ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
swiatnauki.pl • projektpulsar.pl

