupiaki. Z kolei CarbFix dwutlenek węgla łączy z wodą, tworząc rodzaj wody gazowanej wtłaczanej pod ziemię. Dzięki wysokiemu ciśnieniu gaz się nie ulatnia, a w kontakcie ze skałą bazaltową uwalnia z niej dostępne kationy, takie jak wapń, magnez i żelazo, które łączą się z rozpuszczonym CO_2 i tworzą węglany wypełniające puste przestrzenie (pory) w bazalcie. Skala czasowa tego procesu jest bardzo krótka – 95 proc. wstrzykniętego CO_2 ulega mineralizacji w ciągu 2 lat.
Pułapką na CO_2 jest także tlenek wapnia: rozprowadza się go na specjalnych tacach, gdzie jak gąbka może pochłaniać CO_2 z powietrza.

Gracze

CarbFix
Lithos
Heirloom Carbon
Carbon Direct
Caltex
ADNOC

Sekwestranci: rolnictwo

TREND

Rolnictwo jest jednym z kluczowych emitentów CO_2: wg danych IPCC uprawy bezpośrednio odpowiadają za 8,5 proc. emisji gazów cieplarnianych. Szacuje się, że od początku istnienia rolnictwa wyemitowało ono do atmosfery 133 Gt CO_2. Teraz czas, aby je z powrotem schować pod ziemię.

Fot. Jules Bassoleil/Unsplash

Polityka

Gdy na początku lutego 2024 r. komisarz UE ds. działań klimatycznych Wopke Hoekstra przedstawiał nowe cele klimatyczne wyznaczone przez Komisję Europejską, po raz pierwszy miała paść deklaracja dotycząca wyznaczenia celów emisyjnych dla rolnictwa. Ustalono, że do 2040 r. sektor agro ograniczy emisję gazów cieplarnianych o 30 proc. w stosunku do roku 2015. Ostatecznie pod naciskiem rolników KE wycofała się jednak z jednoznacznej deklaracji. Bardziej aktywni na tym polu okazali się Duńczycy, którzy w czerwcu przyjęli podatek od emisji CO_2 dla hodowców. Ma obowiązywać jednak dopiero od 2030 r. Wówczas duńscy farmerzy będą opodatkowani w wysokości 300 koron (173 zł) za 1 tonę CO_2 (w 2035 r. podatek wzrośnie do 750 koron (433 zł). Warto zaznaczyć, że na jedną krowę rocznie przypada około 6,6 tony CO_2. Podobne przepisy próbował wprowadzić rząd Nowej Zelandii, ale kilka miesięcy temu rolnicy wymusili ich uchylenie.

Biznes

Dziś za niskoemisyjne rolnictwo biorą się największe spożywcze koncerny świata. I tak zajmujący się dostawą produktów i usług dla przemysłu rolno-spożywczego Cargill pomaga rolnikom zarabiać na kompensacjach węglowych. General Mills do 2030 r. zamierza za to przeznaczyć milion akrów pod tzw. uprawy prowadzone zgodnie z zasadami rolnictwa regeneracyjnego (szerzej o nim na kolejnej stronie), a PepsiCo chce mieć 7 mln akrów tego typu farm. Heineken testuje tego rodzaju praktyki przy uprawie jęczmienia do produkcji piwa, a Nestlé ma zainwestować ponad miliard dolarów w zastosowanie ujemnego węglowo rolnictwa w swoim łańcuchu dostaw. O wdrażanie tego typu działań dba start-up Regrow Ag, mapując, w jaki sposób zmiany w dostawcach, praktykach zarządzania gospodarstwem rolnym i użytkowaniu gruntów zmniejszą ślad węglowy branży spożywczej w całym jej łańcuchu wartości. Firma założona przez Anastasię Volkovą ma wśród klientów takich potentatów jak Nutrien, Bayer, Cargill, General Mills, Kellogg's i John Deere.

Gracze

Regrow Ag
Cargill
BASF
General Mills
PepsiCo
Heineken
Nestlé
Unilever
Kellogg's
John Deere

Rolnictwo regeneracyjne: trójpolówka XXI wieku



Fot. Yulian Alexeyev/Unsplash

● Rolnictwo regeneracyjne zwane też rolnictwem węglowym stara się odwrócić proces emisji CO_2 towarzyszący uprawom, przekazując węgiel z powrotem do gleby. Chodzi o to, by zmaksymalizować efektywność naturalnego procesu, w którym rośliny wychwytują dwutlenek węgla w wyniku fotosyntezy, a następnie przenoszą pod ziemię przez swoje korzenie. Naukowcy Rutgers University, New Brunswick i University of Maine wskazują, że do sekwestracji gazów cieplarnianych może się przyczynić m.in. kontrolowany wypas bydła i uprawa roślin okrywowych pomiędzy uprawami dochodowymi, dzięki czemu pola nie są w tym czasie puste i mogą magazynować więcej węgla. Inną metodą jest uprawa roślin o długich korzeniach. Jeszcze inną – płodozmian, czyli rotacyjna uprawa roślin. Na znaczeniu zyskuje tzw. uprawa zerowa oparta na przygotowaniu pola pod zasiew bez użycia pługa. Zmniejszające emisję CO_2 rolnictwo regeneracyjne robi ogromną karierę, bo wdrażają je nie tylko aktywiści walczący ze zmianami klimatycznymi, ale wszyscy rolnicy, którym zależy na swojej ziemi. A w dodatku temat zręcznie podchwycili najpierw producenci spożywczy, a teraz także sieci gastronomiczne.

● Ziemia jest ogromnym magazynem CO_2 – tylko w pierwszym metrze gleby okrywającym Ziemię jest go trzy razy więcej niż w atmosferze. A coraz bardziej intensywna uprawa prowadzona przez wieki doprowadziła do uwolnienia 133 mld ton węgla z pierwszych dwóch metrów gleby (wyliczenia naukowców Woods Hole Research Center i The International Soil Resource and Information Center). To 8 proc. całkowitych światowych zasobów węgla zawartego w glebie (tzw. soil organic carbon SOC). Co istotne, proces ten można odwrócić: amerykańska National Academy of Sciences oszacowała, że w samych USA gospodarstwa rolne mogą być w stanie sekwestrować nawet 250 mln ton węgla rocznie, czyli 4 proc. krajowych emisji. Samo hasło rolnictwo regeneracyjne na początku lat 80. ukuł Rodale Institute, organizacja non profit zajmująca się rolnictwem ekologicznym. Do dziś nie ma jednak ścisłej definicji zarówno zjawiska, jak i metod działania. Generalnie obejmuje jednak wszystkie aktywności, które idą pod prąd intensywnego rolnictwa przemysłowego i mają na celu ponowne wprowadzenie węgla pod ziemię. Z jednej strony mamy więc ograniczenie dalszej emisji, a z drugiej wykorzystanie roślin, które wychwytują CO_2 i za pomocą korzeni gromadzą węgiel w gruncie.

● Stąd używa się różnych zabiegów i technik, które są zaliczane do rolnictwa regeneracyjnego. Są wśród nich m.in.:
1. rotacja między różnymi uprawami,
2. sadzenie roślin okrywowych, gdy pole nie jest uprawiane,

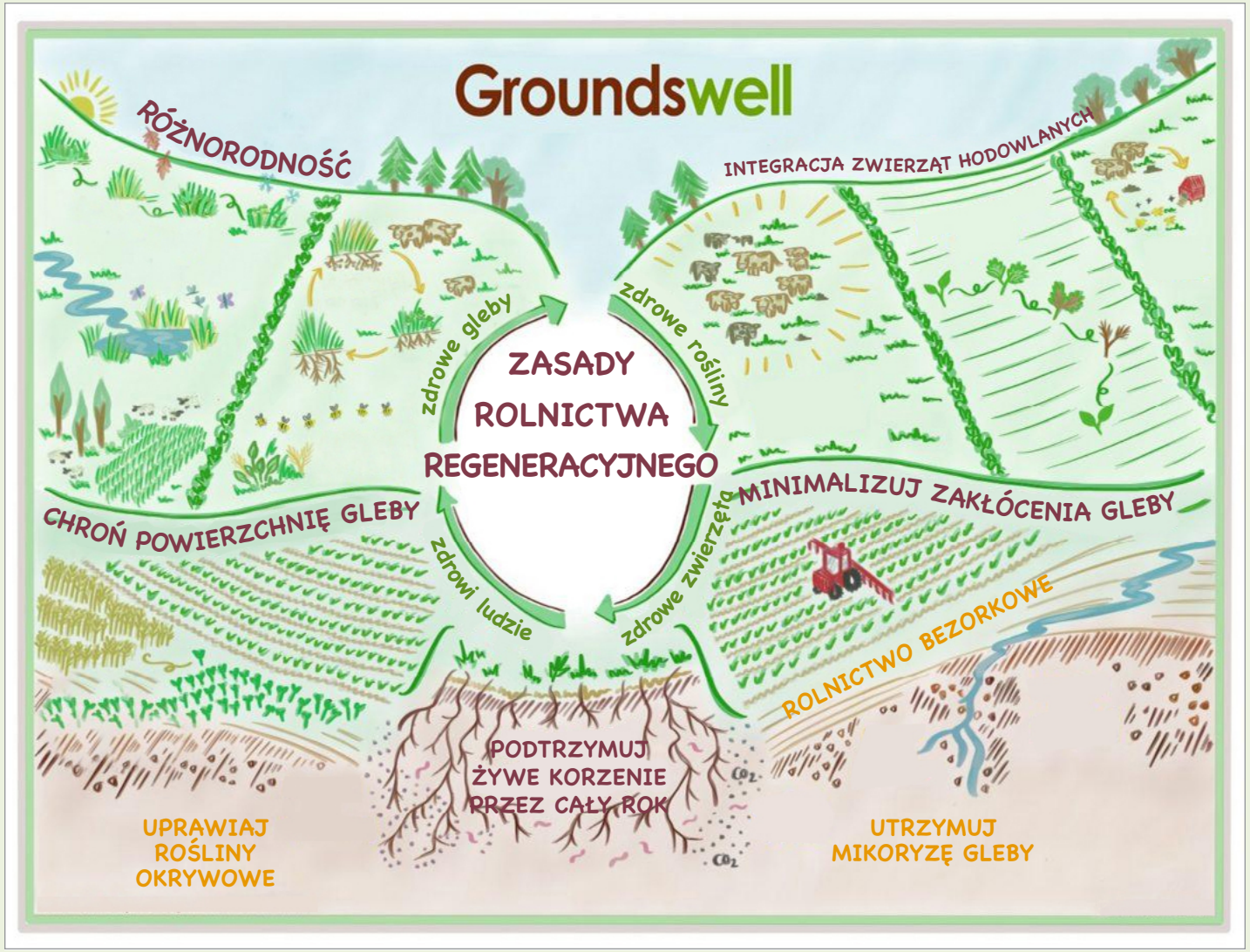
6 podstawowych zasad
ROLNICTWA REGENERACYJNEGO



ew. przykrywanie go kompostem,
3. uprawa roślin wieloletnich (zwłaszcza tych o długich korzeniach),
4. zarządzanie wypasem bydła, tak aby przemieszczało się między polami,
5. ograniczenie orki,
6. przejście na tzw. rolnictwo zerowe, umożliwiające sadzenie roślin bez naruszania gleby.

● Rolnictwo zerowe jest już bardzo wymagające, niemniej wszystkie inne to tradycyjne techniki, tak stare jak trójpolówka – tyle że opakowane na nowo i nastawione na nowe cele. Stąd praktyki te mają tak duże wzięcie nawet u bardzo konserwatywnych rolników, których nie przekonują tezy o wpływie człowieka na zmiany klimatyczne. Z badań Ohio State University wynika, że za oceanem taką postawę ma 70-75 proc. farmerów. Z drugiej jednak strony, gdy w ankiecie Yale Center for Climate Communications zapytano, co sądzą o programach wsparcia dla rolnictwa węglowego, 82 proc. respondentów wyraziło się o nich z entuzjazmem. Pytanie było nie od rzeczy, bo ustawa o redukcji inflacji (IRA), która oferuje szeroki wachlarz dofinansowania, zawiera także pakiet 20 mld dol. na wsparcie rolnictwa regeneracyjnego. Idąc dalej, w 2023 r. Departament Rolnictwa przeznaczył 3 mld dol. na tzw. inteligentne rolnictwo, finansując programy, które zachęcają rolników do przyjęcia wielu technik prowadzących do gromadzenia CO_2 w glebie.

● Jednym z ważnych etapów rozwoju tego typu technik jest jednak moment „sprawdzam" i pomiar, na ile nowe praktyki rzeczywiście zwiększyły ilość węgla w glebie. Można to regularnie badać w laboratoriach. Potrzeba do tego dużych próbek ważących po kilka kilogramów, metoda jest więc droga i uciążliwa. Stąd rozwój różnego rodzaju technologii, takich jak czujniki, które można przymocować do ciągnika i analizować glebę, gdy porusza się po polu – opracował je start-up EarthOptics. Dostępne są też czujniki spektralne wbijane w glebę, które jej skład analizują przy wsparciu sztucznej inteligencji, a inni (Indigo Ag) wykorzystują do tego po prostu zdjęcia satelitarne w połączeniu z różnymi technikami modelowania.



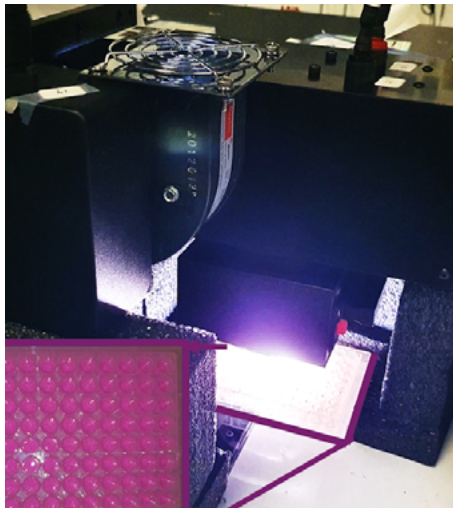
NAUKOWCY MAJĄ GŁOS:
fotokataliza oczyści nam klimat



Fot. Kristoffer Trolle

● Działalność człowieka uwalnia zanieczyszczenia do powietrza, wody i gleby. Te szkodliwe substancje chemiczne zagrażają zdrowiu zarówno ludzi, jak i ekosystemu. Według Światowej Organizacji Zdrowia zanieczyszczenie powietrza powoduje około 4,2 mln zgonów rocznie. Naukowcy szukają rozwiązań, a jedną z potencjalnych dróg jest klasa materiałów zwanych fotokatalizatorami. Po naświetleniu materiały te ulegają reakcjom chemicznym, które, jak wykazały wstępne badania, mogą rozkładać typowe toksyczne zanieczyszczenia, przekonuje Mahshid Ahmadi, assistant professor na Uniwersytecie Tennessee.

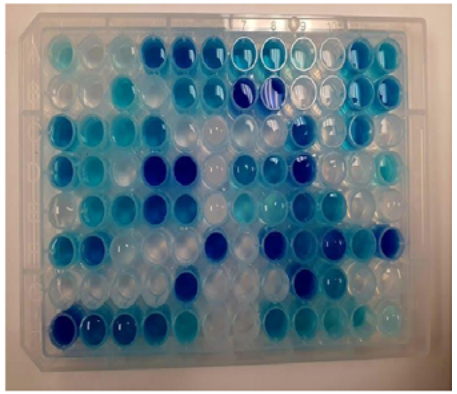
● Jestem badaczką działającą w obszarze nauk o materiałach i inżynierii. Z pomocą robotów i sztucznej inteligencji moi koledzy i ja tworzymy i testujemy nowe fotokatalizatory, które pomagają w łagodzeniu zanieczyszczenia powietrza. Dzięki energii światła generują naładowane nośniki, maleńkie cząsteczki, które mogą się poruszać i powodować reakcje chemiczne. Kiedy wchodzą w kontakt z wodą i tlenem, wytwarzają substancje zwane reaktywnymi formami tlenu, które mogą wiązać się z częściami zanieczyszczeń, a następnie albo je rozkładać, albo zamieniać w nieszkodliwe – lub nawet użyteczne – produkty.



Aby ułatwić reakcję fotokatalityczną, naukowcy z laboratorium Ahmadi umieścili płytki nanokryształów perowskitu i zanieczyszczeń w jasnym świetle, żeby sprawdzić, czy reakcja rozkłada zanieczyszczenia. Fot. Astita Dubey

● Niektóre materiały używane w procesie fotokatalitycznym mają jednak ograniczenia: na przykład nie mogą rozpocząć reakcji, nie mając odpowiedniej ilości energii – promienie podczerwone o niższej energii lub światło widzialne nie wywołają reakcji. Innym problemem jest to, że naładowane cząstki biorące udział w reakcji mogą się zbyt szybko rekombinować, co oznacza, że łączą się z powrotem przed zakończeniem pracy. W tych przypadkach zanieczyszczenia albo nie rozkładają się całkowicie, albo proces trwa długo. Dodatkowo powierzchnia tych fotokatalizatorów może zmieniać się w trakcie lub po reakcji fotokatalitycznej, co wpływa na ich działanie i skuteczność. Aby przezwyciężyć te ograniczenia, naukowcy z mojego zespołu próbują opracować nowe materiały fotokatalityczne, które skutecznie rozbijają zanieczyszczenia. Upewniamy się też, że materiały są nietoksyczne.

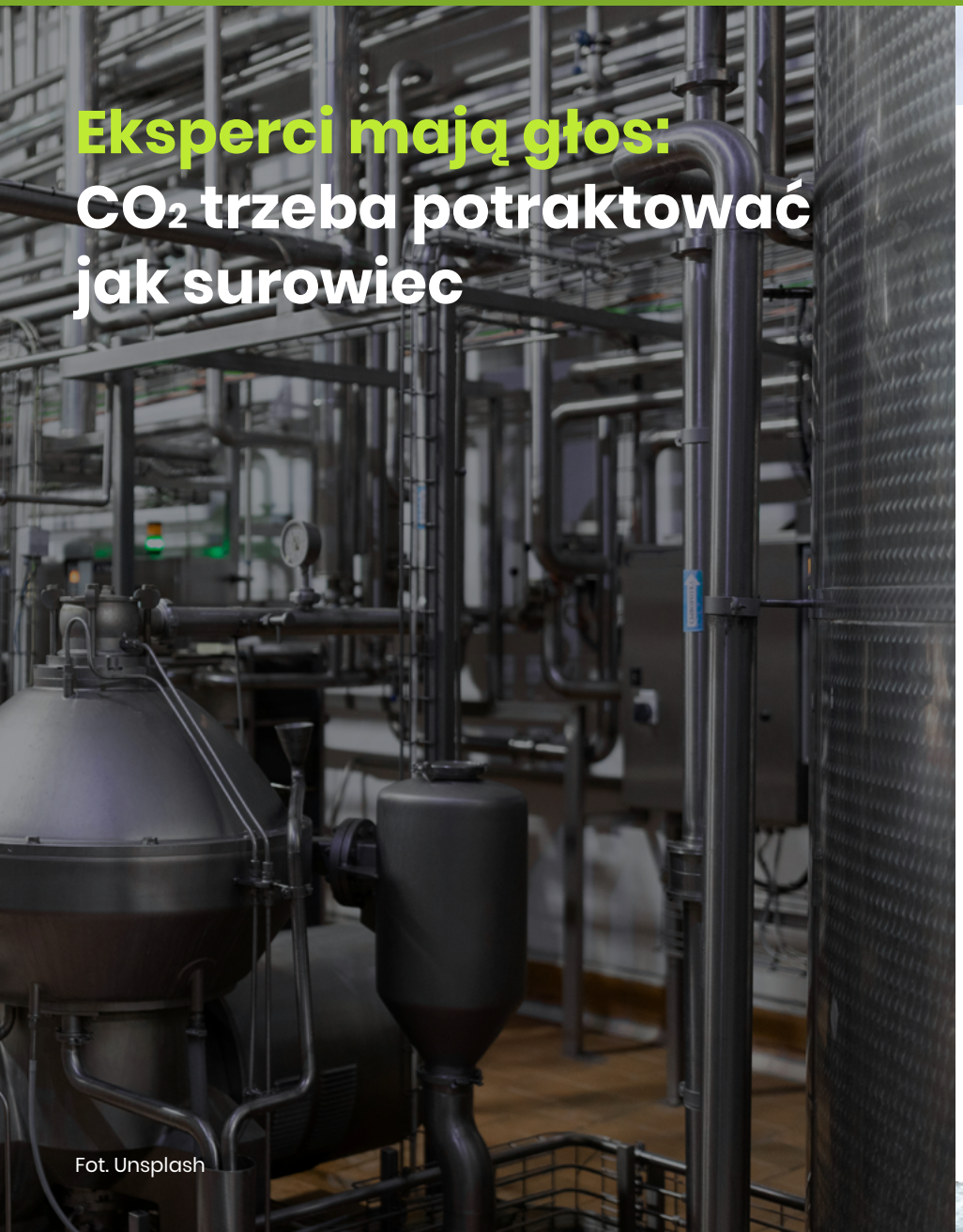
Ta płyta z laboratorium Ahmadi jest używana podczas testowania, w jaki



sposób nanokryształy perowskitowe i światło rozkładają zanieczyszczenia, takie jak pokazany niebieski barwnik. Jasnoniebieski kolor wskazuje na częściową degradację, podczas gdy przezroczysta woda oznacza całkowitą degradację. Fot. Astita Dubey

● Naukowcy z mojego zespołu wykorzystują zautomatyzowane eksperymenty i sztuczną inteligencję, aby dowiedzieć się, które materiały fotokatalityczne mogą być najlepszymi kandydatami do szybkiego rozkładu zanieczyszczeń. Wykonujemy i testujemy materiały zwane hybrydowymi perowskitami, które są maleńkimi kryształkami – mają około 10 proc. grubości pasma włosów. Są wykonane z mieszanki składników organicznych (na bazie węgla) i nieorganicznych (nieopartych na węglu). Mają kilka unikalnych cech, takich jak doskonałe właściwości pochłaniające światło, które wynikają z ich struktury na poziomie atomowym. Są małe, ale potężne. Optycznie są też niesamowite – oddziałują ze światłem w fascynujący sposób, generując dużą liczbę małych nośników ładunku i wywołując reakcje fotokatalityczne. Materiały te skutecznie transportują ładunki elektryczne, co pozwala im transportować energię świetlną i napędzać reakcje chemiczne. Są również używane do bardziej wydajnych paneli słonecznych i w światłach LED. Istnieją tysiące potencjalnych typów hybrydowych nanokryształów. Mój zespół chciał się dowiedzieć, jak szybko opracować i przetestować ich tak wiele. Jak to możliwe, aby zobaczyć, które są najlepszymi kandydatami do czyszczenia toksycznych zanieczyszczeń?

● Zamiast ręcznego tworzenia i testowania próbek – co zajmuje tygodnie lub miesiące – używamy inteligentnych robotów, które mogą produkować i testować co najmniej 100 różnych materiałów w ciągu godziny. Te małe roboty do obsługi cieczy mogą precyzyjnie przenosić, mieszać i transferować niewielkie ilości płynu z jednego miejsca do drugiego. Są kontrolowane przez komputer, który kieruje ich przyspieszeniem i dokładnością. Do kierowania procesem wykorzystujemy uczenie maszynowe. Algorytmy mogą szybko analizować dane testowe, a następnie zdobywać wiedzę potrzebną do następnego zestawu eksperymentów wykonywanego przez roboty. Algorytmy uczenia maszynowego mogą szybko zidentyfikować wzorce w zebranych danych, co ludziom zajęłoby znacznie więcej czasu. Nasze podejście ma na celu uproszczenie i lepsze zrozumienie złożonych systemów fotokatalitycznych, pomagając w tworzeniu nowych strategii i materiałów. Korzystając ze zautomatyzowanych eksperymentów prowadzonych przez uczenie maszynowe, możemy teraz ułatwić analizę i interpretację tych systemów, pokonując wyzwania, które były trudne przy użyciu tradycyjnych metod.



Eksperci mają głos: CO_2 trzeba potraktować jak surowiec

Fot. Unsplash

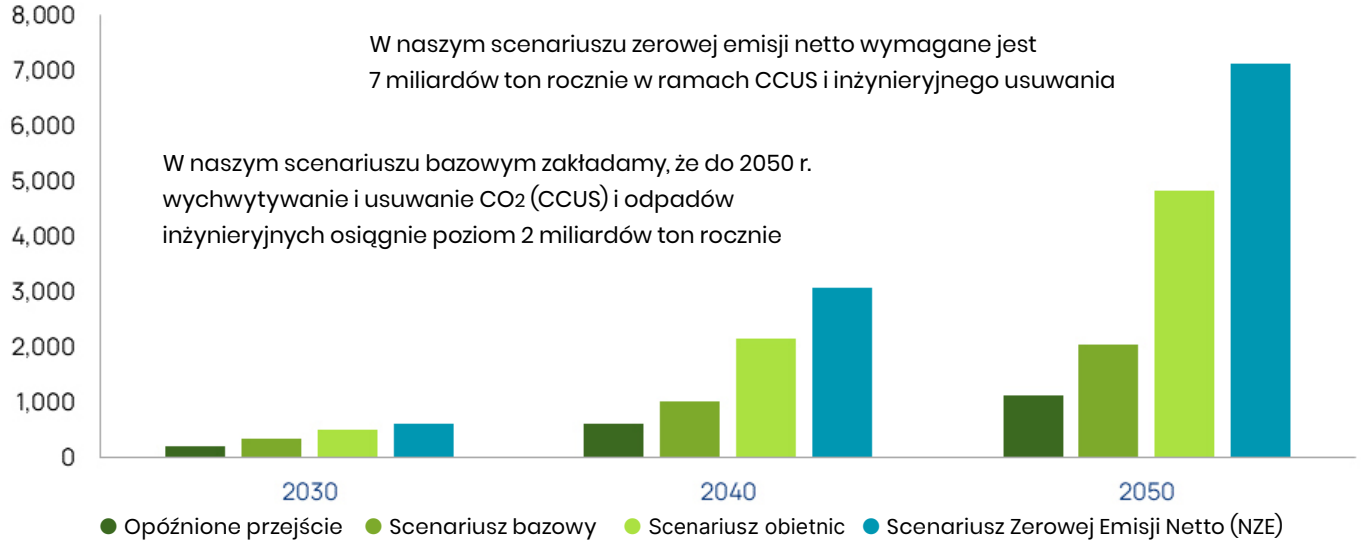
● Mniej niż 5 proc. wychwyconego dwutlenku węgla jest dziś wykorzystywane. Co więc powstrzymuje ten potencjalnie użyteczny zasób przed ponownym użyciem? Na to pytanie odpowiada Rohan Dighe, analityk Wood Mackenzie zajmujący się branżą sekwestracji CO_2:

„Szerokie wykorzystanie zmagazynowanego dwutlenku węgla (CCUS) będzie kluczowym elementem osiągnięcia globalnej dekarbonizacji. Według oszacowanego przez nas bazowego scenariusza transformacji, który przewiduje wzrost globalnego ocieplenia o 2,5 st. C, do 2050 r. potrzebne będą instalacje wychwytujące 2 mld ton rocznie. Zupełnie inaczej wygląda to w naszym scenariuszu Net Zero, który zakłada, że globalne ocieplenie do 2100 r. zostanie ograniczone poniżej 1,5 st. C – wówczas liczba ta wzrasta do 7 mld ton rocznie" (patrz wykres poniżej).

W scenariuszu zerowej emisji netto do 2050 r. potrzeba ponad 7 mld ton zdolności wychwytywania

Punktowe i bezpośrednie wychwytywanie dwutlenku węgla z powietrza

Mtpa CO_2



Źródło: Wood Mackenzie Energy Transition Outlook

● Niestety, w niektórych sektorach obecne zachęty nie wystarczają, aby zmotywować do powszechnego stosowania technologii wychwytywania i składowania dwutlenku węgla (CCS). Oprócz wsparcia rządowego deweloperzy potrzebują innych sposobów na zwiększenie przychodów i wzmocnienie modelu ekonomicznego projektów inwestycyjnych. Potencjalne przychody obejmują tworzenie systemu możliwych do sprzedaży certyfikatów za wychwycony CO_2 oraz bonusy produkcyjne. Tego typu mechanizmy nie istnieją jeszcze jednak w dużej skali i ich perspektywa jest wysoce nieprzewidywalna. Inna opcja to uzyskanie przychodów ze sprzedaży lub konwersji CO_2, który można wykorzystać na wiele sposobów, na przykład w produkcji ekologicznych paliw. Jeśli sposoby wykorzystania CO2 będą konkurencyjne, może to zapewnić zrównoważone, długoterminowe przychody z projektów, wspierając rozwój systemów CCS, ale także urządzeń usuwających CO_2 bezpośrednio z atmosfery (DAC).

● Zwiększenie skali wychwytywania CO_2 będzie możliwe, gdy uda się stworzyć dla niego rynek towarowy działający na dużą skalę. Jest w tym względzie kilka obiecujących obszarów:

→ Mineralizacja i dodatki do nawozów roślin: konwersja CO_2 na wapień o wysokiej czystości oraz dodatki do nawozów to dojrzałe już technologie, konkurencyjne pod względem kosztów w porównaniu z tradycyjnymi metodami.

→ Produkcja e-wodorowęgli: przemiana CO_2 w węglowodory może pomóc zrekompensować ograniczoną dostępność surowców biopaliwowych, zapewniając zamienniki paliwa dla żeglugi i lotnictwa.

→ Zastąpienie surowców: wykorzystanie wychwytywanego CO_2 w procesach niskoemisyjnych może wyprzeć towary wytwarzane w wyniku procesów wysokoemisyjnych, zapewniając dodatkową redukcję emisji.

→ Dodawanie CO_2 do istniejących procesów produkcyjnych: tradycyjne procesy, takie jak produkcja metanolu, dają możliwości wykorzystania CO_2, co zapewni dekarbonizację poszczególnych segmentów produkcji przy minimalnych nakładach inwestycyjnych.

● Istnieje więc duży potencjał wykorzystania wychwytywanego CO2 w produkcji. Modele te mogą nie być jednak konkurencyjne w stosunku do innych przychodów z CCS oraz tradycyjnej produkcji:

→ Ogromne możliwości sekwestracji: potencjał magazynowania CO_2 pod powierzchnią wynosi prawie 15 bln ton, co zniechęca do podejmowania wysiłków na rzecz potencjalnego wykorzystania go jako surowca.

→ Wadliwa polityka: wsparcie polityczne dla wykorzystania jest słabsze niż dla magazynowania; obecnie ustawowy mandat Unii Europejskiej dotyczący wykorzystania CO_2 obejmuje tylko lotnicze e-paliwo.

→ Kwestie kosztowe: technologie produkcji e-paliw są wciąż niedojrzałe i opierają się na drogim zielonym wodorze oraz energii odnawialnej; nie oczekuje się, że e-paliwo będzie konkurencyjne cenowo wobec tradycyjnych paliw do 2040 r.

→ Niedojrzałość rynków: „zdekarbonizowane" towary wykorzystujące wychwycony CO_2 nie zostały jeszcze skomercjalizowane na dużą skalę – wciąż niejasne jest, czy premie cenowe za nie uzasadnią wyższe koszty.

→ Ograniczony potencjał wykorzystania w produkcji: podczas gdy częściowa dekarbonizacja poprzez wykorzystanie CO_2 w procesach produkcyjnych jest osiągalna przy niskich kosztach, pełna dekarbonizacja produkcji jest jednak kosztowna i ograniczona pod względem skali oraz zakresu.



Fot. Unsplash

CO_2 jako surowiec



TREND

Wykorzystanie CO_2 jako surowca do produkcji jest dziś marginalne, ale wg IEA pod koniec dekady już około 23 proc. wychwyconego dwutlenku węgla (234 Mt) może być przetwarzane każdego roku.

Fot. Alethia Briones/Unsplash

Technologia

Dziś podstawowym produktem powstającym z CO_2 jest etanol. To m.in. specjalność LanzaTech, która dysponuje już trzema zakładami przetwórczymi. W bioreaktorach dwutlenek węgla przy użyciu mikroorganizmów fermentuje razem z wodorem i tlenkiem węgla. W podobny sposób etylen produkuje także start-up Dioxycle, w który zainwestował Bill Gates. Surowiec ten jest o tyle dobry, że bardzo uniwersalny. Z kolei inżynierowie z McGill University postawili na produkcję metanolu. Jako surowca użyli nawet dwóch gazów cieplarnianych – obok CO_2 jest to metan – a sam proces naśladuje to, co robią rośliny, dzięki energii słońca produkując tlen i glukozę. Tu funkcje katalizatora pełni złoto, pallad i azotek galu – w obecności światła słonecznego rozpoczyna się reakcja, w ramach której atom tlenu z dwutlenku węgla trafia do cząsteczki metanu, dzięki czemu powstaje zielony metanol. Produktem ubocznym jest tlenek węgla

Bariery

Jedną z kluczowych barier są koszty. Średnia cena, po której klienci kupują CO_2, waha się pomiędzy 60 a 150 dol., czyli znacznie poniżej kosztów sekwestracji. Pojawienie się tańszych technologii CCS jest więc kluczowe dla przetwórstwa CO_2. Mocno stawia na to firma badawcza Lux Research, według której globalny rynek utylizacji CO_2 ma do 2030 r. sięgnąć 70 mld dol., a już w 2040 r. jego wartość może skoczyć do 550 mld dol. CO_2 można wykorzystać w sześciu typach produktów: materiałach budowlanych, chemikaliach, paliwach, dodatkach węglowych, polimerach i proteinach. Przewidywany wzrost wiąże się przede wszystkim z materiałami budowlanymi – do 2040 r. mają stanowić aż 86 proc. rynku utylizacji CO_2. W dużej mierze wynika to z niskich barier technologicznych. W przypadku paliw, chemikaliów surowcowych i dodatków węglowych potencjał utylizacji CO_2 jest również bardzo duży, ale wymaga intensywnego rozwoju technologii.

Gracze

LanzaTech
Dioxycle
Rubi
Twelve
Beiersdorf
Coty
Zara
On
Craghoppers
Unilever

CO_2 jako surowiec: przemysł



TREND

Można powiedzieć, że nowe technologie przetwarzania CO_2 wprowadzają nowy czynnik do całego przemysłu chemicznego i petrochemicznego. Dotychczas podstawowym surowcem były tu kopalne węglowodory, ale wiele finalnych przedmiotów użytkowych można wytwarzać także z lotnego gazu.

Fot. ZARA

Odzież

Jednym z najbardziej uniwersalnych półproduktów, który znalazł najszersze zastosowanie, jest etanol wytwarzany przez LanzaTech. W branży odzieżowej najbardziej znana była jego kolaboracja z Zarą, która zimą 2022 r. wprowadziła kolekcję czarnych sukienek wykonanych z użyciem CO_2. Gaz wychwytywany w hucie stali Skokie w Illinois został „wpleciony" w poliestrową przędzę, z której Zara szyje ubrania. Etylen z CO_2 trafił już także do polarowych ubrań Craghoppers oraz trampek Cloudprime szwajcarskiej firmy On, która przy jego użyciu stworzyła CleanCloud, nową piankę wykorzystaną do produkcji podeszew. W modzie jest też celuloza wyprodukowana z CO_2. To specjalność kalifornijskiego start-upu Rubi. Wykorzystuje go m.in. do produkcji lyocellu, elastycznej tkaniny przypominającej bawełnę. W klasycznej produkcji każdy jej kilogram emituje 5–10 kg CO_2. Rubi całkowicie rozwiązuje ten problem, a swoją celulozę wplata także w wiskozę i sztuczny jedwab.

Kosmetyki

Po etanol od LanzaTech sięgnął także Beiersdorf przy produkcji kosmetyków do pielęgnacji skóry dla mężczyzn z serii Nivea Men's Climate Care Moisturizer. Jego udział w produkcie końcowym wyniósł 14 proc., a chemicy z niemieckiej firmy zapewnili, że nie ustępuje etanolowi uzyskanemu w tradycyjny sposób. Jednocześnie był to dobrze zaplanowany ruch marketingowy, bo połowa użytkowników kosmetyków Nivea zadeklarowała, że chce coś zrobić dla środowiska. Etanol bardziej niż z kremami kojarzy się jednak z perfumami. I dlatego w branży kosmetycznej jako pierwsze przetestowało go Coty, które produkuje zapachy takich marek jak Dolce & Gabbana, Gucci czy Calvin Klein. Tu ważne było, aby wspólnie opracować alkohol o wysokiej czystości, który do końca 2023 r. trafił do większości linii zapachowych produkowanych przez Coty.

Środki czystości

W tym samym czasie co producenci kosmetyków współpracę z LanzaTech podjął Unilever. Wspólnie wyprodukowali pierwszy na świecie płyn do mycia naczyń wykonany z przetworzonego węgla – limitowana edycja Sunlight Dishing Liquid trafiła do sklepów w Południowej Afryce. Istotnym partnerem w tym projekcie była firma India Glycols, która etanol wytwarzany z CO_2 przekształciła w tlenek etylenu używany do wytworzenia szeregu składników, w tym środków powierzchniowo czynnych stosowanych w detergentach. Nieco wcześniej ten sam tercet opracował sufrakanty, które dodano do kapsułek do prania znanych pod marką OMO. Te z kolei można było kupić w Chinach w tych samych cenach co klasyczne środki piorące.

CO_2 jako surowiec: paliwa

TREND

Pomysł na wykorzystanie dwutlenku węgla jako paliwa nie jest nowy. Nowe są za to technologie, które sprawiają, że ten rodzaj neutralnego klimatycznie paliwa z odzysku zaczyna mieć rzeczywiste zastosowanie. Zwłaszcza w środkach transportu takich jak samoloty, gdzie trudno zastosować np. baterie.



Fot. Kimberley Madigan, Pexels

Technologia

Najbliższy fotosyntezie jest foto-elektryczno-chemiczny proces przewidujący przetwarzanie CO_2 rozpuszczonego w elektrolicie (IFS). Podobnie jak w roślinach także tu mamy dwa podstawowe produkty: tlen oraz materiał bogaty np. w alkohol lub wysokonasycony kwas tłuszczowy, czyli biopaliwa. Inny sposób to wykorzystanie reaktora termochemicznego (Synhelion), który wytwarza gaz syntezowy przetwarzany w paliwa za pomocą standardowej technologii gas-to-liquids. Całkiem inną propozycję ma amerykański start-up Twelve, który wykorzystuje technologię katalizy metalowej. Dzięki niej cząsteczki CO_2 i wody rozbijane są na mniejsze cząstki, a następnie przekształcane w nowe chemikalia, takie jak paliwo lotnicze E-Jet. W 2024 r. sporo pracowano nad produkcją metanolu z CO_2: PRIME-Fuel to mikroreaktor opracowany na Uniwersytecie w Houston, podczas gdy naukowcy z CHASE wykorzystali do tego fotoelektrodę pokrytą krzemem i połączoną z katalizatorem renowym.

Wyzwania

Sprawą zasadniczą są koszty produkcji paliwa z CO2. Stąd prace nad tańszymi metodami przetwarzania prowadzone m.in. na MIT i Harvardzie, gdzie naukowcy opracowali wydajny proces, który może przekształcić dwutlenek węgla w tzw. miarczan. To ciekły lub stały materiał, który może być używany jako wodór lub metanol do zasilania ogniwa paliwowego i wytwarzania energii elektrycznej. Nowy proces osiąga konwersję znacznie ponad 90 proc. CO2 – zwykle przy przekształcaniu CO2 w tlenek węgla jest to 20 proc. – i eliminuje potrzebę nieefektywnego etapu ogrzewania węglanu wapnia, w którym sekwestrowany jest gaz. Naukowcy z Tokyo Metropolitan University opracowali z kolei nowy typ ogniwa elektrochemicznego, który roztwory wodorowęglanowe z rozpuszczonym w nich CO2 przekształca w mrówczany będące bazą zielonych paliw. Kluczowa jest tu tzw. faradyczna wydajność ogniwa, która 85 proc. elektronów pozwala przekształcić się w nośnik energetyczny.

Kluczowi gracze

Twelve
Synhelion
SeeO2
Energy
Prometheus
Fixing CO2
CAPHENIA
LanzaJet (LanzaTech)

CO_2 jako surowiec: jedzenie



TREND

Czy to cukry, tłuszcze czy aminokwasy tworzące białka, wszystkie bazują na tych samych pierwiastkach, z których składa się dwutlenek węgla. Wystarczy nieco przy nim pomajstrować, dodać wodoru i CO_2 staje się ważnym surowcem do produkcji jedzenia.

Fot. Ailin Zhang/Savor

Technologia

Pomysłów na spożytkowanie CO_2 w branży spożywczej jest dużo. Z powodzeniem można go przekształcić w kwasy tłuszczowe omega-3 oraz lipidy, które mogą pełnić funkcję zamienników np. dla oleju spożywczego (LanzaTech). Proces polega na dostarczaniu odpadowego węgla oraz wodoru organizmom, które je trawią i zamieniają w octan. Później pałeczkę przejmują algi, które zazwyczaj żywią się węglowodanami, ale są w stanie także konsumować octan, zamieniając go w lipidy i kwasy omega-3. W tego typu technologiach kluczową rolę zazwyczaj odgrywają mikroby, takie jak np. archeony, które do wytworzenia wysokobiałkowego pokarmu potrzebują właśnie CO2. Firma Savor swój proces produkcji tłuszczów opisuje znacznie prościej: „Zaczynamy od dwutlenku węgla i używamy odrobiny ciepła oraz wodoru, aby utworzyć łańcuchy, które następnie mieszamy z tlenem z powietrza, aby uzyskać tłuszcze i oleje, które znamy, kochamy i nad którymi się ślinimy".

Produkty

Z perspektywy środowiskowej szczególnie ciekawe jest przetwórstwo dwutlenku węgla na tłuszcze. Są one m.in. zamiennikiem oleju palmowego, którego uprawa bardzo niszczy lasy równikowe, ale może też dać bardzo dobry zamiennik masła (Savor). Najbardziej pożądanym produktem tworzonym na bazie CO2 jest jednak białko. Można je wykorzystać nie tylko jako paszę dla ryb (NovoNutrients), ale także w diecie ludzi. Mikrobiologiczne LNP bazujące na CO2 (LanzaTech) jest bliskie uzyskania na to certyfikatu bezpieczeństwa FDA i ma być m.in. dodawane do koktajli, serów bezmlecznych, a nawet chleba (Mattson). LNP już jest zresztą testowane przez amerykańską Naval Research Laboratory jako element diety na statkach. Za tym idzie stworzenie odpowiednich mocy produkcyjnych: w 2026 r. LanzaTech uruchomi testowy zakład produkujący 1,5 tony LNP dziennie, a w 2028 r. instalację o mocy 80 Mt dziennie (1 tona LNB wystarczy do wyżywienia 18 tys. osób).

Gracze

LanzaTech
Akreon Biotechnologies
NovoNutrients
Fundacja Billa i Melindy Gatesów
Fundacja Novo Nordisk
Savor
Mattson
Topsoe
Novozymes

Lasy: najważniejszy filtr CO_2



Fot. U.S. Forest Service

● Wychwytywanie i przetwarzanie CO_2 nabiera tempa, ale to nie one są kluczowe dla pochłaniania dwutlenku węgla, lecz tzw. naturalne rozwiązanie klimatyczne (NCS – Natural Climate Solution). To przede wszystkim leśnictwo, które ma do odpracowania całe wieki intensywnej wycinki. W ciągu ostatnich 6 tys. lat co najmniej połowa europejskich lasów zniknęła, a w niektórych krajach – jak Irlandia, Dania czy Holandia – utraconych zostało 85-90 proc. obszarów leśnych.

● Proceder ten zresztą trwa. W ciągu minionych dwóch dekad 2000-2020 lesistość zmniejszyła się z 41,2 do 40,2 mln km kw., co oznacza, że od początku wieku zniknęło 2,4 proc. powierzchni lasów (dziś stanowią 31 proc. analizowanej powierzchni lądowej). W tym czasie wykarczowano 2,3 mln km kw. lasów, ale jednocześnie posadzono 1,3 mln km kw. nowych na tzw. gruntach nieleśnych. To jednak nie wszystko. Od 2000 r. zlikwidowano 5,6 proc. lasów, ale kolejne 8 proc. dotknęło naruszenie poziomu drzewostanu lub zmniejszenie wysokości drzew o co najmniej połowę. Trzy najczęstsze powody karczowania to ekspansja rolnictwa, pozyskiwanie surowca drzewnego oraz pożary. Takie praktyki nie tylko pozbawiają nas naturalnych filtrów, ale także przyczyniają się do dodatkowej produkcji CO_2 – średnio na całym świecie usuwanie drzew odpowiada za 7-30 proc. emisji gazów cieplarnianych (w Afryce jest to 20 proc.).

● Konieczne jest więc odwrócenie biegu spraw: nie tylko powstrzymanie deforestacji, ale także tzw. reforestacja, czyli odbudowa zielonej tkanki, a nawet sadzenie lasów w miejscach, gdzie ich dotychczas nie było, czyli tzw. aforestacja. ONZ oszacowało, że wystarczy bilion nowych drzew na gruntach o powierzchni około miliarda hektarów, a uda nam się powstrzymać skutki globalnego ocieplenia. Naukowcy z ETH w Zurychu opracowali nawet plan, jak to zrobić, i stworzyli mapę, która wskazała aż 1,7 mld hektarów gruntów nadających się do zalesienia. To obszar większy niż łączna powierzchnia Chin i USA. ETH tworzy bazę wiedzy o tym, jaki typ zalesienia będzie najbardziej odpowiedni

w danym miejscu. Nowe nasadzenia mogłyby wchłonąć nawet dwie trzecie dwutlenku węgla wyemitowanego od czasu rewolucji przemysłowej.

● Z kolei naukowcy z MIT i LSE radzą, jak odwrócić proces deforestacji. Od początku wieku przede wszystkim zyskaliśmy lepsze narzędzia do monitorowania wylesiania. Głównie za sprawą bardzo precyzyjnych zdjęć satelitarnych przetwarzanych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. „Częścią tej rewolucji w pomiarach jest dokładność, a drugą – zasięg. Obserwacja na miejscu jest bardzo kosztowna i stanowi wyzwanie logistyczne. Zbiory danych satelitarnych otwierają możliwości obserwacji wylesiania na dużą skalę, systematycznie i na całym świecie", mówi Clare Balboni, adiunkt ekonomii w London School of Economics (LSE). Wylesianie jest powszechne, częściowo dlatego, że zyski z wycinania drzew pochodzą nie tylko z drewna, ale także z zastępowania lasów rolnictwem. Stwarza to znajomą sytuację: globalne koszty zmian klimatycznych wynikające z wylesiania to tzw. efekty zewnętrzne, narzucone wszystkim innym przez ludzi usuwających grunty leśne. Przypomina to firmę, która zanieczyszcza rzekę, wpływając na jakość wody dla mieszkańców. W takich sytuacjach ekonomiści często zalecają podatki „pigouwskie" (nazwane na cześć brytyjskiego ekonomisty Arthura Pigou), nakładane na ludzi narzucających innym efekty zewnętrzne. Trudne może być jednak ustalenie, kto powinien je płacić.

● Odwrotną metodę stosuje ONZ, płacąc ludziom za utrzymanie lasów w nienaruszonym stanie. Tak dzieje się w programach REDD+ (Redukcja emisji spowodowanych wylesianiem i degradacją lasów), równie trudno jest jednak zidentyfikować najbardziej odpowiednich właścicieli gruntów, którym można udzielić dotacji, a płatności te mogą nie odpowiadać szybkiemu zwrotowi w postaci wylesiania. Stąd rezultaty takich działań są mieszane. W niektórych miejscach wypróbowano programy transferu gotówki dla większych populacji. Badanie przeprowadzone w Indonezji w 2020 r. wykazało, że

	Lasy km² x 10⁶		Zmiana netto 2000-2020		Straty brutto		Przyrost brutto		Degradacja lasów	
	2000	2020	Areał km² x 10⁶	Proc. areału 2020	Areał km² x 10⁶	Proc. areału 2020	Areał km² x 10⁶	Proc. areału 2020	Areał km² x 10⁶	Proc. areału 2020
Afryka	7,07	6,74	-0,32	-4,6	0,45	6,3	0,12	1,8	0,98	13,9
Azja	13,25	13,10	-0,15	-1,1	0,62	4,7	0,47	3,6	1,97	14,9
Australia	1,48	1,47	-0,01	-0,8	0,03	2,3	0,02	1,6	0,14	9,3
Europa	3,74	3,80	0,06	1,7	0,15	4,0	0,21	5,6	0,46	12,2
Ameryka Płn.	6,90	6,75	-0,15	-2,1	0,48	7,0	0,33	4,9	1,05	15,2
Ameryka Płd.	8,73	8,34	-0,44	-5,0	0,58	6,6	0,14	1,7	1,02	11,6
Świat	41,23	40,22	-1,01	-2,4	2,31	5,6	1,31	3,3	5,61	13,6

Lasy zdefiniowane jako piksele Landsat ARD o wysokości ≥ 5m. Degradacja lasów obejmuje obszar utraty lasów brutto, obszar lasów dotkniętych zaburzeniami drzewostanu oraz lasy,

takie dotacje ograniczyły wylesianie w pobliżu wiosek o 30 proc. Jednak w Meksyku podobny program oznaczał, że więcej ludzi było stać na mleko i mięso, co ponownie stworzyło popyt na większe rolnictwo, a tym samym doprowadziło do częstszego wycinania lasów.

● Pozostają zakazy wycinki – taką ochroną objęte jest 16 proc. gruntów na świecie – chociaż i tu pojawiają się problemy z egzekucją prawa oraz porozumienia międzynarodowe. Takie jak moratorium na soję amazońską z Brazylii, w którym handlarze zbożem zobowiązali się nie kupować soi z wylesionych terenów. Naukowcy zwracają przy tym uwagę, że zmiana polityki w brazylijskiej Amazonii w 2008 r. utrudniła uzyskanie kredytów rolniczych, wymagając od odbiorców przestrzegania przepisów dotyczących ochrony środowiska i rejestracji gruntów. Efekt był taki, że ciągu prawie dziesięciu lat wylesianie spadło aż o 60 proc. Badacze z MIT i LSE zauważają też, że poza „efektami zewnętrznymi" istnieją dwa główne wyzwania. Po pierwsze, często nie jest jasne, kto posiada prawa własności do lasów. W tych okolicznościach wylesianie wydaje się nasilać. Po drugie, wylesianie jest przedmiotem bitew politycznych. Lobbing ekologiczny jest przy tym asymetryczny i niekorzystny dla obrońców przyrody: lobby na rzecz ochrony przyrody musi płacić rządowi bezterminowo, podczas gdy lobby nastawione na wylesianie musi płacić tylko raz, gdy chce zrobić wycinkę.

● W Danii w ubiegłym roku podjęto za to ambitny projekt reforestacyjny: 10 proc. gruntów uprawnych ma zostać zmienionych w lasy. Ma na nich wyrosnąć 1 mld drzew. Taki program duński parlament przyjął w połowie listopada. Na ten cel z budżetu wygospodarowano 43 mld koron (ok. 25 mld zł), które mają pójść na skup ziemi rolnej pod nowe lasy. Proces zaplanowano na dwie dekady. Dzięki temu pojawi się 250 tys. hektarów nowego drzewnego nasadzenia. Co więcej, 140 tys. hektarów upraw na glebach niskiej jakości, które generują wysoką emisję CO_2, będzie musiało zostać przekształcone w tereny zielone.

„Duńska przyroda zmieni się w sposób, którego nie widzieliśmy od czasu osuszenia mokradeł w 1864 r."
– powiedział Jeppe Bruus, szef duńskiego Zielonego Trójstronnego Ministerstwa, stworzonego w celu wdrożenia zielonego porozumienia osiągniętego w czerwcu między rolnikami, przemysłem, związkami zawodowymi i grupami ekologicznymi.



Fot. World Bank Photo Collection

Lasy na ochronę muszą poczekać jeszcze rok



Fot. Vera Kratochvil

● W przedostatnim dniu 2024 r. Europa miała zyskać nowe prawo chroniące lasy. EUDR, unijne rozporządzenie w sprawie wylesiania, które ma powstrzymać wykorzystanie drewna pochodzącego z wycinki lasów, ostatecznie zostało opóźnione o 12 miesięcy. Rozporządzenie zakazuje wprowadzania na rynek UE lub wywożenia z niego produktów, które są powiązane z obszarami wylesionymi albo zdegradowanymi w ciągu ostatnich czterech lat (po 31 grudnia 2020 r.). Oznacza to, że firmy będą zobowiązane dochować należytej staranności, aby zapewnić, że pozyskiwane przez nie produkty – takie jak olej palmowy, soja, kakao, kawa, bydło i kauczuk, a przede wszystkim drewno i wyroby zawierające jego składniki, m.in. płyta, sklejka, tektura, makulatura czy papier – są legalne. Jeśli firma produkuje takie produkty lub handluje nimi, będzie zobowiązana dostarczyć dowody na to, że jej łańcuch dostaw jest zgodny z wymogami EUDR i nie pochodzi z obszarów objętych wycinką. W związku z tym trzeba będzie m.in. wskazać dokładne współrzędne geograficzne działki, z której pochodzi produkt.

● W Polsce i innych krajach członkowskich UE EUDR ostatecznie zacznie obowiązywać 30 grudnia 2025 r. w przypadku dużych firm, natomiast małe i średnie przedsiębiorstwa będą mieć czas na dostosowanie się do nowych przepisów do 30 czerwca 2026 r. Za takim rozwiązaniem opowiadało się wiele firm oraz rządów zarówno UE (m.in. Niemiec), jak i eksporterów. Ostatecznie Komisja przyznała, że „stan przygotowań wśród zainteresowanych stron w Europie jest nierówny", i sama zaproponowała vacatio legis.

● Przesunięcie wdrożenie prawa o rok pozytywnie ocenili m.in. eksperci PwC: „świadomość [nowego prawa – red.] wśród przedsiębiorców jest w praktyce żadna. I nie wskazuję tu tych podmiotów, nazwijmy to, typowych dla tej regulacji (sprowadzających kakao, drewno itp.). Oni to wiedzą, oni się przygotowują itd. Ale mam na myśli pozostałe branże, które nadal nie mają świadomości, że ta regulacja ich dotyczy. Zgodnie z wyliczeniami

Ministerstwa Klimatu i Środowiska ta regulacja ma dotyczyć około 116 tys. przedsiębiorców. (...) Po rozmowach z nimi możemy założyć, że 10-20 proc. przedsiębiorców w skrajnie optymistycznym scenariuszu byłoby przygotowanych na 30 grudnia 2024 r. A reszta? A reszta płaciłaby bardzo wysokie kary albo w jakiś inny sposób ponosiłaby odpowiedzialność (np. konfiskata towarów). Komisja Europejska zapewne bała się paraliżu gospodarki, braku dostępności określonych towarów, bo i takie głosy się pojawiały", w ten sposób na początku października sytuację skomentował Krzysztof Wiński, dyrektor w warszawskim biurze PwC.

● Rozporządzenie wprowadza również system benchmarkingu, który klasyfikuje kraje lub regiony w oparciu o ryzyko niezgodności z EUDR w trzech kategoriach: niski, standardowy lub wysoki. Urzędnicy z wiodących eksporterów towarów objętych nowym prawem – w tym Brazylii, Indonezji i Wybrzeża Kości Słoniowej – sprzeciwiają się jednak rozporządzeniu, twierdząc, że może ono działać jako bariera handlowa, negatywnie wpłynąć na drobnych rolników i zakłócić łańcuchy dostaw. „Rozporządzenie to lekceważy lokalne warunki i możliwości, ustawodawstwo krajowe, mechanizmy certyfikacji, ich wysiłki na rzecz walki z wylesianiem i wielostronne zobowiązania krajów producentów, w tym zasadę wspólnej, ale zróżnicowanej odpowiedzialności" – napisała w oświadczeniu ambasada Indonezji w Brukseli (Indonezja jest największym na świecie eksporterem oleju palmowego).

● Na skrajnie odmiennym stanowisku stoją organizacje pozarządowe. W Brazylii w liście wysłanym do przewodniczącej Komisji Europejskiej Ursuli von der Leyen 25 grup ekologicznych wyraziło swoje poparcie dla przepisów, zapewniając, że firmy i urzędy przygotowują się do wdrożenia nowych wymagań. „To przełomowe rozporządzenie jest najbardziej ambitną próbą legislacyjną rozwiązania problemów wylesiania na całym świecie" – napisały brazylijskie organizacje w swoim liście. „Każda sekunda się liczy, aby chronić ludzkie życie i przyszłość ludzkości. Unikać zmian klimatycznych i powstrzymywać straty różnorodności biologicznej".
Z kolei Julian Oram, lider polityki międzynarodowej organizacji ekologicznej Mighty Earth, przekonuje, że rozporządzenie może pomóc w stworzeniu precedensu dla innych krajów rozważających ustawodawstwo, które miałoby podobny efekt: „To jest katalizator dla rządów na całym świecie, aby powiedzieć, że wystarczy: że nie możemy nadal importować lub produkować towarów związanych z wylesianiem, że musi istnieć punkt odcięcia. I to jest ten moment".


Fot. Martin Wegmann



CASE: jak indonezja zatrzymuje wycinkę lasów tropikalnych

Jeszcze 10 lat temu Indonezja – jedno z najbardziej zróżnicowanych biologicznie miejsc na Ziemi – niszczyła lasy tropikalne w tempie szybszym niż jakikolwiek inny kraj. Trzeci pod względem wielkości na świecie dziewiczy las deszczowy znikał każdego roku, aby zrobić miejsce plantacjom produkującym olej palmowy potrzebny do tworzenia dóbr konsumpcyjnych, takich jak kosmetyki czy wyroby spożywcze. Obecnie tempo niszczenia lasów w Indonezji jest najniższe od dwóch dekad. Choć w innych rejonach występowania rozległych lasów deszczowych – Brazylii i Demokratycznej Republice Konga – tempo wycinki wciąż rośnie, w Indonezji w latach 2015-2021 spadło o ponad połowę.

Na sukces Indonezji złożyło się kilka przyczyn. Około 5 lat temu rząd zaczął formułować surowe dyrektywy zabraniające hurtowej wycinki lasów. W tym samym czasie organizacje non profit zajmujące się ochroną środowiska ujawniły niejasności w łańcuchach dostaw, które przez długi czas utrudniały dokładne ustalenie pochodzenia oleju palmowego. Oczywiście producenci oleju palmowego nie ułatwiali sprawy. Wytaczali pozwy przeciwko działaniom rządu, lobbowali wśród polityków, maskowali swoje źródła surowców i zasłaniali się nieprzejrzystymi strukturami korporacyjnymi. W końcu jednak stało się dla nich jasne, że muszą zmodernizować swoją działalności albo ryzykować jej utratę.

Kluczowe okazało się uderzenie w międzynarodowe koncerny FMCG używające oleju z indonezyjskich plantacji. Przeciwko nim została nastawiona światowa opinia publiczna. Zmiana sposobu

zaopatrywania się w olej przez koncerny oznaczała ogromne koszty, ale ryzyko odwrócenia się konsumentów od ich produktów mogło być jeszcze kosztowniejsze. Ostatecznie producenci zobowiązali się do unikania oleju palmowego, umieszczając na czarnej liście plantacje powstałe w efekcie wycinki lasów. To oznaczało koszty, bo plantacje i cały las trzeba było zacząć monitorować za pomocą satelitów. Dodatkowo na przykład Nestlé wdrożyło satelitarny system monitorowania w celu śledzenia dostawców oleju palmowego. Unilever opublikował długą listę producentów, od których nie kupuje oleju palmowego. Na listach opisano dokładne położenie plantacji i stopniowo do bojkotu przystąpiły inne firmy. Producenci oleju musieli włożyć spory wysiłek, by wrócić do łańcucha dostaw.

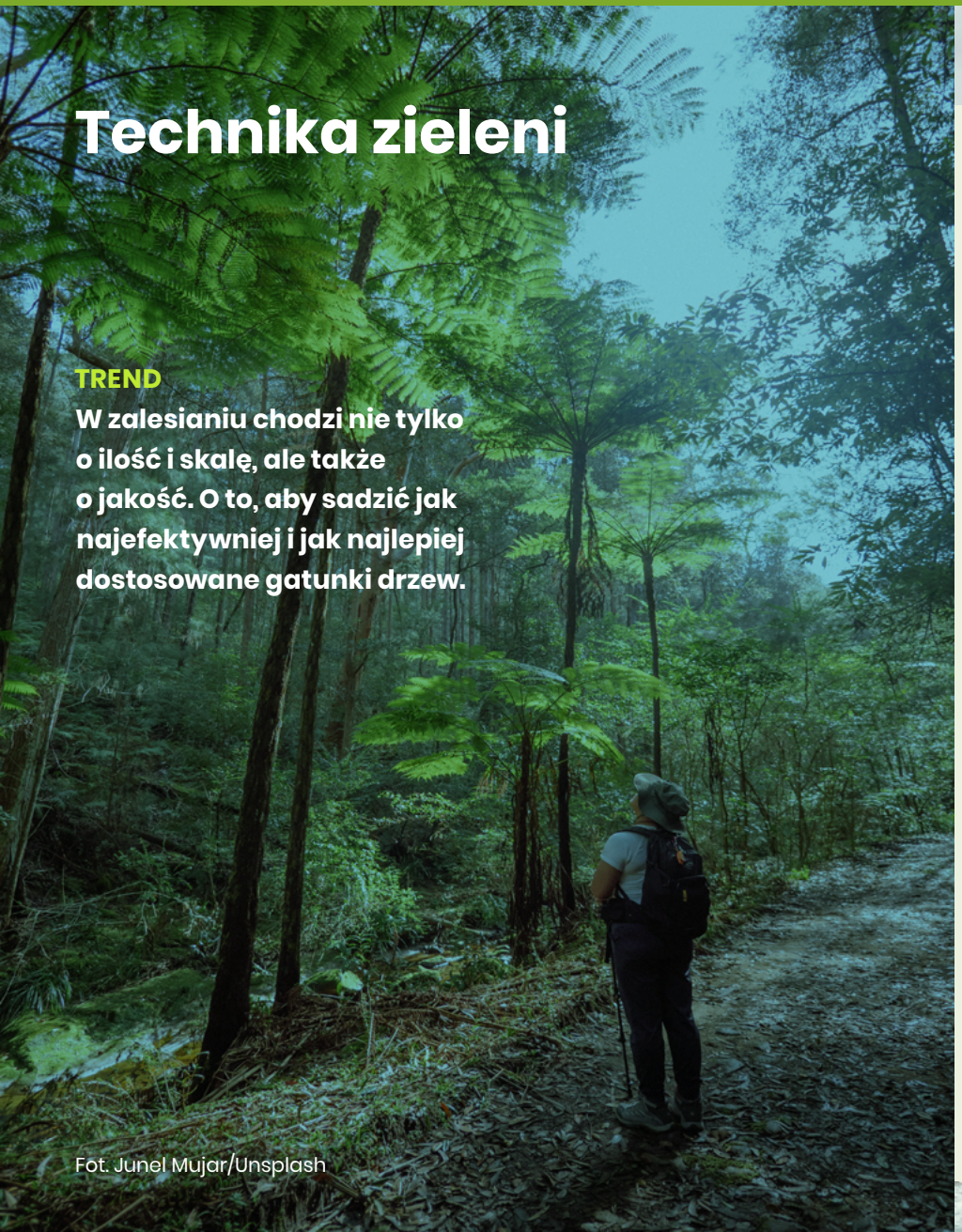
Zmiana widoczna jest na zachodnim krańcu Borneo, dużej wyspy należącej głównie do Indonezji i Malezji. Przez lata rodzinne imperium zajmujące się uprawą oleju palmowego osuszało i wycinało rozległe połacie bagnistego lasu deszczowego pod uprawę palm. Choć duża część Borneo została ogołocona z lasów i do 2017 roku stworzono tu plantacje palm olejowych o powierzchni 50 000 akrów, to po drugiej stronie wyspy niegdyś przeznaczonej również do wylesiania, dziś wciąż rośnie bujna dżungla. Kanały zbudowane w celu osuszenia terenu pod sadzonki palm zostały przebudowane, a wzdłuż brzegów rzek posadzono rodzime drzewa, by przeciwdziałać erozji gleby. Pomocne okazały się również działania służące ochronie orangutanów i skierowane na szukanie dla lokalnych mieszkańców zatrudnienia alternatywnego do wycinki lasów.



Technika zieleni

TREND

W zalesianiu chodzi nie tylko o ilość i skalę, ale także o jakość. O to, aby sadzić jak najefektywniej i jak najlepiej dostosowane gatunki drzew.



Fot. Junel Mujar/Unsplash

Sadzenie

Słabością reforestacji jest skuteczność: połowa sadzonych drzew nie przeżywa więcej niż 5 lat. Analiza 176 miejsc w Azji wskazuje, że aż 18 proc. próbek obumarło w pierwszym roku sadzenia, a 44 proc. nie przeżyło pięciu lat. To efekt mało zróżnicowanego podejścia do zalesiania. Dla odniesienia większego sukcesu sadzenie drzew powinno przebiegać zgodnie z indywidualnymi preferencjami roślin. Wskaźnik przeżycia drzew zależy od gatunku i miejsca posadzenia. Niektóre gatunki mają wskaźnik przeżycia przekraczający 80 proc. w ciągu pięciu lat, a w innych miejscach prawie wszystkie drzewa obumarły. Przy sadzeniu ważne jest też dokładne oszacowanie „możliwości przetwórczych" drzew. Stąd pojawiają się narzędzia, które pozwalają wyliczyć, ile CO_2 wchłonie każde drzewo: lidary do mapowania terenu i AI do analizy wyników. Znając rozmiar i gatunek drzew można precyzyjnie oszacować, jak wiele CO_2 pochłaniają – na Manhattanie jest to np. 52 Kt CO_2.

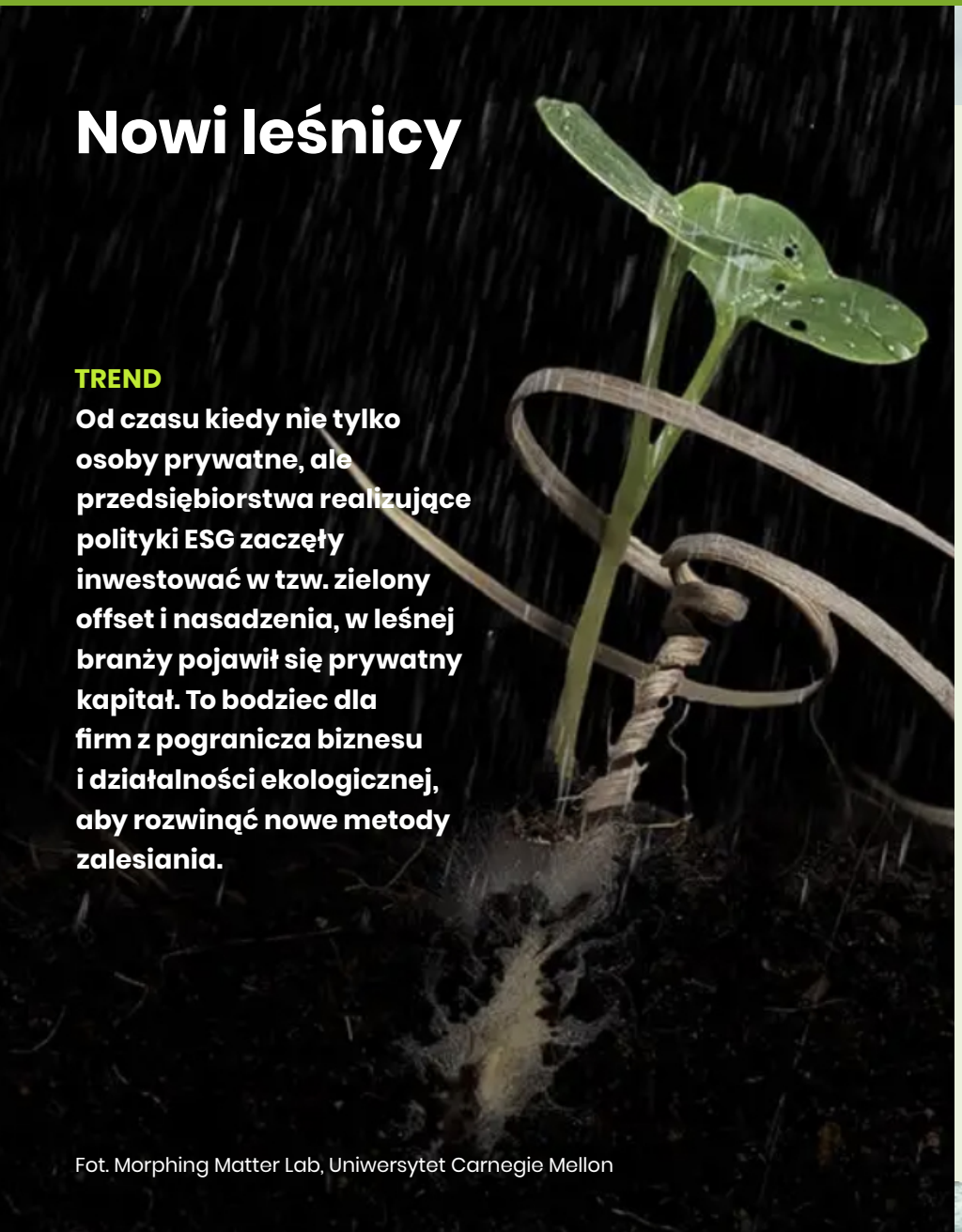
Drzewa

Ważny jest sam dobór gatunków. Do tzw. superdrzew zalicza się szybko rosnący azjatycki eukaliptus tęczowy, a ONZ do nowych nasadzeń poleca daglezję zieloną znaną głównie z Ameryki. Na liście jest też sosna oraz dąb. Aby wydajność była jeszcze większa, naukowcy pracują nad tym, by ulepszyć w nich fotosyntezę – Living Carbon wykazał, że drzewa genetycznie modyfikowane mają szybsze tempo wzrostu i akumulują o 53 proc. więcej biomasy. Ten wynik dotyczy topoli, którą firma na dużą skalę posadziła w Georgii. Z kolei Terwiwa promuje Pongamie, odporne drzewo, które może rosnąć na zdegradowanej glebie przy niewielkiej ilości wody lub nawozu. A przy tym jego nasiona są dobrym źródłem oleju i białka. Nowymi gatunkami szybko rosnących drzew zainteresowany jest przemysł leśniczy, który upatruje w tym skrócenie czasu „produkcji". Dotyczy to m.in. brazylijskiego Suzano, które dzięki modyfikacjom genetycznym zbiór eukaliptusów chce prowadzić nie co 7 lat, ale co 5,5 roku, uzyskując drzewa o 20-30 proc. bardziej masywne.

Gracze

Living Carbon
Vidalia Valley
IBM
FuturaGene
ArborGen
Suzano
Terwiwa

Nowi leśnicy



TREND

Od czasu kiedy nie tylko osoby prywatne, ale przedsiębiorstwa realizujące polityki ESG zaczęły inwestować w tzw. zielony offset i nasadzenia, w leśnej branży pojawił się prywatny kapitał. To bodziec dla firm z pogranicza biznesu i działalności ekologicznej, aby rozwinąć nowe metody zalesiania.

Fot. Morphing Matter Lab, Uniwersytet Carnegie Mellon

Technika

Z technicznego punktu widzenia proces nie jest zbyt skomplikowany. Najpierw wynajduje się grunt pod zalesienie, po czym odtwarza zieleń. Można robić to ręcznie, sadząc młode drzewka, albo wysiewać las w sposób bardziej zautomatyzowany, przy wykorzystaniu dronów. Latając nad ziemią, drony najpierw mapują topografię terenu i warunki glebowe, tak aby zidentyfikować najlepszy obszar do obsadzenia, a później wystrzeliwują biodegradowalne pojemniki wypełnione nasionami i substancjami odżywczymi. Jak szacuje start-up Now, drony mogą wysiać 20 mld drzew rocznie, czyli w ciągu 50 lat osiągniemy cel 1 bln nasadzeń. Ciekawe udoskonalenie procesu sadzenia zaproponowali naukowcy z Morphing Matter Lab Uniwersytetu Carnegie Mellon, którzy opracowali e-seed, skręcony w spiralę nośnik dla nasion, który w zetknięciu z wodą (np. deszczem) rozwija się, wkręcając sadzonkę w ziemię. Inspiracją była iglica, różopodobna roślina samogrzebiąca się.

Wyzwania

Z przytoczonych badań wynika, że wysiać a zalesić to duża różnica. Połowa drzew się nie przyjmuje. Stąd proste rozrzucenie nasion to za mało. Pierwszą rzeczą jest stworzenie odpowiedniego banku nasion najlepszych dla danych lokalizacji. Ważna bywa także rekultywacja gruntów i np. ich dodatkowe nawodnienie. Na końcu trzeba też stworzyć odpowiednio wyszkolone i wyposażone grupy leśników, które będą lokalnie dbały o prawidłowy wzrost lasów. Niezwykle ważny jest sam początek procesu, czyli pozyskanie finansowania. Stąd powstały nowe platformy i takie organizacje jak Bankers without Boundaries, które szacują, że przywrócenie 2,3 mld akrów lasów może kosztować około 2,6 bln dol. Nie mniej ważny jest ruch oddolny i zaangażowanie jak największej liczby wolontariuszy, co pokazała m.in. American Forests, której udało się zmontować koalicję amerykańskich miast deklarujących chęć zasadzenia ponad 855 mln drzew w ciągu najbliższych 10 lat.

Kluczowi gracze

Terraformation
Seed to Carbon
Now Tree
Morphing Matter Lab (Carnegie Mellon University)
Nation One
Tree Planet
Brynk
Bankers without Boundaries
American Forests

NAUKOWCY MAJĄ GŁOS:
agroleśnictwo, czyli sielska symbioza drzew i upraw



Fot. Robert So

● Wyobraź sobie, że dokonujesz na polu jednej tylko zmiany, dzięki której oprócz żywności będą tam również rosły materiały budowlane, paliwo i pasza. Co więcej, zmiana ta jednocześnie wzmocniłaby zdrowie gleby, uregulowałaby mikroklimat i pomagała zwalczać szkodniki niszczące dziką przyrodę. Wszystkie te rzeczy są możliwe dzięki sadzeniu wśród upraw drzewa, krzewów, a nawet palm czy bambusów, przekonuje Dhanapal Govindarajulu z Global Development Institute na University of Manchester.

● To podejście do rolnictwa jest znane jako agroleśnictwo, a eksperci uważają, że może poprawić zrównoważony rozwój rolnictwa na całym świecie. Na dużą skalę może łagodzić zmiany klimatyczne poprzez magazynowanie większej ilości węgla w ziemi. Co więcej, kraje mogą nawet liczyć drzewa posadzone na polach uprawnych do swoich zobowiązań dotyczących ponownego zalesiania. Istnieje duża przestrzeń do sadzenia drzew w gospodarstwach w Azji Południowej i Afryce Subsaharyjskiej. Ale wiele z tych działek jest małych – średnio mają mniej niż 2 hektary. Jak więc zapewnić, że drzewa nie będą konkurować z uprawami, działając równocześnie na rzecz rolników i planety? Ciekawą perspektywę przedstawiają Indie, gdzie w ciągu ostatnich dwóch dekad agroleśnictwo bardzo się rozwinęło.

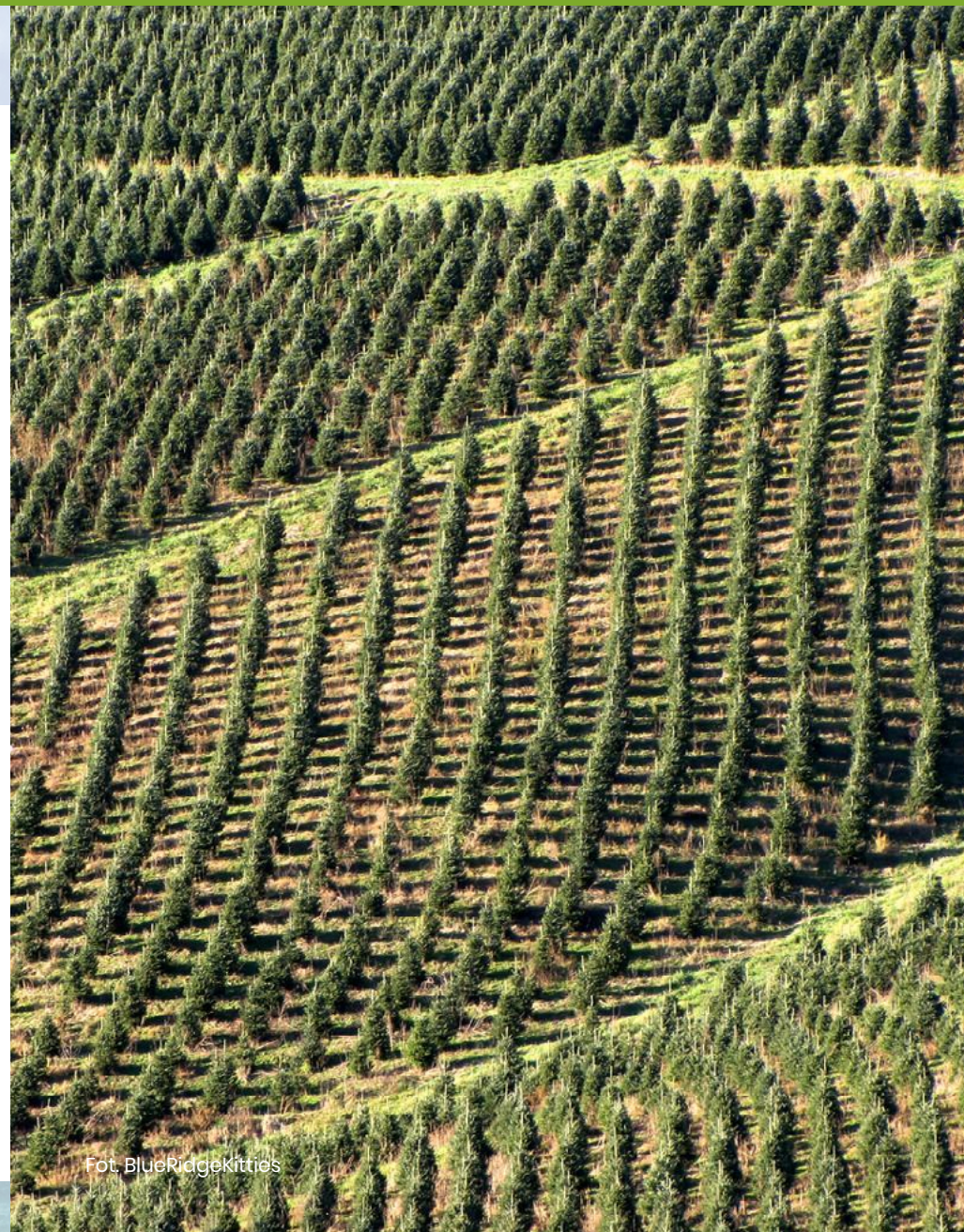
Pierwsza próba, aby uzyskać więcej drzew na farmach, rozpoczęła się w 1999 r. wraz z programem Lok Vaniki w stanie Madhya Pradesh. Rząd stanowy rozpoczął projekt, aby pomóc rolnikom ze zdegradowaną ziemią w uzyskaniu dodatkowego dochodu z drewna, i zapewnił im sadzonki drzewa tekowego. Inicjatywa miał dość niespokojny początek. Indyjski sąd najwyższy zakazał bowiem wycinki wszystkich drzew, z wyjątkiem tych, które były zatwierdzone w ramach planów leśnych przygotowywanych z trzyletnim wyprzedzeniem. Zanim rolnicy mogliby sprzedać drewno, które uprawiali, ich prośba o ścięcie drzewa musiała więc czekać na zatwierdzenie przez władze.

● Rolnicy obawiali się sadzenia czegoś, na wycięcie czego mogą nie dostać pozwolenia, a drzewa muszą rosnąć 20 lat, aby nadawały się do zbiorów. Uciążliwy proces uzyskiwania zezwoleń i wysokie koszty transportu kompletnie storpedowały program. Aby go uratować, władze stanu niektóre drzewa zwolniły z przepisów dotyczących wycinki. Do 2014 r. Indie stworzyły krajową politykę agroleśnictwa, która oferowała rolnikom sadzonki i prostsze procedury pozyskiwania oraz transportu drzew. Mimo to sadzenie drzew na farmach nie spopularyzowało się. W rzeczywistości badanie, w którym uczestniczyłem, pokazało, że w ostatniej dekadzie odnotowano poważny spadek liczby nasadzeń drzew na farmach. Duży wpływ miał na to rozwój rolnictwa zmechanizowanego preferującego bezdrzewne pola, na których ciągniki i pojazdy rolnicze mogły łatwo manewrować. A ataki pasożytów, przede wszystkim grzybów, pochłonęły inne drzewa. Rolnicy podchodzili do tego bez sentymentu. W wywiadach wielu z nich stwierdziło,

że widzieli niewiele korzyści z drzew, które w dodatku mogłyby ograniczyć nasłonecznienie upraw. Niemniej spadek rodzimych drzew uprawianych w gospodarstwach – takich jak neem, mahua i jamun – niegdyś cenionych za oleje lecznicze i pożywne owoce, zagroził wiejskiej diecie, zwłaszcza w najbiedniejszych regionach.

● Podczas gdy „populacja" drzewa na polach uprawnych w Indiach się zmniejszyła, rozrosły się plantacje samych drzew. Pojawiły się gospodarstwa, gdzie rosną wyłącznie drzewa. W dużej mierze składają się z egzotycznych i szybko rosnących drzew, takich jak eukaliptus, topola i kazuaryna, które są zwolnione z przepisów dotyczących wycinki. Zachęceni perspektywą generowania kredytów węglowych na międzynarodowym rynku węglowym oraz popytem na drewno celulozowe do produkcji papieru rolnicy nawet bardzo małe działki rolne przekształcali w plantacje. Kiedy jednak w 2012 r. cena kredytów węglowych spadła wraz z upadkiem stworzonego przez ONZ systemu Clean Development Mechanism, ci drobni rolnicy ponieśli straty. Badania potwierdziły, że wielu lepiej by zrobiło, nie zmieniając przeznaczenia swoich działek. Chociaż obecnie w Indiach rośnie zapotrzebowanie na drewno celulozowe i konstrukcyjne, w największym stopniu faworyzuje to rolników, którzy mogą sadzić na dużych obszarach, pokrywać koszty zbiorów i tranzytu oraz czekać na zwroty ze swoich plantacji. To model działania, na który drobni rolnicy nie mogą sobie pozwolić.

● Te wyspecjalizowane plantacje nie są przy tym wielkim dobrodziejstwem dla środowiska. Na przykład eukaliptus zużywa dużo wody i składników odżywczych magazynowanych w glebie, pozostawiając ziemię mniej żyzną do przyszłej uprawy. Jego liście i kwiaty są mniej przydatne dla ptaków niż wiele rodzimych drzew. Na całym świecie panuje pośpiech, aby sadzić więcej drzew w gospodarstwach rolnych, nie biorąc pod uwagę, co rolnicy zrobią z tym za 20 lat lub w jaki sposób może to zakłócać produkcję roślinną. Ten problem nie jest unikalny dla Indii i został zauważony w innych krajach, m.in. w Kenii. Nadal powinno się jednak zachęcać do sadzenia drzew na polach uprawnych. Najlepiej rodzime gatunki, które są korzystne dla lokalnej diety i medycyny. Jak dotąd trendem zarówno w Indiach, jak i innych krajach były jednak duże plantacje drzew, zjawisko w dużej mierze napędzane przez nęcący system kredytów węglowych. Dlatego skupić się należy na wspieraniu drobnych rolników w zrównoważonej uprawie rodzimych drzew. Rozproszone nasadzenia wielu gatunków w małych gospodarstwach przynoszą większe korzyści rolnikom i środowisku niż plantacje jednogatunkowe. Aby tak się stało, musi istnieć jednak jakiś sposób na sfinansowanie tego procesu. Gdyby mechanizm kredytów węglowych mógł wyróżnić ten model agroleśnictwa i pomóc drobnym rolnikom w dodaniu drzew do ich gruntów uprawnych, byłaby to duża zmiana we właściwym kierunku.



Fot. BlueRidgeKitties

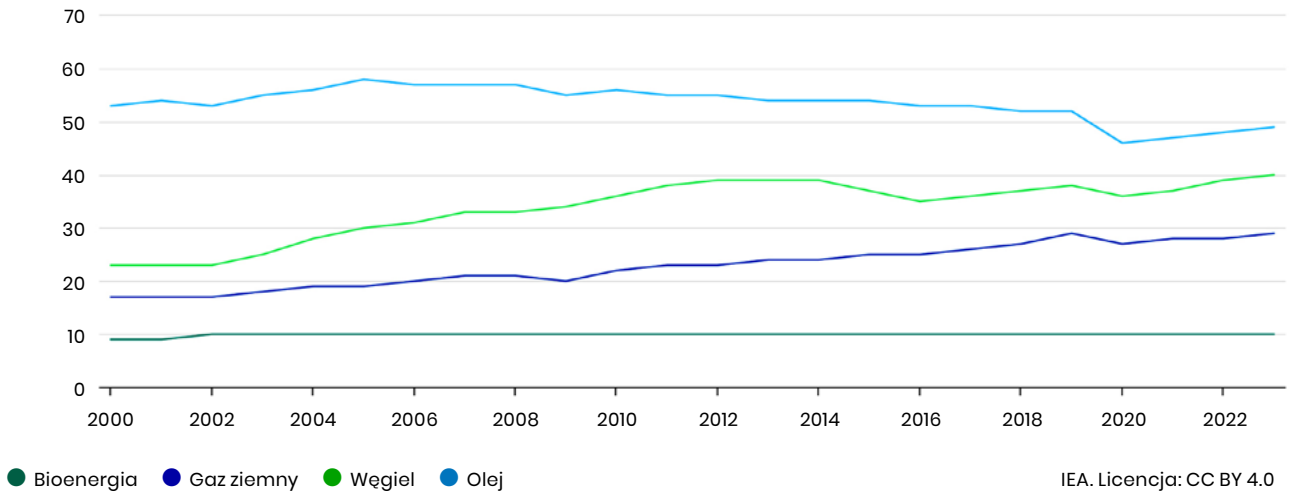
Metan: wróg publiczny nr 2 – energetyka

● Obok dwutlenku węgla metan jest drugim gazem o kluczowym wpływie na ocieplanie się klimatu: wg danych IPCC metan jest odpowiedzialny za blisko 30 proc. wzrostu temperatury liczonego od czasu rewolucji przemysłowej. W powietrzu utrzymuje się dość krótko, bo przez mniej więcej 12 lat – w porównaniu z ponad 1000 lat dla CO_2 – ale zaraz po uwolnieniu powoduje około 120 razy większe ocieplenie. Biorąc pod uwagę okres 100 lat, potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP) metanu jest 25 razy większy niż analogicznej masy CO_2, a w okresie 20 lat nawet 72 razy większy. Rozprawienie się z jego emisją wydaje się więc pilniejsze i szybsze do zrobienia. Temat emisji metanu po raz pierwszy naprawdę poważnie potraktowano w 2021 r. podczas szczytu klimatycznego COP26. Wówczas uruchomiono tzw. Global Methane Pledge (GMP), do którego przystąpiło 111 krajów odpowiadających za 45 proc. emisji. Dziś grono to liczy już 155 członków, a szczyt COP28 był okazją do złożenia nowych deklaracji i pochwalenia się pewnymi osiągnięciami. Podstawowy cel to 30 proc. redukcji emisji CH_4 do 2030 r.

● Tymczasem jednak emisja metanu wciąż utrzymuje się blisko rekordowego poziomu. Międzynarodowa Agencja Energii (IEA) szacuje, że produkcja i wykorzystanie paliw kopalnych spowodowały blisko 118 Mt emisji metanu (dane z 2023 r.). Rekord na poziomie 119 Mt osiągnięty został w 2019 r., później mieliśmy mocny spadek do 109 Mt związany z kryzysem covidowym, a od tego czasu emisje stale rosną. Towarzyszy im stała produkcja około 10 Mt metanu z bioenergii, w dużej mierze wynikającej z tradycyjnego wykorzystania biomasy. Według ekspertów IEA poziomy te pozostają zdecydowanie zbyt wysokie, aby osiągnąć światowe cele klimatyczne. W XXI wieku nieznacznie spadła emisja CH_4 towarzysząca ropie naftowej, rośnie za to ta z gazu ziemnego, a także węgla. Intensywność emisji metanu z produkcji paliw jest bardzo zróżnicowana. Kraje z najlepszymi wynikami osiągają ponad 100 razy lepsze wyniki niż najgorsze. Norwegia i Holandia mają najniższe intensywności emisji. Kraje na Bliskim Wschodzie, takie jak Arabia Saudyjska i Zjednoczone Emiraty Arabskie, również mają stosunkowo niską intensywność emisji. Turkmenistan i Wenezuela mają najwyższe.

● Wysoka intensywność emisji nie jest nieunikniona, przekonuje IEA: można je rozwiązać w opłacalny sposób dzięki połączeniu wysokich standardów operacyjnych, działań politycznych i wdrażania technologii. Agencja szacuje, że do 2030 r. można uniknąć około 80 Mt rocznych emisji metanu z paliw kopalnych poprzez wdrożenie znanych i istniejących technologii, często przy niskich – lub nawet ujemnych – kosztach. Do tego roku wszyscy producenci paliw kopalnych mieliby intensywność emisji podobną do dzisiejszych najlepszych operatorów

Emisje metanu z energii, 2000-2023 (Mt)



IEA. Licencja: CC BY 4.0

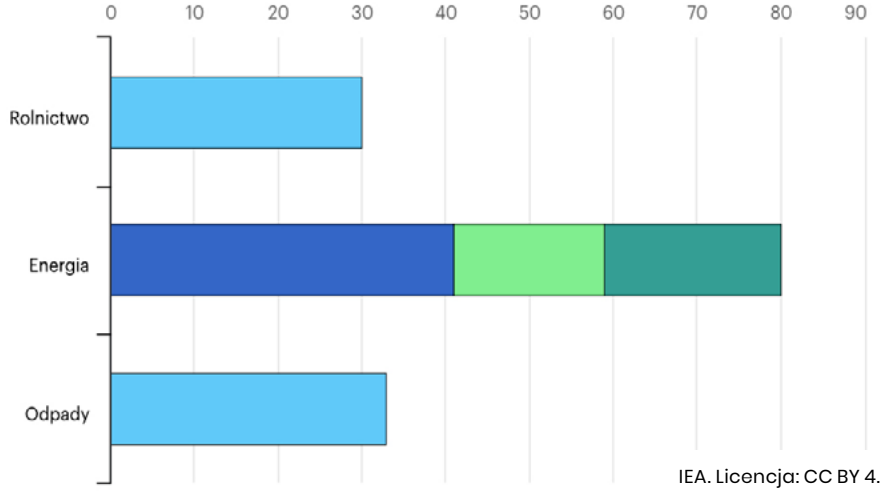
na świecie. Na przeprowadzenie takiej transformacji potrzeba około 170 mld dol. Obejmuje to około 100 mld dol. wydatków w sektorze naftowym i gazowym oraz 70 mld dol. w przemyśle węglowym (135 mld dol. to CAPEX, a 35 mld dol. OPEX).

● Szacunki te zakładają więc 75 proc. redukcji emisji i są znacznie bardziej ambitne niż cele zawarte w Global Methane Pledge (GMP) na poziomie 30 proc. Dziś trudno jeszcze powiedzieć, jaki będzie ostateczny efekt. Zasady i przepisy dotyczące metanu, które obecnie istnieją, według IEA do końca dekady zmniejszyłyby emisje z działalności związanej z paliwami kopalnymi o blisko 20 proc. Agencja zaznacza jednocześnie, że jeśli wszystkie polityki dotyczące metanu i zobowiązania podjęte do tej pory przez kraje i firmy zostaną wdrożone i osiągnięte w pełni i na czas, emisje metanu z paliw kopalnych zmniejszyłyby się o jakieś 50 proc. W większości przypadków obietnice te wciąż nie są jednak poparte szczegółowymi planami, zasadami i przepisami.

● Około 40 proc. emisji metanu z paliw kopalnych można uniknąć bez ponoszenia kosztów netto. Dzieje się tak, ponieważ wymagane nakłady na środki redukcji emisji byłyby mniejsze niż rynkowa wartość wychwyconego gazu (według średnich cen z 2023 r.). Dotyczy to przede wszystkim ropy naftowej i gazu ziemnego, gdzie w taki bezkosztowy sposób można wyeliminować połowę emisji – w przypadku węgla jest to 15 proc. Według IEA Istnieje kilka możliwych powodów, dla których firmy nie wdrażają tych środków, mimo że same by się spłacały. Jednym z nich jest stopa zwrotu z inwestycji w systemy do wychwytywania metanu, która może być niższa niż w przypadku innych możliwości inwestycyjnych. Może również zabraknąć świadomości dotyczącej skali emisji metanu i opłacalności redukcji. Czasami problemem jest niewystarczająca infrastruktura, która utrudnia firmom uzyskanie dochodów z unikniętych emisji.

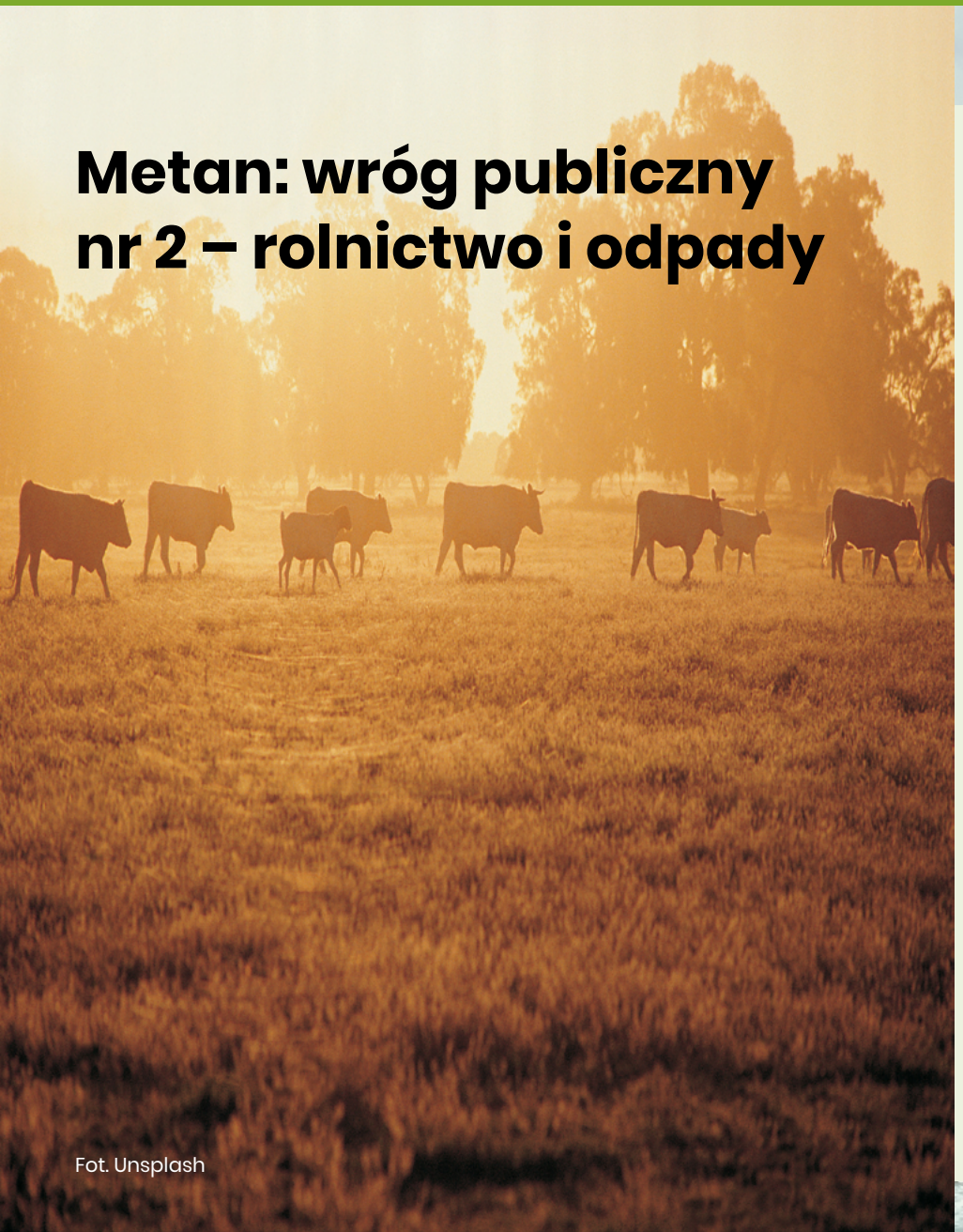
● Niezależnie od wartości przechwyconego gazu IEA szacuje, że wdrożenie prawie wszystkich środków redukcji metanu z paliw kopalnych byłoby opłacalne, gdyby emisje zostały wycenione na mniej więcej 20 dol. za tonę ekwiwalentu CO2. Wykorzystanie tego potencjału będzie wymagało nowych ram regulacyjnych, mechanizmów finansowania i ulepszonego śledzenia emisji. Krok w tym kierunku zrobiły już Stany Zjednoczone, które w 2024 r. wprowadziły podatek nazwany IRA Methane Emissions Charge. Podobnie jak w przypadku CO_2 obłożone zostaną nim firmy, których działalności towarzyszy emisja CH_4. Opłaty zaczynają się od 900 dol. za tonę metanu uwalnianego do powietrza powyżej ustalonego progu, aby po dwóch latach dojść do poziomu 1500 dol. W przeliczeniu na tonę ekwiwalentu CO_2 jest to 36 i 50 dol., czyli znacznie powyżej wyliczeń IEA. Amerykanie szacują, że z nowego podatku pozyskają 1,5 mld dol., które przeznaczą na ograniczenie emisji, w tym na wymianę nieszczelnego sprzętu i monitorowanie metanu. Największym problemem pozostają jednak Chiny i Rosja, dwaj najwięksi emitenci metanu pochodzącego z paliw kopalnych. Razem odpowiadały za blisko jedną trzecią emisji z działalności związanej z paliwami kopalnymi. Żadne z tych państw nie zobowiązało się do bezwzględnej redukcji metanu przed 2030 r. i nie przystąpiło do Global Methane Pledge. Podobnie zresztą jak Indie, które wyrastają na czołowego truciciela w branży węglowej.

Potencjał redukcji metanu do 2030 r. (Mt)



IEA. Licencja: CC BY 4.0

Metan: wróg publiczny nr 2 – rolnictwo i odpady

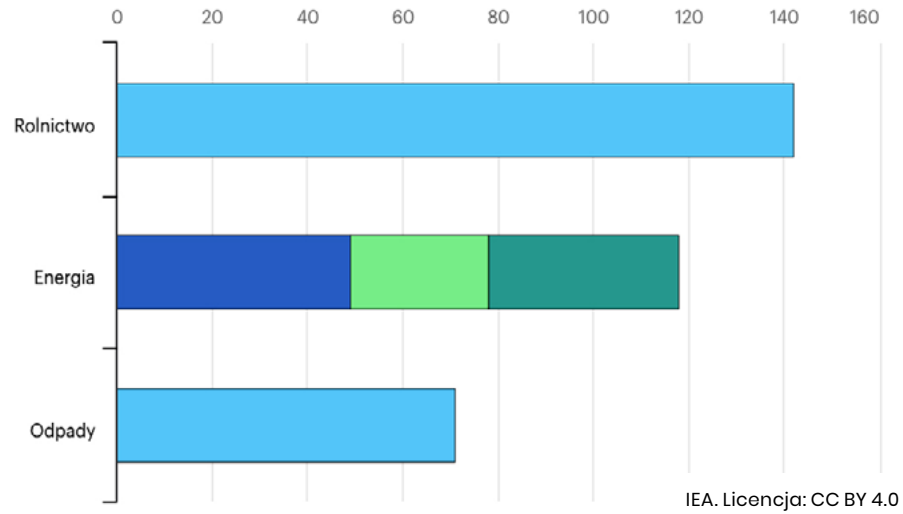


Fot. Unsplash

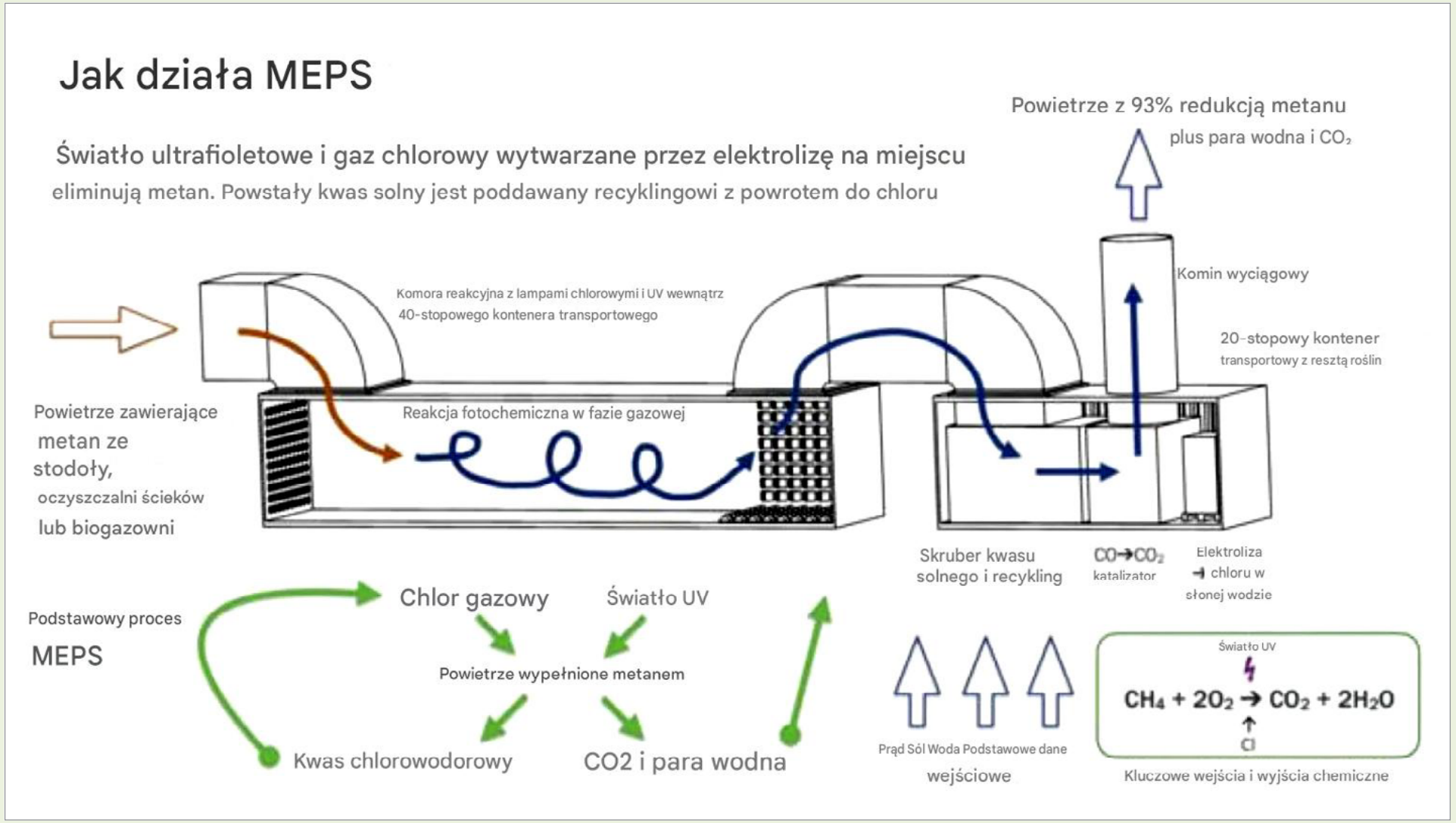
● To jednak nie energetyka, ale rolnictwo jest dziś największym emitentem metanu na świecie. Rocznie dostarcza go do atmosfery około 142 Mt – głównie z tzw. fermentacji jelitowej, ale także obornika – a trzecim dużym źródłem są odpady przyczyniające się do produkcji około 72 Mt CH_4. Oba segmenty mają przy tym nieco mniejszy, bezwzględny potencjał do redukcji emisji – IEA szacuje, że metan towarzyszący uprawom może się zmniejszyć do 31 Mt, czyli o 22 proc., a w branży odpadowej do 33 Mt, co stanowi 46 proc. obecnego poziomu. Dość proste jest przede wszystkim ograniczenie emisji towarzyszących odpadom. Głównie za sprawą likwidacji składowisk, które są największym, nieokiełznanym źródłem CH_4. Z jednej strony w grę wchodzi wyższy poziom recyklingu, a z drugiej utylizacja śmieci i wykorzystanie ich jako w pełni kontrolowane źródło energii.

● Naukowcy pracują przy tym nad technologiami, które wychwytywanie uwolnionego metanu uczyniłyby jeszcze bardziej efektywnym. I tak w ubiegłym roku na Uniwersytecie w Kopenhadze opracowano Methane Eradication Photochemical System (MEPS), który może towarzyszyć każdej instalacji – np. oczyszczalni ścieków – w której gromadzi się zbędny metan. Cały proces zachodzi w komorze reakcyjnej, w której zbiera się gaz i gdzie trafiają też cząsteczki chloru rozbite z wykorzystaniem światła UV. Tak powstałe, wysoce reaktywne atomy chloru wytrącają z metanu atomy wodoru. Jest to reakcja tlenowa, w której metan rozkłada się na dwutlenek węgla i wodę. Produktem ubocznym działalności atomów chloru jest kwas solny, który można wykorzystać w procesach chemicznych. Wszystko to jest naturalnym procesem, który zachodzi w środowisku, tyle że tu został przyspieszony o 100 mln razy.

Główne źródła emisji metanu (Mt)



IEA. Licencja: CC BY 4.0



● Inżynierowie chemicy z MIT pod kierownictwem prof. Michaela Strano zaprojektowali z kolei nowy katalizator, który może przekształcić metan w użyteczne polimery. Metan składający się z pojedynczego atomu węgla związanego z czterema atomami wodoru teoretycznie powinien być dobrym budulcem do wytwarzania użytecznych produktów. A jednak jego konwersja do innych związków jest trudna, ponieważ doprowadzenie reakcji z innymi cząsteczkami zwykle wymaga wysokiej temperatury i wysokich ciśnień. Aby osiągnąć konwersję metanu bez tego wkładu energii, zespół MIT zaprojektował katalizator hybrydowy z dwoma składnikami: zeolitem i naturalnie występującym enzymem. Zeolity są obfitymi, niedrogimi minerałami podobnymi do gliny, a w tym badaniu naukowcy użyli zeolitu zwanego modyfikowanym krzemianem glinu w połączeniu z enzymem zwanym oksydazą alkoholową, który bakterie, grzyby i rośliny wykorzystują do utleniania alkoholi.

● Tak przygotowany katalizator hybrydowy wykonuje dwuetapową reakcję, w której zeolit przekształca metan w metanol, a następnie enzym przekształca metanol w formaldehyd. Ta reakcja wytwarza również nadtlenek wodoru, który jest wprowadzany z powrotem do zeolitu, aby zapewnić źródło tlenu do konwersji metanu do metanolu. Proces ten może zachodzić w temperaturze pokojowej i nie wymaga wysokiego ciśnienia. Cząsteczki katalizatora są zawieszone w wodzie, która może wchłonąć metan z otaczającego powietrza. W przypadku przyszłych zastosowań naukowcy przewidują, że katalizatorem można będzi pokrywać powierzchnie mające styczność z metanem.

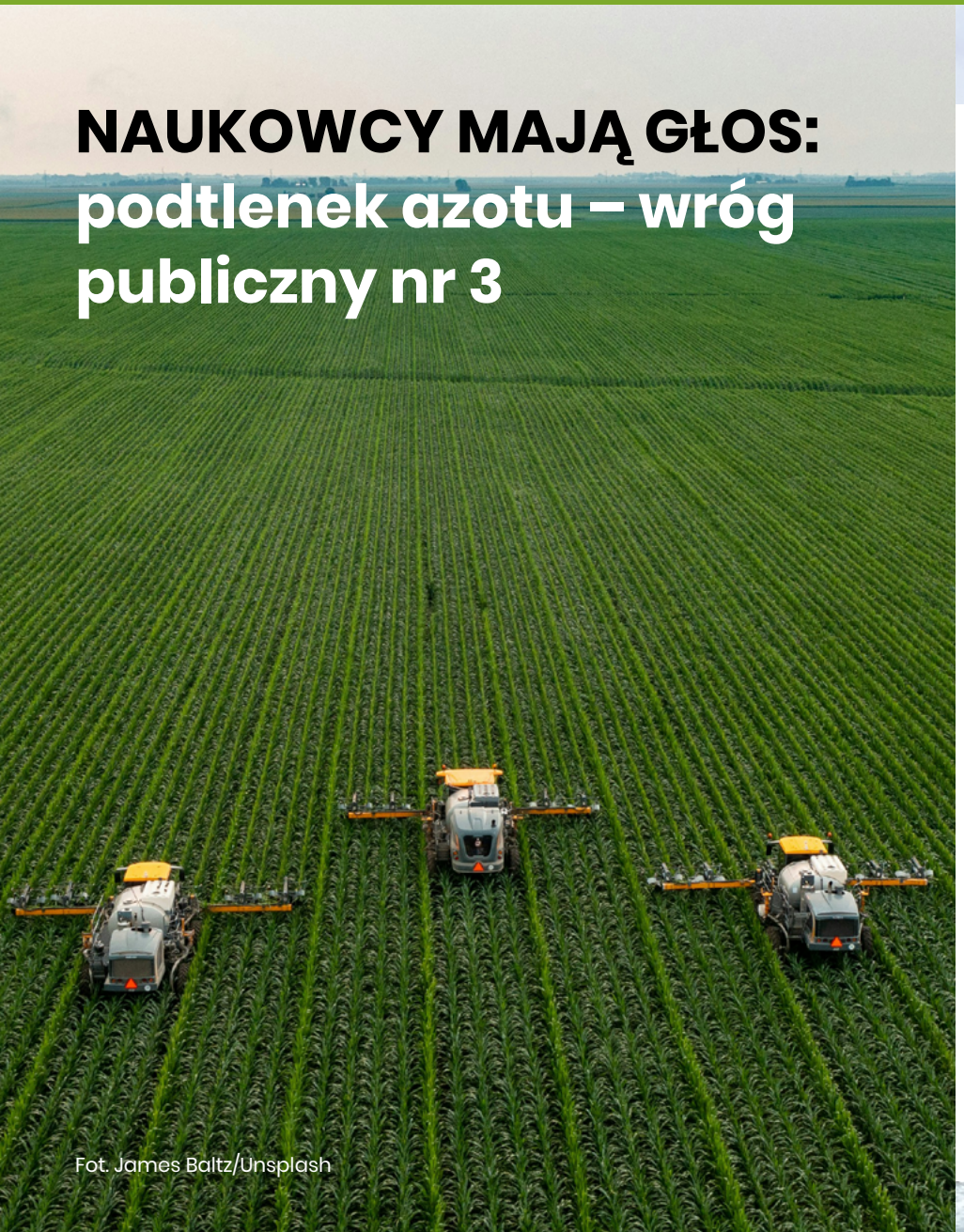
● Bardziej złożona sytuacja jest w przypadku hodowli, gdzie mamy do czynienia z inwentarzem żywym, zwłaszcza krowami, które do atmosfery rocznie są w stanie oddać do 100 kg metanu. Jednym z kluczowych działań, jakie podejmują hodowcy, aby przeciwdziałać temu zjawisku, jest wprowadzanie mniej gazotwórczej paszy. W 2022 r. w szwedzkiej sieci spożywczej Coop pojawił się nowy produkt nazwany wołowiną „niskometanową". Wybrane sklepy sprzedają limitowane serie mielonej wołowiny i steków z polędwicy wołowej z bydła karmionego czerwonymi wodorostami. To suplement, który ogranicza emisję metanu. Badania wykazały, że u krów może obniżyć ją o 80 proc., a czasami nawet o 99 proc. W ubiegłym roku podobny produkt na amerykański rynek wprowadził Elanco Animal Health. Jego dodatek paszowy Bovaer działa poprzez tłumienie enzymu jelitowego, który wytwarza gaz, i nie ma niekorzystnych skutków zdrowotnych dla krów – ani dla ludzi, którzy spożywają mleko. A przy tym średnio zmniejsza emisję metanu o 30 proc.

● Tego typu dodatki paszowe mają podstawową wadę: zwykle zwiększają koszty hodowli. W przypadku Bovaer jest to około 15 dol. miesięcznie na każdą krowę, stąd Elanco równolegle ze swoim produktem wprowadziło system rekompensat w postaci tzw. kredytów węglowych. Aby w nim uczestniczyć, raz w miesiącu rolnicy dokonują kalkulacji śladu węglowego w oparciu o opracowane przez Elanco narzędzie Uplook, które rejestruje, ile stado je i ile emisji metanu uniknęło dzięki podaniu Bovaer. Następnie Uplook łączy się z Athian, pierwszą, powstałą w ubiegłym roku giełdą emisji dla hodowców zwierząt, która poświadcza redukcje CH_4 i przyznaje farmerom kredyty węglowe. Od ręki, za pośrednictwem Athian, mogą je sprzedać firmom z branży mleczarskiej lub z nią współpracującym, które chcą zmniejszyć emisje z zakresu 3, czyli łańcuchów dostaw. Nabywcą może być więc zarówno duży koncern jak Nestlé, jak i np. sieć supermarketów spożywczych. Elanco szacuje, że to z nawiązką rekompensuje wydatki na Bovaer – w ostatecznym rozrachunku hodowcy, zamiast dopłacać do jego zakupu, na każdą krowę rocznie otrzymują około 20 dol. dodatkowego zysku.

● Całkiem inna propozycja związana z ograniczeniem emisji metanu w hodowlach to przedstawiony przez argentyński start-up Zelp rodzaj uzdy czy też maski na krowi pysk, która ma za zadanie zmniejszyć emisję metanu o 60 proc. Do głowy krowy dopasowuje się ją za pomocą mechanizmu przypominającego zamek błyskawiczny, co sprawia, że pasuje na różne rozmiary głowy bydła w zależności od rasy. Zakłada się ją w wieku 6-8 miesięcy obok nozdrzy, co pozwala wychwytywać metan z oddechu i beknięć. „Około 95 proc. metanu emitowanego przez bydło pochodzi z nozdrzy i pyska. Technologia wykrywa, wychwytuje i utlenia metan, gdy jest on wydychany przez zwierzęta", wyjaśnia Francisco Norris, jeden z założycieli start-upu, w rozmowie z serwisem Wired.

● Kolejnym wyzwaniem związanym z hodowlą jest amoniak zawarty w krowim moczu. Bezpośrednio nie zanieczyszcza powietrza, ale gdy trafia do gleby, jest przekształcany w tlenek azotu, który jest trzecim – obok metanu i dwutlenku węgla – najbardziej znaczącym gazem cieplarnianym. Od jakiegoś już czasu mówiło się więc o korzyściach, jakie przyniosłyby toalety dla krów. Tyle że dotychczasowe próby nie były zbyt obiecujące. Dlatego eksperyment, w którym naukowcom udało się nauczyć stado cieląt korzystania z toalety, to nie tylko zabawna ciekawostka, ale i krok do bardziej przyjaznej środowisku hodowli tych zwierząt. Metoda nazwana MooLoo pozwoliła nauczyć krowy załatwiania swoich potrzeb w wydzielonej części obory, skąd odchody mogą być sprawnie pobierane i przetwarzane. Kolejny krok to nauka defekacji. Badacze z zespołu Jana Langbeina myślą też o stworzeniu zautomatyzowanego systemu, który mógłby szkolić krowy bez większego udziału ludzi. Mają nadzieję, że już za kilka lat wszystkie krowy będą załatwiać się w toaletach.

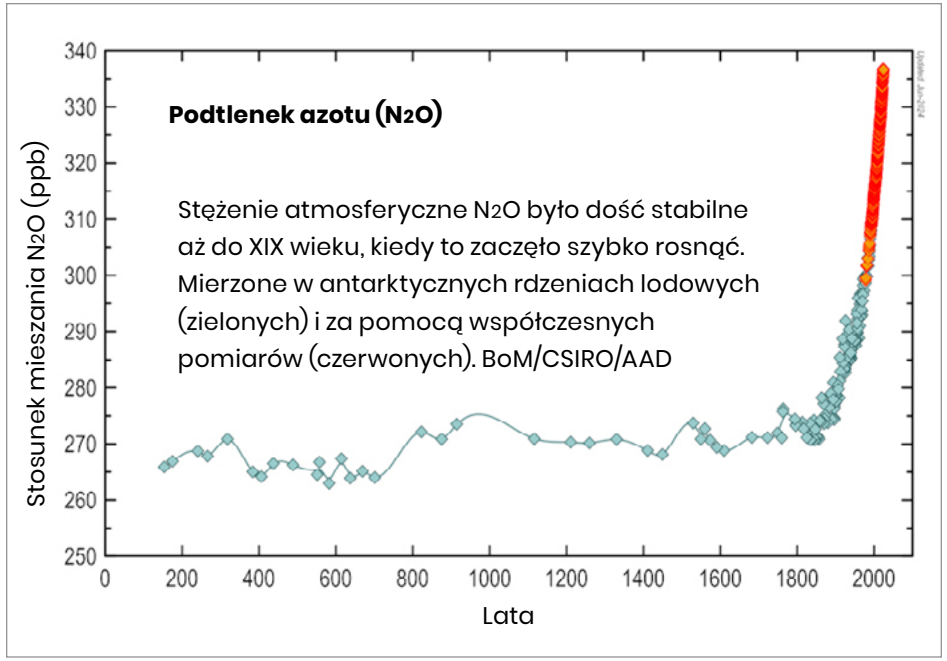
NAUKOWCY MAJĄ GŁOS: podtlenek azotu – wróg publiczny nr 3



Fot. James Baltz/Unsplash

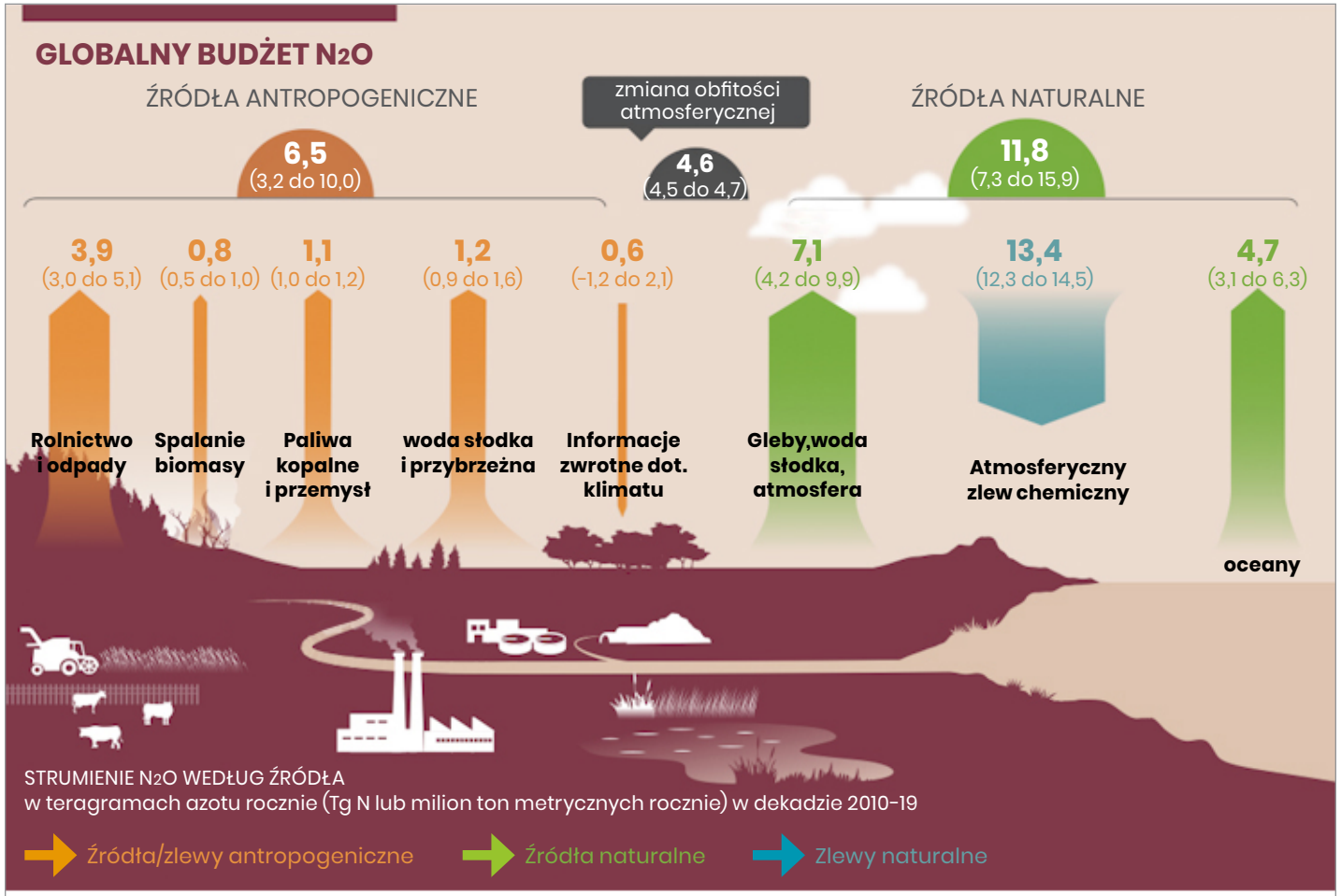
● Rola żywności w zmianach klimatycznych stała się jednym kluczowych wyzwań naszych czasów. Podróż steku, owoców lub sałatki z pola do stołu pozostawia znaczący ślad w środowisku. Jako naukowcy zajmujący się ziemią, klimatem i atmosferą śledzimy globalne emisje gazów cieplarnianych i właśnie opublikowaliśmy najbardziej kompleksową ocenę potężnego gazu cieplarnianego z produkcji żywności: podtlenku azotu (N_2O), pisze grupa naukowców, w skład której wchodzi Hanqin Tian, profesor i dyrektor w Center for Earth System Science and Global Sustainability, Schiller Institute for Integrated Science and Society (Boston College), Eric Davidson, profesor w Center for Environmental Science na University of Maryland, Pep Canadell, szef zespołu badawczego CSIRO Environment i dyrektor wykonawczy Global Carbon Project, oraz Rona Louise Thompson z Norwegian Institute for Air Research.

● Po dwutlenku węgla i metanie N_2O jest najbardziej znaczącym gazem cieplarnianym, który ludzie uwalniają do atmosfery. Chociaż podtlenku azotu jest mniej niż dwutlenku węgla, to jest 300 razy silniejszy i utrzymuje się w atmosferze przez ponad sto lat. Obecnie poziom N_2O w atmosferze jest o blisko 25 proc. wyższy niż przed rewolucją przemysłową. I wciąż rośnie w coraz szybszym tempie. Odkryliśmy, że do wzrostu emisji N_2O i jej szybkiej akumulacji w atmosferze prowadzą nawozy i obornik zwierzęcy. To coś więcej niż problem klimatyczny. N_2O narusza również warstwę ozonową, która chroni ludzi przed szkodliwym promieniowaniem słonecznym. A spływ azotu z pól zanieczyszcza drogi wodne, zwiększając szkodliwe zakwity glonów i tworząc zubożone w tlen martwe strefy. Wzrost emisji N_2O jest alarmujący, ale dysponujemy wiedzą i technologiami potrzebnymi do odwrócenia tego trendu.



● Przed rewolucją przemysłową naturalne źródła N_2O z mikrobów żyjących w glebach leśnych i oceanach były mniej więcej równe naturalnym pochłaniaczom, które zużywały go w powietrzu. Stężenia N_2O w atmosferze były więc stosunkowo stałe. Populacja ludzka i jej zapotrzebowanie na żywność szybko jednak wzrosły, burząc tę naturalną równowagę. Odkryliśmy, że sama działalność człowieka w ciągu ostatnich czterech dekad zwiększyła emisję N_2O o 40 proc., przy czym rolnictwo przyczyniło się do całkowitej antropogenicznej emisji N_2O na poziomie 74 proc. Największymi ludzkimi źródłami N_2O są rolnictwo, przemysł i spalanie lasów oraz odpady rolnicze. Nawozy azotowe, szeroko stosowane w rolnictwie, są jednym z kluczowych czynników. Odpowiadają za 70 proc. całkowitej emisji N_2O w rolnictwie na całym świecie. Obornik zwierzęcy z intensywnej hodowli zwierząt odpowiada za pozostałe 30 proc. Mniejszym, ale szybko rosnącym źródłem jest akwakultura. Szczególnie w Chinach, gdzie hodowla ryb w ciągu ostatnich 40 lat wzrosła dwudziestopięciokrotnie. Oprócz rolnictwa do emisji N_2O w mniejszym stopniu przyczyniają się również procesy przemysłowe, takie jak produkcja nylonu, materiałów wybuchowych i nawozów oraz spalanie paliw kopalnych.

● Emisje różnią się znacznie w zależności od kraju. W ciągu ostatnich czterech dekad gospodarki wschodzące, takie jak Chiny i Indie, wykazywały silnie rosnące trendy w emisji N_2O, ponieważ zwiększyły wydajność rolnictwa dla zaspokojenia zapotrzebowania na żywność rosnącej populacji. Chiny są największym producentem i użytkownikiem nawozów chemicznych. Ich przyjęty w 2015 r. plan działania na rzecz zerowego wzrostu w użyciu nawozów do 2020 r. pomógł zmniejszyć emisje N_2O, jednak przemysłowa emisja podtlenku azotu nadal rośnie. Z kolei w Brazylii i Indonezji wycinanie oraz wypalanie lasów pod uprawy i pastwiska, w połączeniu z coraz intensywniejszym rolnictwem, zwiększyło emisję

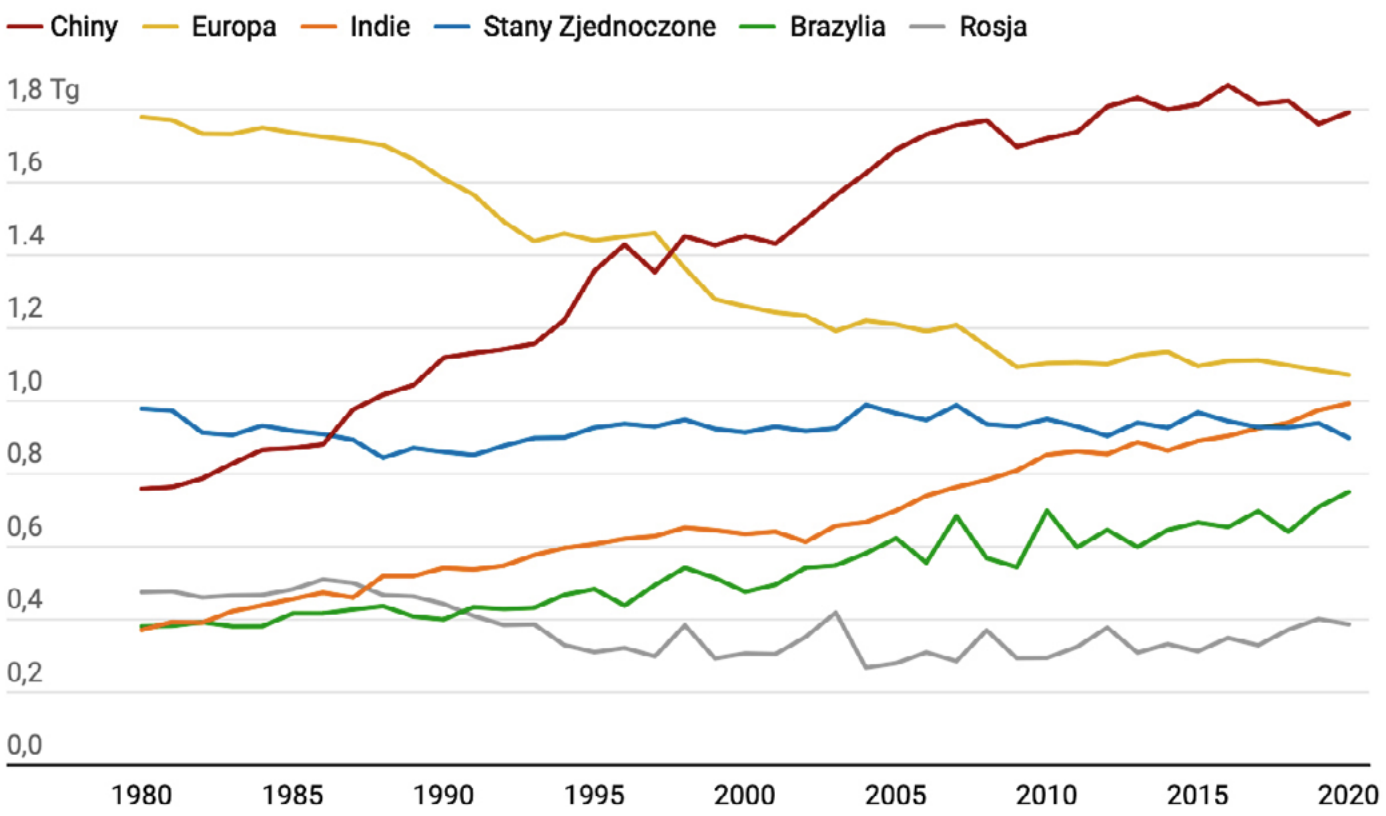


Roczne źródła emisji N_2O i zmiany w dekadzie 2010-2019. Mierzone w milionach ton metrycznych.
Global Carbon Project, CC BY

azotu ze źródeł naturalnych. Afryka ma możliwości wzrostu produkcji żywności bez zwiększania nawożenia azotem. Kraje Afryki Północnej ponadtrzykrotnie zwiększyły jednak poziom emisji w ciągu ostatnich dwóch dekad, głównie ze względu na znaczny wzrost populacji zwierząt gospodarskich. Mimo to, dzięki bardziej zrównoważonym praktykom, kilka regionów było w stanie ograniczyć niektóre z emisji N2O.

● Unia Europejska, Japonia i Korea Południowa pozostają głównymi emitentami w skali globalnej, niemniej w ciągu ostatnich 40 lat z powodzeniem zmniejszyły antropogeniczną emisję N2O. W latach 90. redukcje w dużej mierze pochodziły z przemysłu chemicznego. Wykorzystanie azotu w rolnictwie również stało się bardziej wydajne, wciąż jest jednak sporo do zrobienia – emisje z bezpośredniego stosowania nawozów i obornika spadły tylko nieznacznie i ostatnio się wyrównały. W USA emisje rolne nadal rosną, podczas gdy emisje przemysłowe nieznacznie spadły.

Wytwarzane przez człowieka emisje podtlenku azotu pochodzą głównie z rolnictwa, ale także z paliw, przemysłu, odpadów i spalania lasów. 1 teragram (Tg) to 1 milion ton metrycznych.



Wykres: The Conversation, CC-BY-ND. Źródło: Global Carbon Project

● Sprostanie wyzwaniu redukcji emisji podtlenku azotu wymaga połączenia interwencji politycznych, innowacji technologicznych i indywidualnych działań, np.:

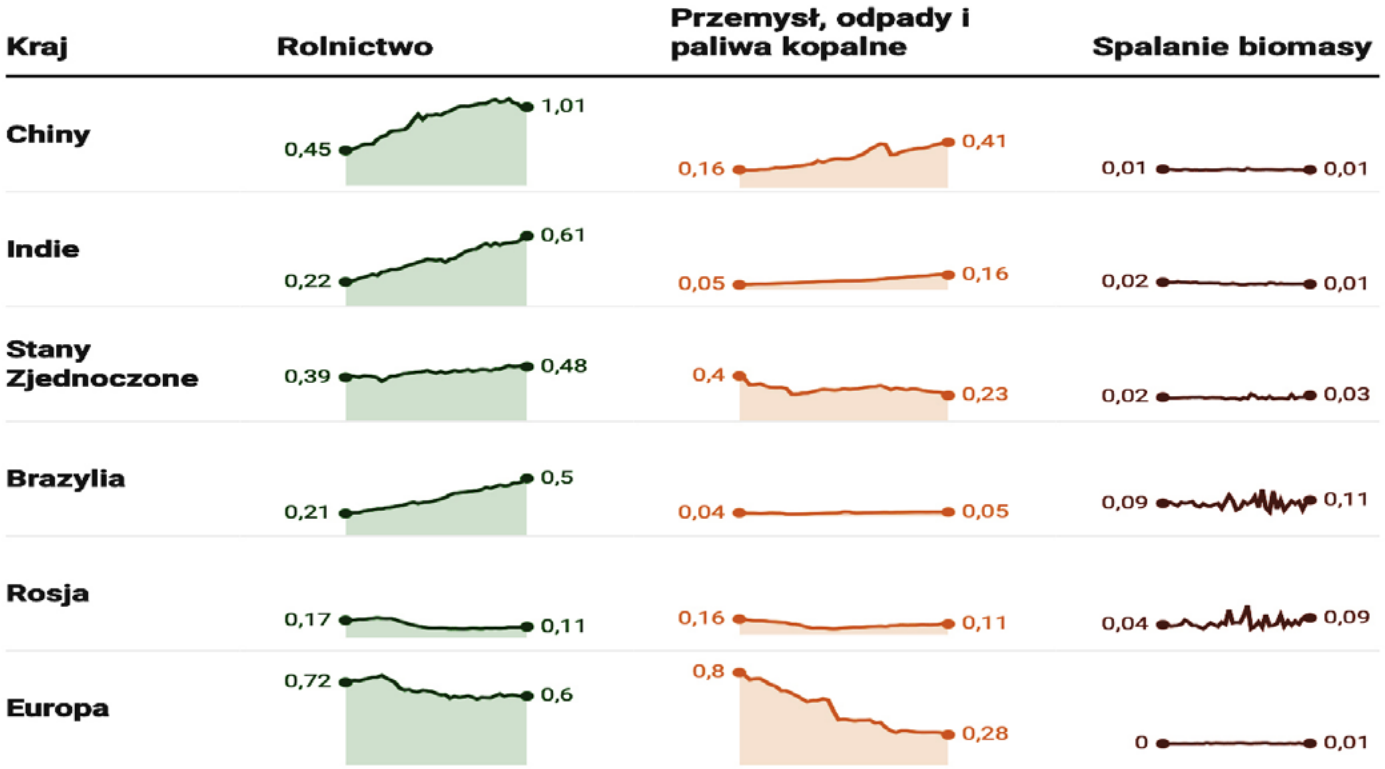
→ Polityka, poprzez różnorodne programy motywacyjne, może zachęcić rolników do przyjęcia praktyk efektywnego wykorzystania azotu, optymalizacji stosowania nawozów i zmniejszenia emisji N2O.

→ Precyzyjne techniki rolnicze, w tym wykorzystanie teledetekcji i satelitarnego sprzętu sterowanego GPS, mogą pomóc rolnikom w zmianie sposobu wykorzystania nawozów poprzez optymalizację zarządzania składnikami odżywczymi i zminimalizowania strat azotu.

→ Opracowanie i produkcja nawozów wydajnie wykorzystujących azot – takich jak preparaty o kontrolowanym uwalnianiu i inhibitory nitryfikacji – oferują obiecujące sposoby na zmniejszenie spływu azotu i ograniczenie emisji N2O z gleb rolniczych.

→ Podobnie innowacje w hodowli zwierząt gospodarskich, takie jak suplementy diety i lepsze

Emisje podtlenku azotu według źródeł, 1980–2020
Rolnictwo, głównie nawozy i obornik zwierzęcy, jest największym źródłem emisji podtlenku azotu wytwarzanych przez człowieka. Podczas gdy emisje w wielu krajach wzrosły, ogólnie spadły emisje w Europie. Mierzone w milionach ton metrycznych.



Rolnictwo obejmuje emisje z nawozów, gospodarkę obornika i wykorzystanie jako nawozów oraz akwakulturę.
Tabela: The Conversation, CC-BY-ND. Źródło: Global Carbon Project

gospodarowanie odpadami, mogą zmniejszyć ilość N_2O z produkcji zwierzęcej.

→ Przemysł, w szczególności produkcja nylonu i nawozów, może zainstalować istniejące, niedrogie technologie, aby wychwycić prawie całą emisję N_2O. Większość świata już to zrobiła, a za większość pozostałych emisji przemysłowych odpowiedzialne są Chiny i USA.

→ Wpływ mają także konsumenci, którzy mogą zwiększyć spożycie żywności pochodzenia roślinnego. Zmniejszenie częstotliwości i wielkości porcji spożycia mięsa oraz nabiału może być zdrowe zarówno dla ludzi, jak i dla środowiska.

→ Pomagają również ekologiczne praktyki, takie jak kompostowanie odpadów spożywczych i ograniczanie stosowania nawozów na trawnikach.

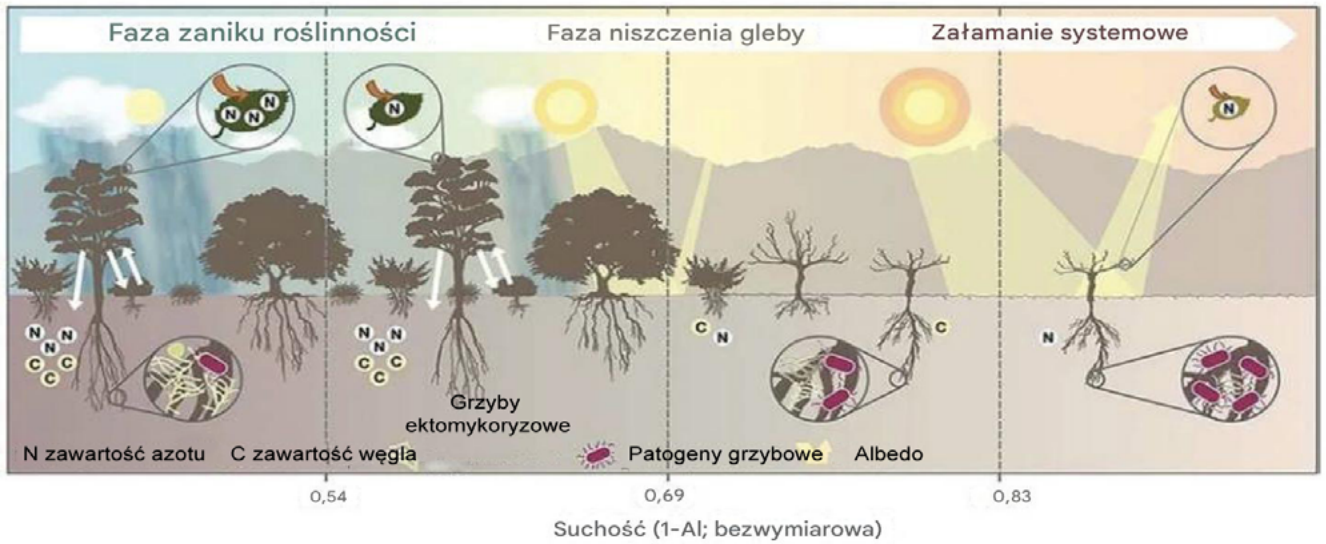
Ogólnie rzecz biorąc, potrzebne jest holistyczne podejście łączące politykę, technologię i indywidualne działania, aby zająć się emisjami N_2O i zwalczać zmiany klimatu. Ponieważ rządy, przemysł i obywatele pracują na rzecz zrównoważonej przyszłości, strategie te mogą pomóc w zapewnieniu bezpieczeństwa żywnościowego i zrównoważonego rozwoju środowiskowego dla przyszłych pokoleń.

Pełnowymiarowy kryzys wodny



● W ciągu trzech dekad poprzedzających 2020 r. około 77,6 proc. powierzchni Ziemi stało się bardziej suche – wynika z raportu „The Global Threat of Drying Lands: Regional and global aridity trends and future projections" opublikowanego pod koniec 2024 r. przez Konwencję ONZ w sprawie zwalczania pustynnienia (UN Convention to Combat Desertification – UNCCD). W tym czasie suche tereny rozszerzyły się o blisko 4,3 mln km kw. – obszar prawie o jedną trzecią większy niż Indie, siódmy co do wielkości kraj na świecie – i obejmują obecnie 40,6 proc. wszystkich lądów na Ziemi (z wyłączeniem Antarktydy). W ostatnich dziesięcioleciach około 7,6 proc. światowych terenów – obszar większy niż Kanada – zostało przesuniętych przez progi suchości (tj. z terenów niesuchych na suche lub z mniej suchych klas do bardziej suchych). Większość tych obszarów przeszła od wilgotnych krajobrazów do terenów suchych, co ma tragiczne konsekwencje dla rolnictwa, ekosystemów i ludzi tam mieszkających, donosi raport ONZ.

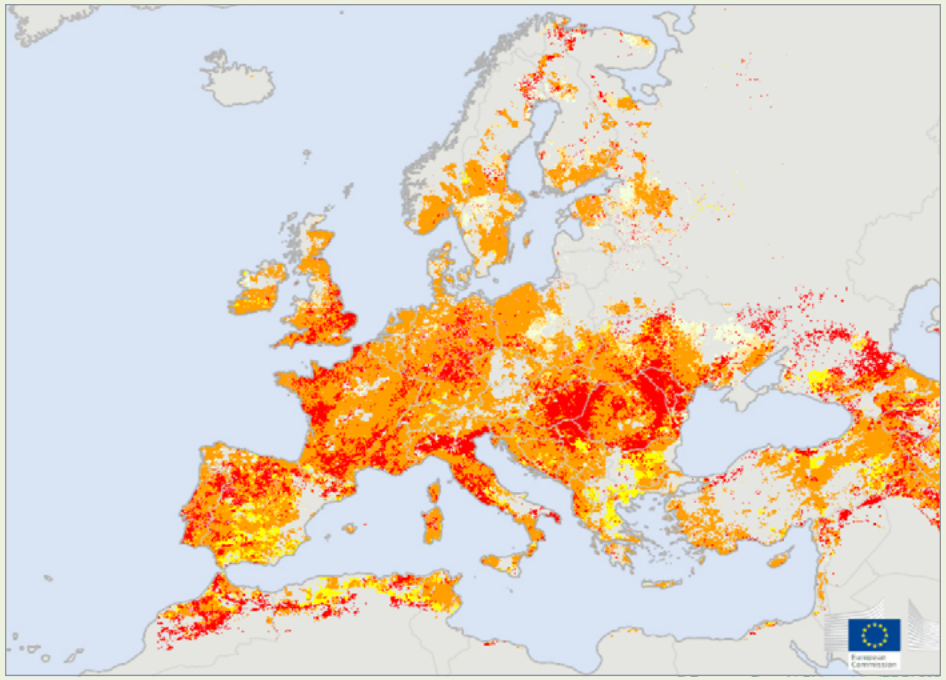
Konsekwencje wzrostu suszy dla ekosystemów i procesów degradacji gleby (Berdugo i in., 2020).



Fot. Hydrosami

● Naukowcy ostrzegają, że jeśli świat nie ograniczy emisji gazów cieplarnianych, do końca stulecia kolejne 3 proc. wilgotnych obszarów świata stanie się lądami suchymi. W scenariuszach wysokiej emisji gazów cieplarnianych przewiduje się rozszerzające się suche tereny w środkowo-zachodnich Stanach Zjednoczonych, środkowym Meksyku, północnej Wenezueli, północno-wschodniej Brazylii, południowo-wschodniej Argentynie, całym regionie Morza Śródziemnego, na wybrzeżu Morza Czarnego, w dużej części południowej Afryki i południowej Australii. „Ta analiza w końcu rozwiewa niepewność, która od dawna dotyczyła globalnych trendów dotyczących wysuszania ziemi ” – mówi Ibrahim Thiaw, sekretarz wykonawczy UNCCD. „Po raz pierwszy kryzys suchości został udokumentowany z naukową jasnością, ujawniając egzystencjalne zagrożenie dotykające miliardy osób na całym świecie. W przeciwieństwie do susz – tymczasowych okresów niskich opadów – suchość i jałowienie gruntów reprezentują trwałą, nieubłaganą transformację. Susze się kończą. Kiedy jednak klimat na obszarze staje się bardziej suchy, zdolność powrotu do poprzednich warunków zostaje utracona. Bardziej suchy klimat, który teraz wpływa na duże obszary całego świata, nie wróci do punktu wyjścia, a ta zmiana na nowo definiuje życie na Ziemi” – dodaje.

● Obszary szczególnie mocno dotknięte zjawiskiem wysychania obejmują prawie całą Europę (95,9 proc. jej ziemi), części zachodnich Stanów Zjednoczonych,



Europa pogrążona w suszy stulecia latem 2022 r.

Brazylię, części Azji (zwłaszcza Azji Wschodniej) i Afrykę Środkową.

→ **Części zachodnich Stanów Zjednoczonych i Brazylii** – znaczące trendy wysychania, z niedoborem wody i pożarami lasów, które stają się dla nich długoterminowymi zagrożeniami.

→ **Europa Śródziemnomorska i Południowa** – niegdyś uważane za spichlerz rolniczy, obszary stoją przed ryzykiem bardzo poważnej degradacji wraz z rozszerzającymi się warunkami półpustynnymi.

→ **Afryka Środkowa i części Azji** – biologicznie bardzo różnorodne obszary doświadczają degradacji ekosystemu i pustynnienia, co zagraża niezliczonym gatunkom flory i fauny.

● W porównaniu z tym mniej niż jedna czwarta lądu planety (22,4 proc.) doświadczyła bardziej wilgotnych warunków, a obszary w środkowych Stanach Zjednoczonych, atlantyckie wybrzeże Angoli i części Azji Południowo-Wschodniej wykazują pewne przyrosty wilgotności. Nadrzędny trend jest jednak jasny: suche tereny się rozszerzają. Raport wymienia Sudan Południowy i Tanzanię jako kraje o największym odsetku lądów przechodzących w suche tereny, a Chiny jako kraj doświadczający największej całkowitej powierzchni terenów niesuchych przekształcających się w suche. Dla 2,3 mld ludzi, czyli ponad jednej czwartej światowej populacji, żyjących na rozszerzających się suchych terenach, ta nowa normalność wymaga trwałych, rozwiązań adaptacyjnych. Degradacja gruntów, znana jako pustynnienie, stanowi poważne zagrożenie dla dobrobytu ludzi i stabilności ekologicznej. Ponieważ planeta nadal się ociepla, prognozy raportu w najgorszym scenariuszu sugerują, że do końca stulecia do 5 mld ludzi może żyć na suchych terenach, zmagając się ze zubożonymi glebami, malejącymi zasobami wodnymi i zmniejszającymi się ekosystemami.

● Skutki rosnącej suchości określanej niekiedy mianem arydyfikacji (od ang. aridification – analogicznie do acydifakcji, czyli zakwaszania) są wieloaspektowe i kaskadowe.



Wisła we wrześniu 2022 r.

Dotykają prawie każdego aspektu życia i społeczeństwa. Raport ostrzega, że do końca wieku jedna piąta całej Ziemi może doświadczyć nagłych przemian ekosystemowych spowodowanych rosnącą suchością. Przyniesie to dramatyczne zmiany, takie jak przekształcanie się lasów w łąki, prowadzące do wyginięcia wielu roślin, zwierząt i innych gatunków życia na świecie:

→ Suchość oraz jałowienie gruntów są uważane za największy na świecie pojedynczy czynnik degradacji systemów rolniczych, dotykający 40 proc. ziemskich gruntów ornych.

→ Wzrost suchości był przyczyną 12-procentowego spadku produktu krajowego brutto (PKB) odnotowanego w krajach afrykańskich w latach 1990-2015.

→ Przewiduje się, że ponad dwie trzecie wszystkich lądów na planecie (z wyłączeniem Grenlandii i Antarktydy) będzie magazynować mniej wody do końca stulecia, jeśli emisje gazów cieplarnianych będą nadal rosły, nawet nieznacznie.

→ Arydyfikacja jest uważana za jedną z pięciu najważniejszych przyczyn degradacji gruntów na świecie (wraz z erozją gruntów, zasoleniem, utratą węgla organicznego i degradacją roślinności).

→ Rosnąca suchość na Bliskim Wschodzie została powiązana z częstszymi i większymi burzami piaskowymi i pyłowymi w regionie.

→ Oczekuje się, że arydyfikacja odegra rolę w większych i bardziej intensywnych pożarach nasilających się wraz ze zmianą klimatu – m.in. ze względu na jej wpływ na śmierć drzew w lasach półpustynnych i wynikającą z tego rosnącą dostępność suchej biomasy do spalania.

→ Wpływ rosnącej suchości na ubóstwo, niedobór wody, degradację gruntów i niewystarczającą produkcję żywności został powiązany z rosnącym wskaźnikiem zachorowań i zgonów na całym świecie – zwłaszcza wśród dzieci i kobiet.

→ Arydyfikacja i susza odgrywają kluczową rolę w zwiększaniu migracji ludzi na całym świecie – szczególnie w hipersuchych i suchych obszarach południowej Europy, Bliskiego Wschodu i Afryki Północnej oraz południowej Azji.

● Raport UNCCD przedstawia kompleksową mapę drogową do radzenia sobie z suchością, kładąc nacisk zarówno na łagodzenie, jak i adaptację. Wśród jego zaleceń jest:

→ **Lepsze monitorowanie arydyfikacji** – zintegrowanie wskaźników arydyfikacji z istniejącymi systemami monitorowania suszy. Takie podejście umożliwiłoby wczesne wykrywanie zmian i pomogłoby kierować interwencjami przed pogorszeniem się warunków. Platformy takie jak Aridity Visual Information Tool dostarczają cennych danych, umożliwiając wczesne ostrzeżenia i terminowe interwencje. Standaryzowane oceny mogą wzmocnić globalną współpracę i informować o lokalnych strategiach adaptacyjnych.

→ **Poprawa praktyk użytkowania gruntów** – zachęcanie do zrównoważonych systemów użytkowania gruntów może złagodzić skutki rosnącej suchości, szczególnie w regionach wrażliwych. Innowacyjne, holistyczne, zrównoważone podejście do zarządzania gruntami jest przedmiotem kolejnego, nowego raportu UNCCD SPI „Sustainable Land Use Systems: The path to collective achieving Land Degradation Neutrality". Bierze on pod uwagę, w jaki sposób użytkowanie gruntów w jednym miejscu wpływa na inne w innym obszarze. Sprawia, że odporność na zmiany klimatyczne i inne wstrząsy staje się priorytetem. Projekty takie jak Wielki Zielony Mur – inicjatywa przywracania ziemi obejmująca Afrykę – demonstrują potencjał zakrojonych na szeroką skalę, holistycznych wysiłków na rzecz zwalczania suchości i przywracania ekosystemów, jednocześnie tworząc miejsca pracy i stabilizując gospodarkę.

→ **Zainwestuj w efektywność wodną** – technologie takie jak zbieranie wody deszczowej, nawadnianie kapilarne i recykling ścieków oferują praktyczne rozwiązania do zarządzania ograniczonymi zasobami wody w suchych regionach.

→ **Buduj odporność we wrażliwych społecznościach** – lokalna wiedza, budowanie potencjału, sprawiedliwość społeczna i holistyczne myślenie są niezbędne do zbudowania odporności. Zrównoważone systemy użytkowania gruntów zachęcają decydentów m.in. do stosowania odpowiedzialnego zarządzania i ochrony praw człowieka, w tym bezpiecznego dostępu do ziemi. Programy budowania potencjału, wsparcie finansowe, programy edukacyjne, usługi informacyjne dotyczące klimatu i inicjatywy oparte na społeczności umożliwiają osobom najbardziej dotkniętym suchością przystosowanie się do zmieniających się warunków. Rolnicy przestawiający się na uprawy odporne na suszę lub pasterze przyjmujący zwierzęta gospodarskie lepiej dostosowane do suchych warunków są przykładem stopniowej adaptacji.

→ **Opracowanie międzynarodowych ram i współpracy** – ramy UNCCD dotyczące neutralności degradacji gruntów stanowią model dostosowania polityki krajowej do celów międzynarodowych, zapewniając jednolitą reakcję na kryzys. Krajowe plany adaptacyjne muszą uwzględniać suchość wraz z planowaniem suszy, aby stworzyć spójne strategie, które są odpowiedzią na wyzwania związane z zarządzaniem wodą i gruntami. Współpraca międzysektorowa na poziomie globalnym, ułatwiona przez ramy takie jak UNCCD, jest niezbędna do skalowania rozwiązań.



Suche liczby

→ **77,6 proc.:** Odsetek ziemi, która doświadczyła bardziej suchego klimatu w latach 1990-2020 w porównaniu z poprzednimi 30 latami.
→ **40,6 proc.:** Globalna masa lądowa (z wyłączeniem Antarktydy) sklasyfikowana jako suche tereny, w porównaniu z 37,5 proc. w ciągu ostatnich 30 lat.
→ **4,3 mln km kw.:** Tyle wilgotnych terenów zamieniło się w suche tereny w ciągu ostatnich trzech dekad, obszar o jedną trzecią większy niż Indie.
→ **40 proc.:** Globalne grunty orne dotknięte suchością – główny czynnik degradacji rolnictwa.
→ **30,9 proc.:** Globalna populacja żyjąca na suchych terenach w 2020 r., wzrost z 22,5 proc. w 1990 r.
→ **2,3 mld:** Ludzie żyjący na suchych terenach w 2020 r. Liczba podwojona w porównaniu z 1990 r. Przewiduje się, że do 2100 r. w najgorszym scenariuszu zmian klimatu ponownie się podwoi, do 5 mld.
→ **1,35 mld:** Mieszkańcy suchych terenów w Azji – ponad połowa globalnej sumy.
→ **620 mln:** Mieszkańcy suchych lądów w Afryce – prawie połowa populacji kontynentu.
→ **9,1 proc.:** Część Ziemi sklasyfikowana jako wybitnie sucha (hyperarid), w tym pustynie Atacama (Chile), Sahara (Afryka), Namibia (Afryka) i Gobi (Chiny/Mongolia).
→ **23 proc.:** Wzrost klasyfikacji globalnych gruntów z „umiarkowanego" do „bardzo wysokiego" ryzyka pustynnienia w najgorszym scenariuszu emisji CO_2 w perspektywie 2100 r.

DEGRADACJA ŚRODOWISKA

→ **5:** Kluczowe czynniki degradacji gleby: rosnąca suchość, erozja gruntów, zasolenie, utrata węgla organicznego i degradacja roślinności.
→ **20 proc.:** Globalne tereny zagrożone nagłymi przemianami ekosystemów z powodu rosnącej suchości w perspektywie 2100 r.
→ **55 proc.:** Gatunki (ssaki, gady, ryby, płazy i ptaki) zagrożone utratą siedlisk z powodu suchości.

EKONOMIA

→ **2 proc.:** Spadek PKB Afryki przypisywany suchości w latach 1990-2015.
→ **16 proc.:** Prognozowane straty PKB w Afryce do 2079 r. w scenariuszu umiarkowanych emisji.
→ **6,7 proc.:** Prognozowane straty PKB w Azji do 2079 r. w scenariuszu umiarkowanych emisji.
→ **20 mln ton kukurydzy, 21 mln ton pszenicy, 19 mln ton ryżu:** Spodziewane straty w światowych plonach do 2040 r. z powodu rosnącej suchości.
→ **50 proc.:** Przewidywany spadek plonów kukurydzy w Kenii do 2050 r. w scenariuszu wysokich emisji.

WODA

→ **90 proc.:** Opady deszczu na suchych terenach, które odparowują z powrotem do atmosfery, pozostawiając 10 proc. masy wody na wzrost roślin.
→ **67 proc.:** Oczekuje się, że o tyle ląd na świecie będzie magazynować mniej wody do 2100 r., nawet w scenariuszach umiarkowanej emisji.
→ **75 proc.:** Spadek dostępności wody na Bliskim Wschodzie i w Afryce Północnej od lat 50.
→ **40 proc.:** Przewidywany spadek spływu w Andach do 2100 r. w scenariuszu wysokich emisji, zagrażający dostawom wody w Ameryce Południowej.

ZDROWIE

→ **55 proc.:** Zwiększenie się ciężkiego zahamowania wzrostu u dzieci w Afryce Subsaharyjskiej w scenariuszu średniej emisji z powodu połączonych skutków suchości i ocieplenia klimatu.
→ **Do 12,5 proc.:** Szacowany wzrost ryzyka śmiertelności podczas burz piaskowych i pyłowych w Chinach (2013-2018).
→ **220 proc.:** Przewidywany wzrost przedwczesnych zgonów z powodu pyłu w powietrzu w południowo-zachodnich Stanach Zjednoczonych do 2100 r. w scenariuszu wysokoemisyjnym.
→ **160 proc.:** Oczekiwany wzrost hospitalizacji związanych z pyłem unoszącym się w powietrzu w tym samym regionie.

POŻARY I LASY

→ **74 proc.:** Oczekiwany wzrost obszarów objętych pożarami w Kalifornii do 2100 r. w scenariuszach wysokiej emisji.
→ **40:** Dodatkowe roczne dni wysokiego zagrożenia pożarowego w Grecji do 2100 r. w porównaniu z poziomami z końca XX wieku.

NAUKOWCY MAJĄ GŁOS: woda wycieka nam spod nóg



Fot. Maxime Bouffard/Unsplash

● Na całym świecie przyspiesza proces wyczerpywania wód gruntowych, które zapewniają połowę wody pitnej i prawie połowę całej wody wykorzystywanej do nawadniania upraw. To już prawdziwe zagrożenie, któremu można jednak przeciwdziałać. Jak wygląda stan rzeczy, gruntownie zbadała grupa naukowców m.in. z ETH Zurich, Uniwersytetu w Berkeley oraz University College London – przeanalizowali 300 mln pomiarów ze 170 tys. studni w 40 krajach, a wyniki przedstawili na łamach magazynu „Nature". „Nasze badanie zawiera dwa główne wnioski. Po pierwsze, pokazujemy, że szybkie wyczerpywanie się wód gruntowych jest zjawiskiem powszechnym na całym świecie, a tempo spadku wzrosło w ostatnich dziesięcioleciach, a w niektórych miejscach ich poziom spada o 20 cali (ok. 50 cm) lub więcej rocznie. Po drugie, nasze badania ujawniają również wiele przypadków, w których celowe działania powstrzymały wyczerpywanie się wód gruntowych. Wyniki te pokazują, że społeczeństwa nie są nieuchronnie



skazane na wyczerpanie zasobów wód gruntowych i że dzięki podjętym w odpowiednim czasie interwencjom ten ważny zasób może się odbudować", piszą autorzy badania.

● Tym zjawiskiem objęty jest m.in. Afganistan, Chile, Chiny, Indie, Iran, Meksyk, Maroko, Arabia Saudyjska, Hiszpania i południowy zachód Stanów Zjednoczonych. Bardziej niepokojącym odkryciem jest to, że na blisko jednej trzeciej obszarów, na których naukowcy dokonali pomiarów, tempo spadku wód gruntowych przyspiesza. Jest to zjawisko powszechne w klimacie suchym, gdzie duże połacie ziemi są wykorzystywane rolniczo, i sugeruje potencjalny związek pomiędzy nawadnianiem zasilanym wodą gruntową a nasileniem jej wyczerpywania. Gwałtowne i przyspieszające spadki poziomu wód gruntowych mają wiele szkodliwych skutków, m.in.:
→ wyczerpywanie zasobów wody pitnej, co odczuwa się już m.in. w kalifornijskiej dolinie San Joaquin,
→ jest to też jedno z największych zagrożeń dla globalnego rolnictwa nawadnianego, ponieważ studnie dostarczają prawie połowę wody wykorzystywanej do nawadniania na całym świecie,
→ na obszarach, gdzie wody gruntowe zazwyczaj spływają do rzek, spadek ich poziomu może odwrócić ten przepływ i spowodować wyciek rzek pod powierzchnię, a przez to ich wysychanie,
→ obniżenie poziomu wód gruntowych może również powodować osiadanie powierzchni lądów, co zwiększyło już ryzyko powodzi w kilkudziesięciu nadmorskich miastach na całym świecie, w tym w Dżakarcie, Tokio, Stambule, Bombaju, Auckland i rejonie zatoki Tampa na Florydzie,
→ dalej od wybrzeża osiadanie gruntu może uszkodzić infrastrukturę – tak się dzieje m.in. w Teheranie i Meksyku,
→ opadające wody gruntowe mogą powodować także przemieszczanie się wody morskiej w głąb lądu i zanieczyszczanie przybrzeżnych systemów wód gruntowych (tzw. wnikanie wody morskiej). W przypadku wtargnięcia wody morskiej warstwy wodonośne przybrzeżne mogą stać się zbyt zasolone, aby można je było wykorzystać do produkcji wody pitnej bez energochłonnego odsalania.

● Co do zasady wody gruntowe mają zdolność do samoregeneracji, a głównym powodem szybkiego opadania jest zbyt intensywne wykorzystywanie ich przez człowieka. Dlatego jest to proces, który da się odwrócić, potrzebna do tego jest jednak rozsądna polityka wodna. Naukowcy przytaczają trzy przykłady takich dobrych praktyk:
→ W latach 1940-2000 w mieście El Dorado w stanie Arkansas poziom wód gruntowych spadł o blisko 60 metrów, gdy lokalny przemysł pompował wodę z warstwy wodonośnej. W 1999 r. w ramach nowej polityki ustanowiono system opłat za pompowanie, co stanowiło zachętę dla przedsiębiorstw do znalezienia nowego źródła zaopatrzenia w wodę. Do 2005 r. zbudowano rurociąg odprowadzający wodę z rzeki Ouachita do El Dorado. To nowe źródło zmniejszyło zapotrzebowanie na wody gruntowe, których poziom od 2005 r. zaczął rosnąć.
→ W Bangkoku w latach 1980-2000 wywiercono tak wiele prywatnych studni do celów domowych i komercyjnych, że ilość pompowanej wody się podwoiła, a poziom wód gruntowych spadł. W odpowiedzi w latach 2000-2006 urzędnicy czterokrotnie podnieśli opłaty za pobór wód. Użytkownicy zaczęli szukać ich nowych źródeł, a poziom wód gruntowych zaczął się podnosić.
W dolinie niedaleko Tucson w Arizonie poziom wód gruntowych obniżył się o 30 metrów w miarę wzrostu poboru wody do nawadniania od lat 40. XX wieku. Aby pomóc uzupełnić zubożone wody gruntowe, zbudowano nieszczelne stawy wypełnione wodą transportowaną kanałami z rzeki Kolorado. W miarę wyciekania stawy uzupełniają wyczerpaną warstwę wodonośną, a poziom wód gruntowych miejscami podniósł się nawet o jakieś 60 metrów.



Fot. A. C./Unsplash

Dzień zero: kiedy woda się skończy



Fot. Walter Randlehoff/Unsplash

● Kryzys wodny zatacza coraz szersze kręgi. W Meksyku trwa prawdziwa wojna o wodę pomiędzy wielkimi plantatorami uprawiającymi awokado, a drobnymi rolnikami i ekologami. Niebawem niezwykle lubiany, zielony owoc jakim może znaleźć się na cenzurowanym. Wszystko napędza przeciągająca się susza. Pierwszą odsłonę konfliktu mieliśmy na początku kwietnia 2024 r., gdy mieszkańcy domów położonych nad jeziorem Valle de Bravo zaprotestowali przeciwko osuszaniu ich zbiornika na potrzeby mieszkańców Mexico City. Ubyło z niego już trzy czwarte wody, władze miasta postanowiły przerzucić się więc na położone dalej jezioro El Bosque. Tutaj brak już połowy wody, ale brzeg jest niezamieszkany, więc sprzeciwów nie było. Protest podnieśli za to sami mieszkańcy Mexico City, którzy narzekają na jakość wody. Wraz z opróżnianiem zbiorników robiła się bardziej mętna i, jak sami przekonują, zalatywała benzyną. W ramach akcji protestacyjnej zablokowali jedną z głównych arterii miasta ciągnącą się z północy na południe.

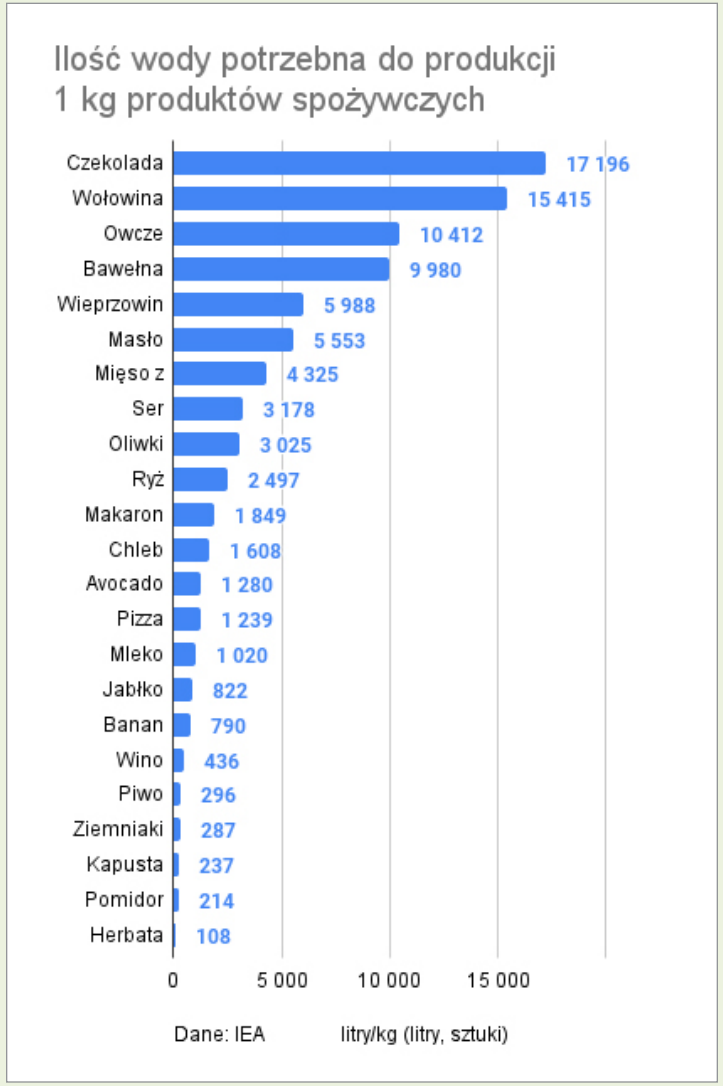
● W podobnej sytuacji znaleźli się mieszkańcy Kolumbii. Już w maju minionego roku w stolicy kraju, Bogocie, poziom wody w zbiornikach zaczął bardzo szybko spadać, a władze miasta wdrożyły rotacyjne odcięcie wody. Burmistrz zaapelował do rodzin, aby wspólnie się kąpały i opuszczały miasto w weekendy, by ograniczyć zużycie wody. W swoich działaniach władze Bogoty podobnie jak Mexico City odwołały się do doświadczeń Kapsztadu z 2018 r., kiedy to w dawnej stolicy RPA niemal zabrakło wody. Miasto zorganizowało wtedy bezprecedensową kampanię uświadamiającą społeczeństwo i wprowadziło surowe opłaty za zużycie wody. Dzięki temu udało się zażegnać kryzys. Ważne okazało się ukucie hasła „Dzień Zero" na oznaczenie dnia, w którym woda w miejskich zbiornikach nieodwracalnie się wyczerpie. W związku z suszą jej poziomy spadły już w latach 2015-2017. Włodarze miasta wydali dziesiątki apeli wzywających mieszkańców do ograniczenia zużycia wody, ale ludzie nie brali ich sobie do serca. Dopiero na początku 2018 r., kiedy urzędnicy

zaczęli używać coraz bardziej apokaliptycznych terminów o upadku miejskiego systemu wodnego, mieszkańcy – i międzynarodowe media – zaczęli zwracać na nie uwagę.

● Kapsztad wprowadził zestaw środków mających na celu egzekwowanie oszczędności, w tym system taryfowy, który pobierał od bardziej spragnionych użytkowników wyższą cenę za galon, oraz kampanię pukania do drzwi, aby zawstydzić największych marnotrawców wody. To jednak retoryka wokół Dnia Zero okazała się najskuteczniejszym narzędziem do ograniczenia zużycia wody. Kiedy lokalny rząd ostrzegł, że mieszkańcy będą musieli przynosić wodę w wiadrach z publicznych punktów zbiórki zarządzanych przez wojsko, konsumpcja gwałtownie spadła. Wysiłki mające na celu zażegnanie kryzysu wodnego zaczęły wyglądać jak ruch oddolny, a mieszkańcy dzielili się lifehackami, takimi jak spłukiwanie toalety wodą wychwytywaną z prysznica. Do kwietnia 2018 r. zużycie wody spadło do około połowy tego, co trzy lata wcześniej. Ta oszczędność zadziwiła nawet urzędników miejskich. Gdy konsumpcja spadła, miasto przesunęło szacowaną datę apokalipsy o kilka dni, a następnie kilka tygodni. Kiedy wczesnym latem nadszedł wielki deszcz i zaczął uzupełniać zbiorniki, rząd całkowicie wyłączył odliczanie, ogłaszając tymczasowy koniec kryzysu.

● Kapsztad ma więc na koncie historię sukcesu w miejskim zarządzaniu kryzysowym, ale eksperci twierdzą, że jego doświadczenia będą trudne do powtórzenia w Mexico City i Bogocie. Zamiast skupiać się na zmianie zachowań publicznych, miasta te muszą bowiem dokonać dużych inwestycji, aby poprawić starzejącą się infrastrukturę i wzmocnić swoje dostawy wody. Uczynił to zresztą również Kapsztad, który po kryzysie 2018 r. zdywersyfikował swój system wodny i zmniejszył zależność od głównych zbiorników, które skurczyły się podczas suszy. Urzędnicy zamierzają teraz zbudować wiele zakładów odsalania wody morskiej i naładować warstwy wodonośne wód gruntowych oczyszczonymi ściekami. W podobnej pułapce znalazła się Bogota, która w wodę praktycznie w całości zaopatruje się ze zbiorników, a urzędnicy przez lata wierzyli, że ten system jest odporny na suszę. Teraz muszą zmienić kurs i zainwestować w alternatywne dostawy. Eksperci twierdzą, że wprowadzenie nowych źródeł wody nie zrujnuje Bogoty finansowo: lokalne przedsiębiorstwo wodociągowe mogłoby wykorzystać zdrową podziemną warstwę wodonośną pod miastem, a zespół Bulbeny z World Resources Institute wykazał, że przywrócenie naturalnego środowiska w pobliskiej rzece Bogota może pomóc w oczyszczeniu wody i uzdatnieniu jej do picia.

● Kryzys wodny znacznie bardziej dramatyczny przebieg ma wśród rolników. W ubiegłym roku widać to było m.in. w meksykańskim stanie Michoacán. Tutaj sporo jest dużych farm uprawiających awokado, które wymagają dużych ilości wody – około 1,3 tys. litrów na 1 kg owoców, podczas gdy np. przy uprawie pomidorów zużywa się jej 214 litrów. To jednak



lukratywny produkt eksportowy, który farmerzy uprawiają w sposób rabunkowy. Nie tylko opróżniają miejscowe zasoby wodne – z bujnego, zielonego stanu znikają całe jeziora i rzeki – ale także prowadzą nielegalną wycinkę lasów pod zbiorniki wodne, w których gromadzą wodę do podlewania. Takich glinianych stawów wyłożonych plastikowymi matami wykopali tu 850, doprowadzając do wysuszenia gruntów niezabezpieczonych już drzewami.

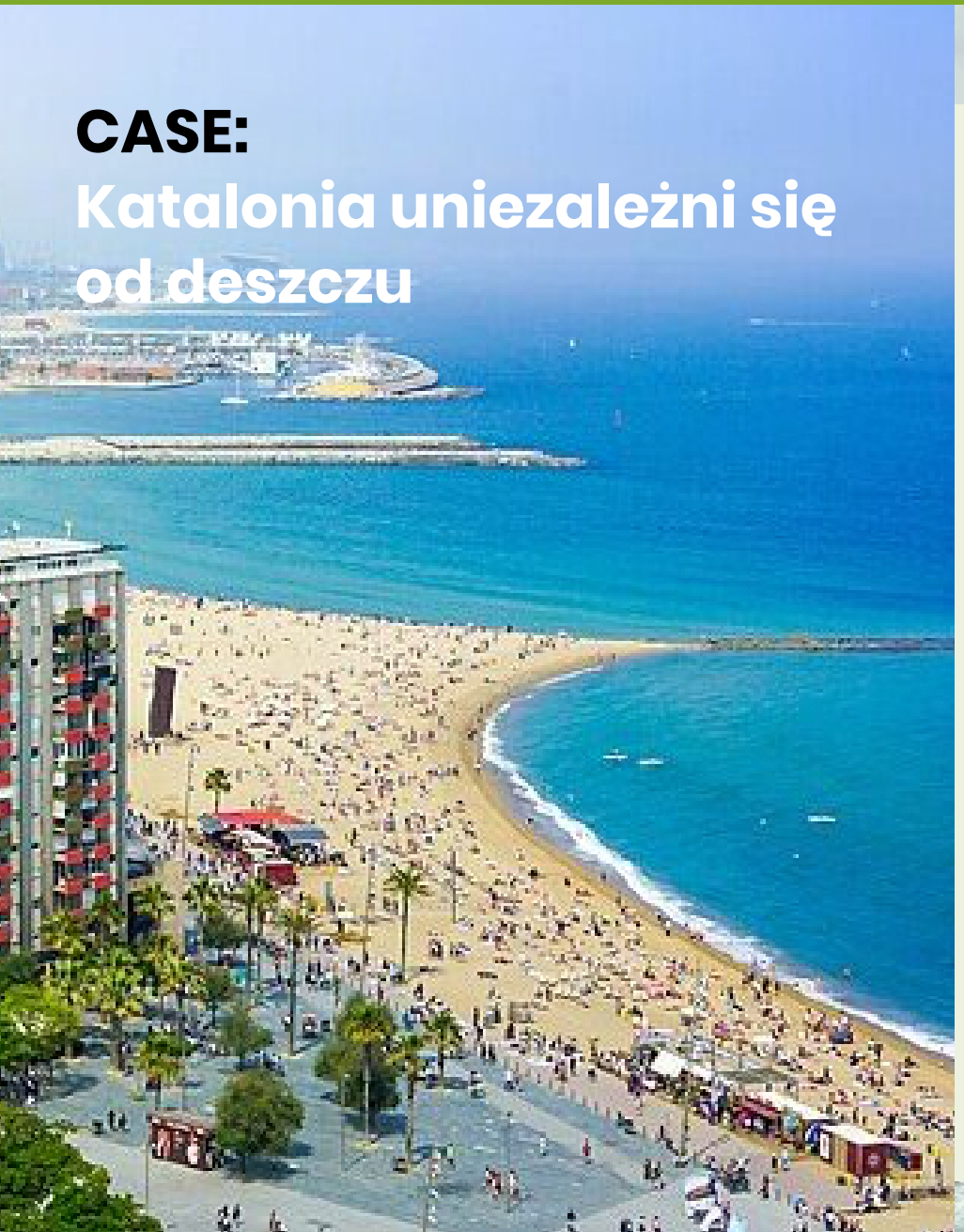
I to właśnie nielegalne instalacje wodne stały się celem ataku lokalnych rolników i aktywistów, którzy w pierwszej połowie kwietnia zorganizowali dwie takie akcje. Protestujących wspierają zresztą władze lokalne. Mieszkańcy wyszli z propozycją podzielenia się wodą, ale farmerzy mogliby czerpać tylko 20 proc. z lokalnych strumieni. Sytuację komplikuje fakt, że plantatorzy od lat opłacają się lokalnym kartelom narkotykowym, które czerpią też zyski z handlu nielegalnie wycinanymi drzewami. Te niebezpieczne związki ciążą na całej sytuacji – zdarzało się, że aktywiści byli porywani i bici przez miejscowych gangsterów.

● Z kolei w Ekwadorze, który podobnie jak Kolumbia z powodu suszy w ubiegłym roku musiał wyłączyć elektrownie wodne, pracują nad naturalnymi sposobami wzmocnienia zasobów wodnych na terenach uprawnych. W El Tablon, wiejskiej społeczności na obrzeżach Quito, hodują i rozsadzają polylepis zwany drzewem papierowym – rodzime rośliny, które pomagają oszczędzać wodę. Świetnie nadają się do wychwytywania i przechowywania wody, którą w porze suchej zaczynają powoli uwalniać do ziemi, gdzie ponownie dołącza do obiegu. Działająca tu szkółka leśna posadziła już 40 tys. drzew i hoduje kolejne 100 tys. W podobnym naturalnym stylu za wzmacnianie lokalnych wydrenowanych zasobów wodnych wzięli się społecznicy z Doliny Środkowej Kalifornii. To prawdziwe zagłębie rolnicze, gdzie uprawia się migdały, orzechy włoskie, pistacje, oliwki, wiśnie, fasolę, melony, dynie, słodkie ziemniaki, pomidory i czosnek, a także hoduje rogaciznę i drób. Intensywne wykorzystanie obfitej doliny mocno ją zdegradowało, całkowicie zmieniając naturalny krajobraz, stąd blisko dekadę temu organizacja non profit zajmująca się ochroną od jednego z farmerów kupiła działkę o powierzchni 2100 akrów, tak aby rozbić monokulturę pól uprawnych i przywrócić roślinność, która kiedyś tu istniała. Dziś tu, w samym środku doliny, u zbiegu dwóch rzek, które zostały niemal całkowicie zabudowane, znajduje się dzicz. Ziemia jest pokryta wodą, która powoli przesiąka przez dawne sady orzechowe, a wszędzie mnóstwo ptaków i owadów. Wśród trzcin wyrastają drzewa, pochłaniając to, co kiedyś było tamami i przepustami. Do doliny wróciły bobry, przepiórki i jelenie, których nie widziano na tym obszarze przez dekady. Tu krajobraz cofnął się do XIX wieku. I to w zaledwie 10 lat.



Fot. Tim Lohmar/Unsplash

CASE:
Katalonia uniezależni się od deszczu



Susze coraz bardziej nękają hiszpańską Katalonię. W tej sytuacji hiszpański region zdecydował, że do końca przyszłej dekady uniezależni się od wody deszczowej. Obok Kalifornii oraz krajów Bliskiego Wschodu stanie się jednym z zagłębi wykorzystujących odsalacze do wody.

Temat ten pojawił się kilka miesięcy temu, po tym jak w lutym Katalonia ogłosiła stan nadzwyczajny związany z suszą, która trwała tu już od trzech lat. Z jednej strony podjęto inicjatywy związane z oszczędnością wody, a z drugiej kurorty takie jak Lloret de Mar wystąpiły do władz samorządowych o pozwolenie na instalację mobilnych desalinizatorów na czas letnich upałów i urlopów. Teraz Katalonia podchodzi do sprawy znacznie bardziej systemowo. Uruchamia cały projekt uniezależnienia się od wody deszczowej, który ma kosztować 2,3 mld euro.

Środki te pójdą na stworzenie infrastruktury bezpieczeństwa wodnego, z czego prawie połowa – 1 mld euro – została przeznaczona na duże projekty inwestycyjne. Jednym z nich jest budowa na północnym Costa Brava nowej instalacji odsalania wody. Koszt uruchomienia zakładu wyniesie około 200 mln euro i wymaga współfinansowania ze strony rządu hiszpańskiego.

„Ruszamy w nową drogę ku zabezpieczeniu zasobów wody w Katalonii i stąd uruchomiliśmy ambitny projekt zarządzania wodą", mówi Sílvia Paneque, która zasiada w rządzie Katalonii, gdzie jest odpowiedzialna za sprawy terenowe, mieszkalnictwo oraz transformację ekologiczną. Cały program do 2027 r. ma zabezpieczyć 70 proc. zużywanej w Katalonii wody z własnych, w pełni kontrolowanych zasobów. Dziś odsetek ten sięga około 33 proc., a do 2040 r. ma wynieść 100 proc.

Fot. Enes royalfound

Rolnictwo czasów suszy



Fot. Loren King/Unsplash

● Susza staje się plagą rolnictwa na całym świecie. W Europie przekonaliśmy się o tym m.in. dwa lata temu, gdy dotknęła obszaru wielkości Polski i Włoch razem wziętych (630 tys. km kw.). W tej sytuacji coraz poważniej patrzy się na sposoby upraw sprawdzone w krajach południa – takie jak Water Smart Agriculture – dzięki, którym bardziej efektywnie wykorzystuje się dostępną wodę.

● W dużej skali wygląda to tak: około 80 proc. światowego rolnictwa jest zasilane deszczem i stanowi 60 proc. całkowitej produkcji rolnej. Pozostałe 20 proc. upraw dających 40 proc. plonów jest nawadniane (dane: FAO). I tu także istnieje pewien podział na tzw. wodę zieloną, czyli tą magazynowaną w glebie, oraz wodę niebieską z rzek, jezior, warstw wodonośnych i zbiorników wodnych. Z punktu widzenia samego rolnictwa kluczowe znaczenie ma pierwsza z nich, przede wszystkim dlatego, że jest dostępna do bezpośredniego pobrania przez rośliny, ale jednocześnie aż 70 proc. wody używanej do nawadniania pochodzi właśnie z gruntu.

● To uogólnienie globalne, bardzo różnie wygląda to jednak w zależności od regionu świata. Co do zasady im bliżej zwrotników, tym większe zapotrzebowanie na nawadnianie (zwłaszcza w Zwrotniku Raka, na którym leży znacznie więcej lądów niż na Zwrotniku Koziorożca). Jak widać na mapie, w pierwszej kolejności dotyczy to Afryki Północnej oraz Azji Środkowej, gdzie ponad trzy czwarte upraw potrzebuje dodatkowego zasilania wodą. Polska jest po przeciwnej stronie granicy – ponad trzy czwarte upraw bazuje na opadach deszczu i zielonej wodzie. Zatrzymanie jej w glebie jest więc niezwykle ważne, tym bardziej że wg Wód Polskich suszą zagrożone jest 55,6 proc. powierzchni kraju.

● Dlatego takie modele działania jak Water Smart Agriculture należy rozpatrywać także w krajach, które wcześniej nie borykały się z przewlekłą suszą. W Europie najbardziej doświadczyła jej Hiszpania, która od kilku lat zmaga się z kryzysem wodnym. WSA w pierwszej kolejności wdrażane było w Afryce Subsaharyjskiej, aby móc zwiększyć produkcję rolną w porze suchej, oraz w Ameryce Środkowej, gdzie intensywne uprawy doprowadziły do wyjałowienia gruntów. Jako zdegradowane FAO uznało tu 74 proc. obszarów uprawnych, co doprowadziło do spadku produktywności podstawowych zbóż od 50 do 90 proc.

● W tej sytuacji WSA wdrożono na 3 tys. farm w Gwatemali, Salwadorze, Hondurasie i Nikaragui. Wyjałowiona ziemia sprawiała, że mało zielonej wody w niej zostawało i spadła przenikalność deszczówki do głębszych warstw. Za to bardzo dużo jej uciekało i odparowywało. Przy najpopularniejszej tu uprawie kukurydzy zidentyfikowano cztery główne przyczyny takiej sytuacji:

→ nieprawidłowe stosowanie nawozów,
→ całkowite usuwanie pozostałości po zbiorach,
→ intensywna uprawa,

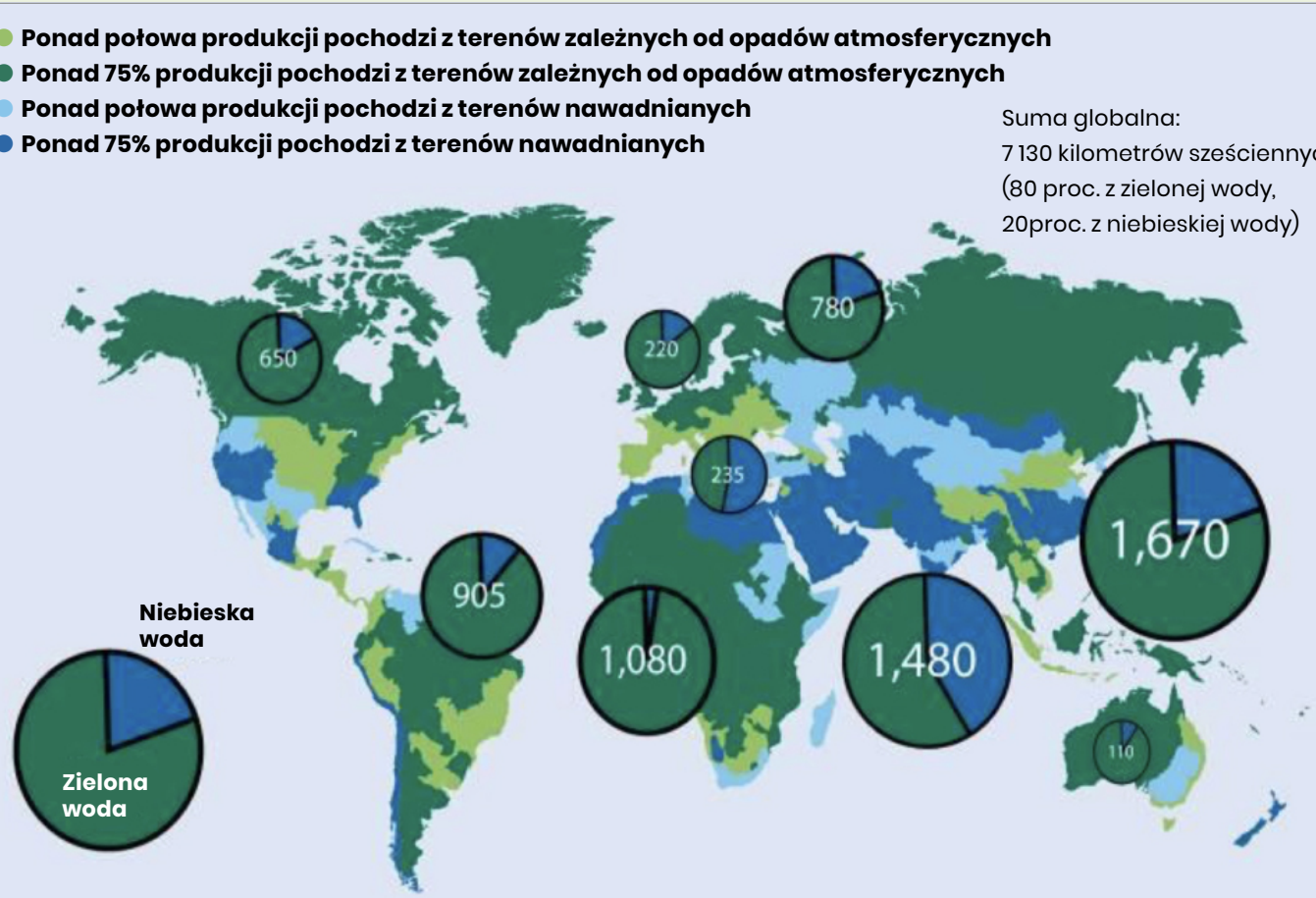
→ brak drzew oraz krzewów w sąsiedztwie upraw.

Doprowadziło to do:
→ zakwaszenia gleby,
→ nierównowagi składników odżywczych,
→ niskiej zawartości materii organicznej,
→ niskiej infiltracji i retencji wody.

W tej sytuacji wdrożono pięcioletnie programy rewitalizacji gleby, w tym:
→ minimalne naruszanie ziemi przez ograniczoną orkę,
→ pozostawianie na polu resztek upraw i stałe pokrycie gleby,
→ dywersyfikację upraw,
→ wprowadzanie roślin okrywowych,
→ agroleśnictwo,
→ zintegrowane zarządzanie żyznością gleby i 4R.

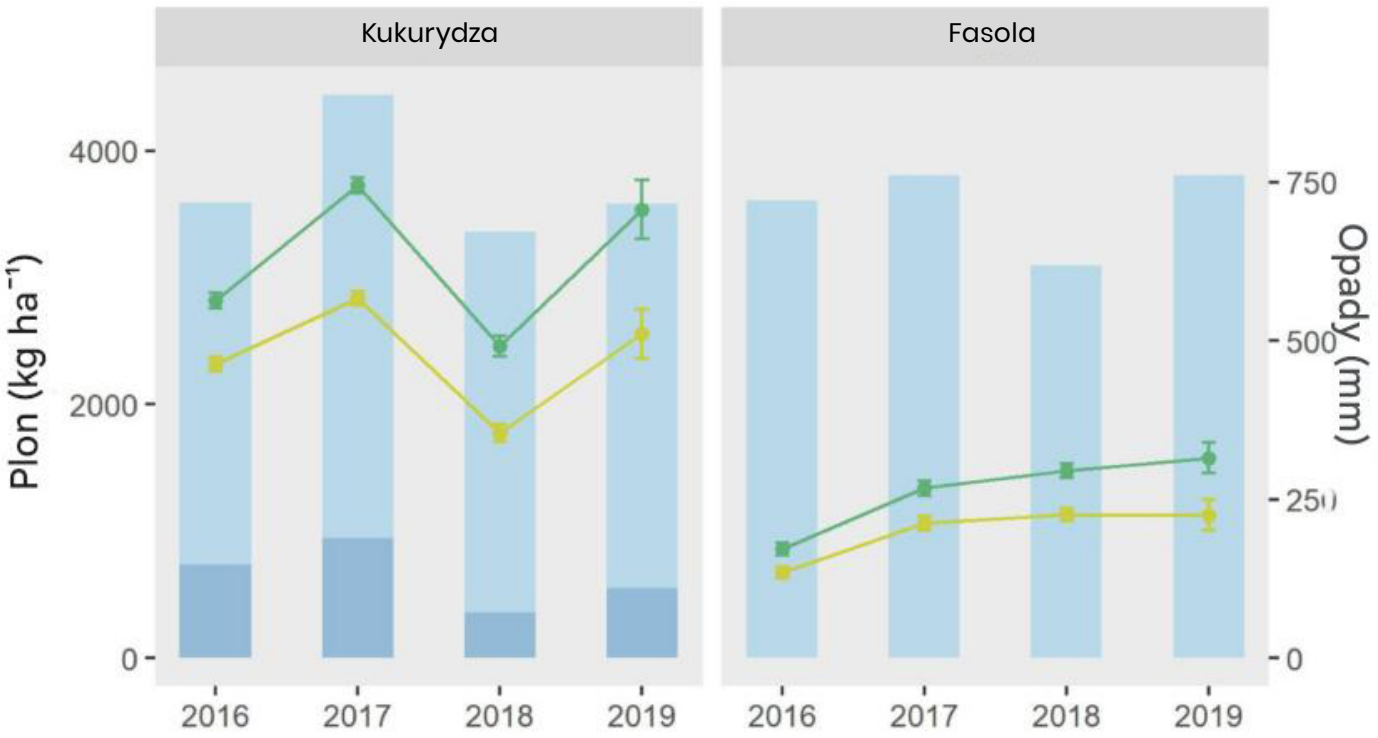
● W znacznym stopniu metody te są więc podobne do coraz popularniejszego rolnictwa regeneracyjnego, którego podstawą nie jest jednak samo zwiększenie odporności na stres wodny, ale zmniejszenie emisji CO_2 pochodzących z rolnictwa. Jak opisują specjaliści z Care, organizacji, która od 80 lat walczy z głodem, WSA to zasadniczo pakiet narzędzi do zarządzania wodą, które można dostosować do kontekstu w celu ograniczenia skutków zmian klimatycznych (powodzie a susza, rolnictwo na obszarach górskich i nizinnych).

● Nie jest to nowa koncepcja. Opiera się na interwencjach związanych z wodą w ramach dobrze znanych podejść, w szczególności rolnictwa inteligentnego dla klimatu (Climate Smart Agriculture – CSA). Do tego dochodzi tzw. rolnictwo konserwujące (Conservation Agriculture – CA) i agroleśnictwo, które skupiają się na zwiększaniu dostępności wody w glebie. Wartość dodana WSA ma polegać na określeniu tego, gdzie potrzebne są inwestycje w dostęp do wody, i rodzaju inwestycji. Ważne są przy tym trzy kluczowe zasady:
→ Inteligentne nawadnianie – inwestuj w wydajne nawadnianie na małą skalę.
→ Inteligentne opady deszczu



Uwaga: Produkcja odnosi się do wartości brutto produkcji. Wykresy kołowe pokazują całkowite parowanie wody uprawnej w kilometrach sześciennych według regionu.
Źródło: analiza Międzynarodowego Instytutu Zarządzania Wodami wykonana na potrzeby kompleksowej oceny zarządzania wodą w rolnictwie przy użyciu modelu Watersim, rozdział 2.

WSA zwiększa produkcję żywności



– ograniczają odpływ, maksymalizują infiltrację: zbieraj wodę deszczową.
→ Inteligentna gleba – inwestuj we właściwe zarządzanie glebą, co przyczyni się do poprawy jej stanu i retencyjności.

● Nie jest to jedynie kwestia ochrony zasobów naturalnych. Najlepiej widać to na przykładzie Ameryki Środkowej, gdzie degradacja gleby była przyczyną spadku produkcji. I to właśnie wzrost plonów – oraz stabilność zbiorów – jest tu jednym z kluczowych celów. WSA, zwiększając tu wydajność wykorzystania lepiej zatrzymanej wody deszczowej – w 2019 r. o 40 proc. w porównaniu ze zwykłymi uprawami – o tyle samo zwiększył efektywność upraw kukurydzy oraz fasoli (biorąc pod uwagę zbiór z hektara – na wykresie obok).

Uprawy oszczędzające wodę



Fot. Naksh

Wiadomo, w przeliczeniu na dostarczane kalorie najwięcej wody pochłania hodowla zwierząt. Jej zasoby stają się już jednak na tyle zagrożone, że coraz częściej zmienia się uprawy na rośliny, które potrzebują jak najmniej tego cennego surowca. To tzw. water-smart crops.

Fasola złota (mung)

Znacznie bardziej ekologiczną alternatywą dla niej może być m.in. fasola złota zwana mung. Jej suszone ziarna mung, w zależności od wahań rynkowych, mogą mieć wartość od pięciu do sześciu razy większą od suszonego siana z lucerny. Według wyliczeń Matta Hotze'a gdyby 100 hektarów lucerny zostało zamienionych na 50 hektarów fasoli złotej, wartość ekonomiczna produkcji roślinnej mogłaby się podwoić, jednocześnie potencjalnie zmniejszając zapotrzebowanie na wodę o połowę.

Kernza

Kolejną water-smart crops jest tzw. kernza, czyli trawa pszeniczna, w Polsce znana jako perz siny (łac. Thinopyrum intermedium), opracowana w The Land Institute. Według Hotze'a szacuje się, że ta odmiana znana ze swoich właściwości odpornych na suszę zużywa o 30 proc. mniej wody niż lucerna. Obecnie zastosowania tej uprawy obejmują zarówno pieczenie chleba, jak i warzenie piwa, ale badania nad jej wykorzystaniem jako nowego źródła białka w żywności roślinnej cały czas się rozwijają.

Komosa ryżowa



Fot. Bioversity International

Wywodząca się z Andów quinoa, czyli komosa ryżowa, jest rośliną odporną na suszę, która wymaga mniej wody w porównaniu z wieloma innymi

ziarnami. Może rosnąć w suchym środowisku z rocznymi opadami wynoszącymi co najmniej 200 mm. Badania przeprowadzone na National Pingtung University of Science and Technology wykazały, że może wytrzymać stres suszy, zwiększając wchłanianie wody dla pobudzenia wzrostu korzeni. Jednocześnie dzięki podnoszeniu zawartości proliny (rodzaj aminokwasu) i całkowicie rozpuszczalnemu cukrowi reguluje potencjał osmotyczny komórek.

Amarant

Podobnie jak komosa ryżowa, także amarant jest uprawą odporną na susze. Jego ziarno po ugotowaniu dostarcza 4 g białka i 19 g węglowodanów na 100 g. Według naukowców z North-West University w RPA jest to bardzo solidna porcja odżywcza, a sam amarant jest najbardziej odpowiednim kandydatem do uprawy w obecnych scenariuszach zmian klimatycznych. Wydajność upraw waha się od 1500 do 7200 kg/ha. Jest to roślina o wysokiej zdolności adaptacyjnej, ale wciąż mało popularna i niedoceniana.

Sorgo



Fot. K-State Research and Extension

Sorgo jest jednym z najbardziej wytrwałych zbóż, doskonale dopasowanym do obecnych zmian klimatycznych. Jest odporne na suszę i może wytrzymać okresy bezdeszczowe, ale jednocześnie wykazuje dużą odporność na ciepło i gorące lata. Wymaga o jedną trzecią mniej wody niż kukurydza. Nasiona są przy tym tańsze i podobnie jak proso wymaga nieco mniej nakładów chemicznych. Ma też wysokie wartości odżywcze – jest bogate w przeciwutleniacze, białko, błonnik i żelazo. Nie zawiera glutenu.

Bataty

Słodkie ziemniaki mają stosunkowo niskie zapotrzebowanie na wodę, przede wszystkim w porównaniu z podobnymi uprawami roślin bulwiastych, takich jak ziemniaki. Uważane za roślinę lekko tolerancyjną na suszę. Za optymalne środowisko uważa się 750-2000 mm rocznych opadów. Nawadnianie jest potrzebne, gdy rośliny otrzymują mniej niż 800-850 mm wody z opadów deszczu. Wymagania dotyczące wody są jednak różne na różnych etapach rozwoju zakładu. Krytycznym okresem, w którym słodkie ziemniaki potrzebują największej ilości wody, jest rozwój korzeni i wzrost w ciągu 4-5 tygodni od posadzeniu. Naukowcy pracują nad zwiększeniem ich odporności na suszę oraz wzrostu i produktywności – obiecujące rezultaty uzyskali, dokonując mykoryzy, czyli szczepienia grzybów na korzeniach rośliny.

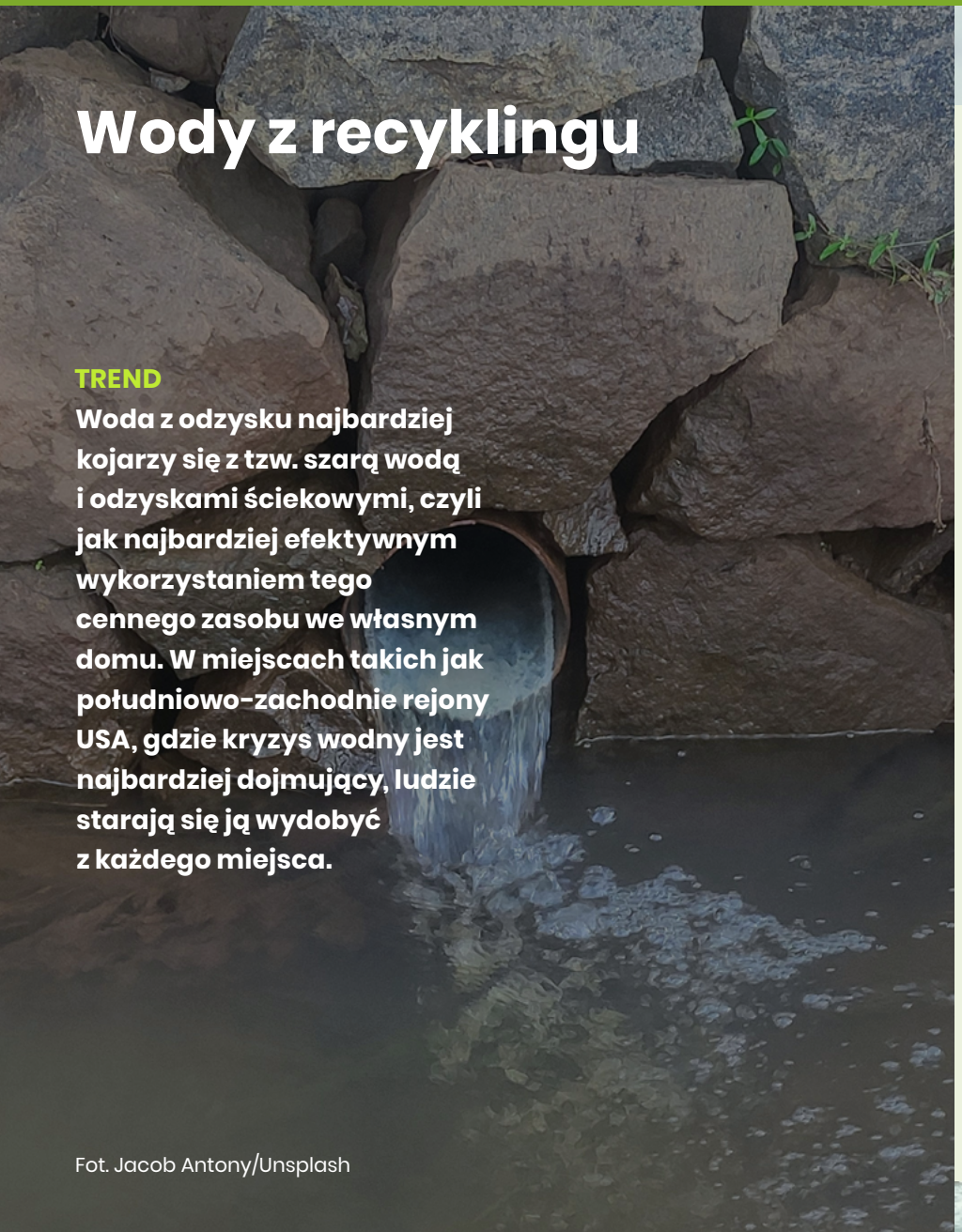
Proso

Odpornym na susze zbożem jest też dobrze znane nam proso, które może być uprawiane w regionach półsuchych z ograniczoną dostępnością wody. Stąd bardzo mocno stawia się na nie m.in. w Indiach, gdzie punktem odniesienia jest dla niego ryż. A w tym względzie liczby są bardzo wymowne – podczas gdy do uprawy 1 kg prosa potrzeba 650-1200 l wody, to w przypadku ryżu mowa o 5000 l wody. Może być również uprawiane przy mniejszych nakładach chemicznych, takich jak nawozy i pestycydy. Prosa są również mniej podatne na psucie się i uszkodzenia. Na przykład prosa palcowe mogą być przechowywane i spożywane nawet w ciągu dekady od zbiorów.

Taro

To warzywo korzeniowe i podstawowa roślina spożywcza na całym Pacyfiku, która dotychczas nie była odporna na tzw. stres wodny. Naukowcy zidentyfikowali jednak dwie odmiany Tarova Loa i Uro ni Vonu prezentujące najwyższą zdolność do efektywnego wykorzystania zatrzymanej wody poprzez częściowe zamknięcie szparkowe, czyli zamknięcie małych otworów znajdujących się pod liśćmi, które dopuszczają do transpiracji, czyli czynnego parowania wody. Dzięki temu roślina utrzymuje podstawowe funkcje fizjologiczne także w okresie suszy.

Wody z recyklingu



TREND

Woda z odzysku najbardziej kojarzy się z tzw. szarą wodą i odzyskami ściekowymi, czyli jak najbardziej efektywnym wykorzystaniem tego cennego zasobu we własnym domu. W miejscach takich jak południowo-zachodnie rejony USA, gdzie kryzys wodny jest najbardziej dojmujący, ludzie starają się ją wydobyć z każdego miejsca.

Fot. Jacob Antony/Unsplash

Pomidory

Przy przetwarzaniu pomidorów – np. na koncentrat – wylewa się sporo naturalnego płynu, który jest w nich zawarty. Rolnicy z Kalifornii uznali, że to marnotrawstwo, bo woda stanowi przecież aż 93 proc. ich masy. Tymczasem koncentrat pomidorowy to dość sucha pasta, z której jest odparowywane aż 70 proc. wody. Proces ten sprawia, że produktem ubocznym przy jego wytwarzaniu jest czysta destylowana woda. I to postanowiła wykorzystać działająca na zachodnim wybrzeżu firma Ingomar Packing do spółki z dostarczającą odpowiednie urządzenia Botanical Water Technologies. Dzięki nim wyłapują odparowany kondensat, a następnie poddają go procesowi oczyszczania. Jest to przenośne, mieszczące się w kontenerze urządzenie do uzdatniania wody podłączone do instalacji przetwórczej, którą wykorzystuje Ingomar. Oczyszczana woda przechowywana jest w zbiornikach, które szybko można przewieźć w miejsca, gdzie są najbardziej potrzebne.

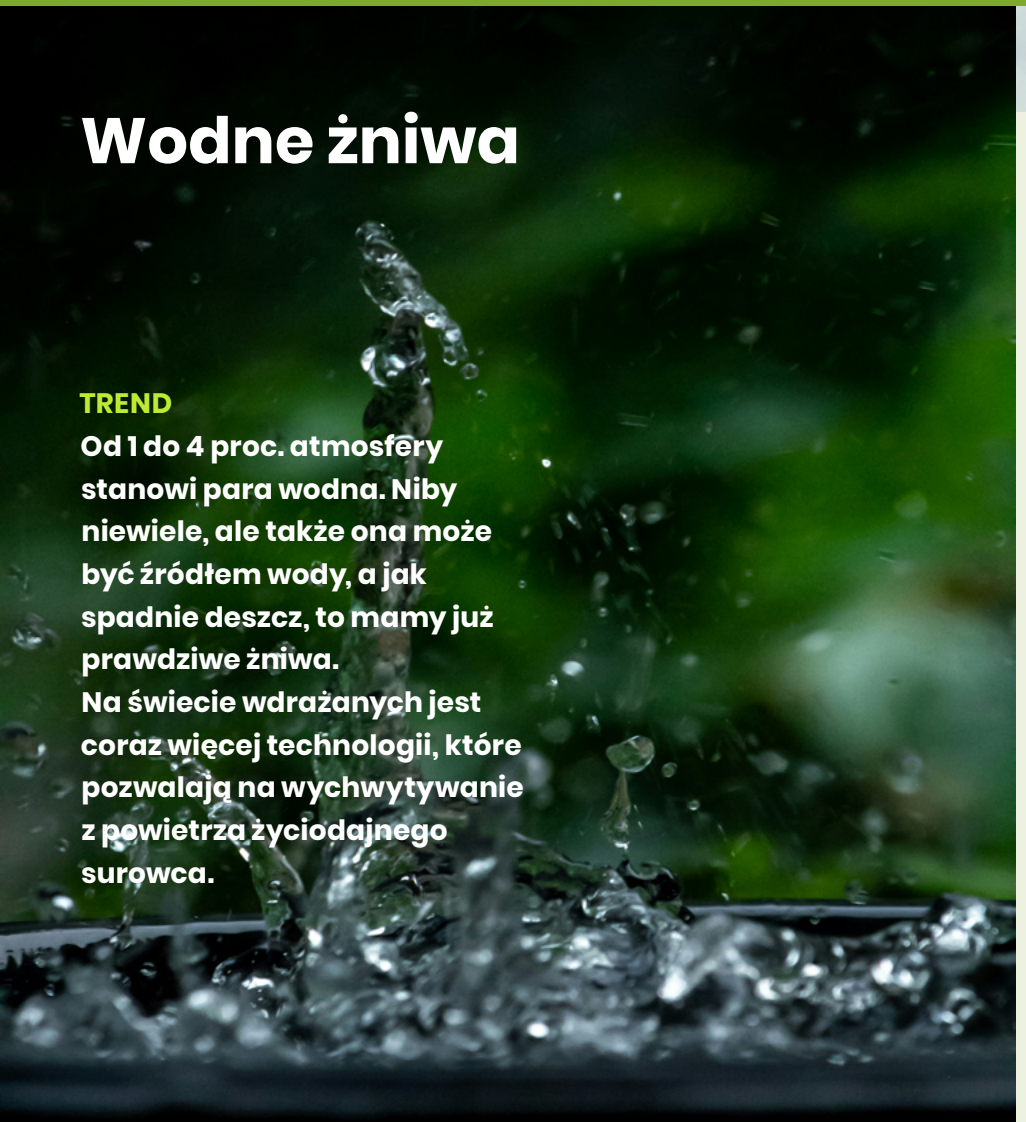
Piwo

Epic OneWater Brew to połączenie browaru rzemieślniczego z Bay Area z firmą rozwijającą technologię oczyszczania ścieków. Produktem kooperacji jest piwo typu Kölsch. I nikt nie pozna, że powstaje z wody spływającej z prysznica lub prania. Epic OneWater Brew rozwinął bowiem technologię biologicznego recyklingowania wody opracowaną wcześniej przez Ames Research Center, kosmiczną agencję pracującą dla NASA. Pierwotnie została stworzona w celu uzdatniania wody dla astronautów podczas ich kosmicznych misji. Ale dziewięć lat temu po raz pierwszy wykorzystano ją przy produkcji piwa kraftowego. A teraz, widząc rosnące zainteresowanie ze strony konsumentów, kolejne browary zaczynają coraz chętniej po nią sięgać. Nic dziwnego – naukowcy z Uniwersytetu Stanforda dowiedli, że poddawana recyklingowi i biologicznej obróbce woda ma lepsze parametry jakościowe niż woda, w którą standardowo zaopatrują się browary.

Ropa

W Nowym Meksyku chcą za to sięgnąć po coś, co jest uznawane za nienadający się do niczego ściek: wodę używaną przy szczelinowaniu złóż ropy. Większość jej jest używana wielokrotnie, a w międzyczasie zalega w sztucznych lagunach między platformami wiertniczymi a pompami. Kryzys wodny jest tu jednak tak duży, że wielu samorządowców zwróciło się do władz stanowych o opracowanie przepisów pozwalających na oczyszczanie i wykorzystanie milionów galonów tego płynu. Potencjał jest duży, bo tylko w 2022 r. przemysł naftowy i gazowy w Nowym Meksyku wyprodukował wystarczającą ilość toksycznych ścieków szczelinowych, aby pokryć 108 tys. hektarów ziemi o głębokości 31 cm. W projekt pilotażowy finansowany ze środków publicznych zaangażowało się 10 firm zajmujących się oczyszczaniem ścieków w Nowym Meksyku. Na razie koszty tego procesu okazały się wysokie, skądinąd inne stany, takie jak Kolorado i Kalifornia, w małej skali już używają oczyszczonej wody pochodzącej ze szczelinowania.

Wodne żniwa



TREND

Od 1 do 4 proc. atmosfery stanowi para wodna. Niby niewiele, ale także ona może być źródłem wody, a jak spadnie deszcz, to mamy już prawdziwe żniwa.
Na świecie wdrażanych jest coraz więcej technologii, które pozwalają na wychwytywanie z powietrza życiodajnego surowca.

Fot. frame harirak/Unsplash

Deszcz

Najprostsze jest zbieranie deszczówki. Dziś na płaskich dachach instaluje się coś w rodzaju polderów (MetroPolder), przekształcając je w inteligentne, kontrolowane magazyny wody – bazą jest system do buforowania wody, rodzaj jazu podłączonego do systemu IT, który mierzy i reguluje poziom wody oraz jej odpływ. Polder Roof jest w stanie przechować niemal cały deszcz, który spada na dach, i zutylizować go lub wykorzystać w późniejszym okresie. Wykorzystywany jest nie tylko do nawadniania roślin w czasie, gdy nie pada, można go także podłączyć do systemów wody szarej. W Amsterdamie zainstalowano już 10 tys. m kw. takich polderów, a sami twórcy MetroPolder mają ambicję, aby centra miast przekształcić w inteligentną sieć wodociągową. Za ich rozwiązaniami zdecydowanie przemawiają liczby – podczas gdy konwencjonalny zielony dach zatrzymuje około 12 proc. opadów, w przypadku dachowych polderów wynik ten sięga 97 proc.

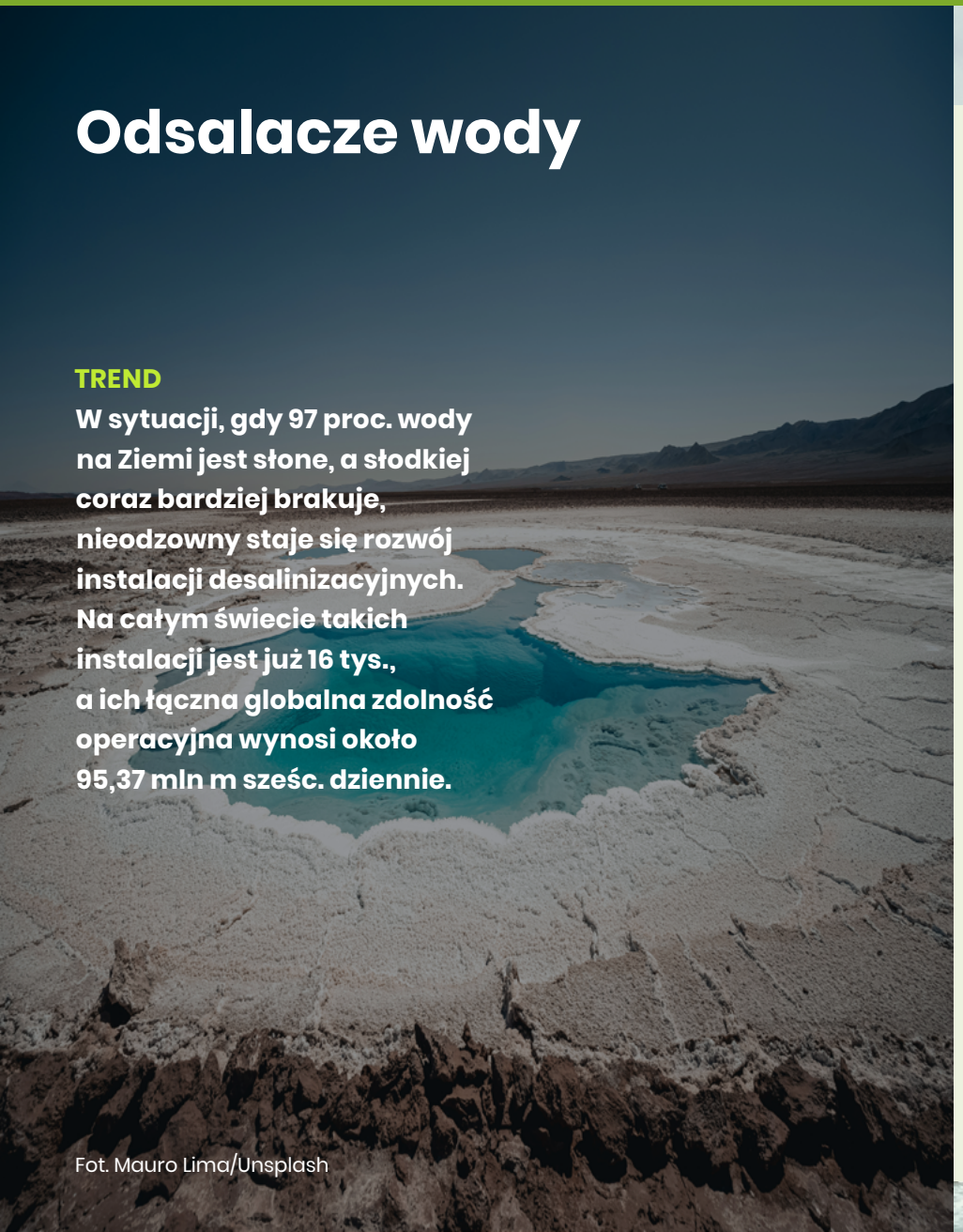
Mgła

Bardziej ambitnym projektem niż gromadzenie deszczówki jest zbieranie mgły. Do tego celu powstały już hydropanele, przypominające te słoneczne, pokryte materiałem absorbującym parę wodną, która krąży w powietrzu nawet w krajach stale cierpiących na niedobór wody. Ich sposób działania porównuje się do kostki cukru, która „zasysa" płyn, np. kawę, gdy tylko zetknie się z jego powierzchnią. Każdy hydropanel w ciągu jednej doby zbiera z powietrza około 10 butelek wody. Podobne właściwości ma superhigroskopijny żel na bazie pochodnych roślinnych i soli higroskopijnych, zsyntezowany przez ekipę Uniwersytetu Jiao Tong. Jego efektywność zależy od środowiska, w którym zostanie zastosowany: na 1 kg żelu w suchym klimacie udaje się wchłonąć 1,18 kg wody, a w wilgotnym 6,4 kg.

Para wodna

W tym przypadku chodzi o produkt uboczny klimatyzatorów, czyli parę wodną, która osadza się na powierzchni wymiennika, skrapla się i spływa do tacy ociekowej w postaci tzw. kondensatu. Stąd zwykle odprowadza się go do kanalizacji. Jednak nie wszędzie – np. liczący 46 tys. m kw. budynek Microsoftu w izraelskim mieście Herclijja wykorzystuje go do podlewania zieleni na kampusie i chłodzenia budynku. A mowa o 3 mln litrów wody rocznie. Duży potencjał ma także wychwytywanie wody uciekającej z tzw. chłodni kominowych w elektrowniach (w wyniku parowania lub dryfu ulatuje od 60 do 90 proc. wykorzystywanej wody). Naukowcy z MIT opracowali panele, które jonizują wodę i zbierają ją na drucianych siatkach. Panele wykorzystywane w chłodniach kominowych są za to w stanie zebrać 20-30 proc. wody utraconej przez elektrownie.

Odsalacze wody



TREND

W sytuacji, gdy 97 proc. wody na Ziemi jest słone, a słodkiej coraz bardziej brakuje, nieodzowny staje się rozwój instalacji desalinizacyjnych. Na całym świecie takich instalacji jest już 16 tys., a ich łączna globalna zdolność operacyjna wynosi około 95,37 mln m sześc. dziennie.

Fot. Mauro Lima/Unsplash

Rozwój

Chociaż najczęściej pisze się o kolejnych projektach powstających w Kalifornii, to desalinizacja jest przede wszystkim domeną krajów z Bliskiego Wschodu. Niektóre kraje regionu wykorzystują ją, aby zaspokoić nawet 90 proc. zapotrzebowania na wodę pitną. Co więcej, właśnie tutaj znajduje się 40 proc. światowych instalacji do odsalania wody. Najwięksi potentaci to Arabia Saudyjska, Kuwejt, Zjednoczone Emiraty Arabskie, Katar i Bahrajn. Moce przetwórcze bardzo szybko rosną. Na poważnie pojawiły się w latach 80., ale prawdziwego przyspieszenia nabrały w XXI wieku. Od 2000 r. ich moc operacyjna wzrosła sześciokrotnie, z 20 do przeszło 95 mln m sześc. dziennie (dane: Yale Environment 360). Dziś rynek technologii desalinizacyjnych wart jest około 15,5 mld dol. i rośnie w tempie 9,8 proc. rocznie.

Technologia

Najczęściej stosowaną techniką jest odwrócona osmoza, gdzie wodę pod ciśnieniem przesącza się przez membrany filtrujące sól (SWRO). To rodzaj technologii elektrycznej, która obejmuje też mechaniczną kompresję pary (MVC) i dializę elektryczną (EDR). Wodę odsala się także termicznie, przez jej odparowanie i ponowne skroplenie. Obejmuje to: wielostopniową destylację rzutową (MSF), destylację wieloefektową (MED), termiczną kompresję pary (TVC) i destylację membranową (MD). W Zatoce Perskiej 70 proc. instalacji opiera się właśnie na odparowywaniu wody zasilanym paliwami kopalnymi. Następuje jednak poprawa, zarówno jeśli chodzi o energochłonność procesu odwróconej osmozy, jak i samą energię. Wkład w rozwój technologii mają też polscy naukowcy ze start-upu Nanoseen, który stworzył filtr wykorzystując nanomembrany. To rozwiązanie mechaniczne wykorzystujące swobodny przepływ grawitacyjny wody bez dodatkowego ciśnienia.

Kluczowi gracze

Aqualyng
Danfoss A/S
Evoqua Water Technologies
H2O Innovation
Hyflux
IDE Technologies
Koch Membrane
Sidem
Xylem

Partnerzy raportu Greenbook 2025

Greenbook 2025, kwiecień 2025
Opracowanie i redakcja: Green is Good / Miasto2077
Makieta / Opracowanie graficzne: Aleksandra Krupa / AC Jaworscy
Kontakt: redakcja@miasto2077.pl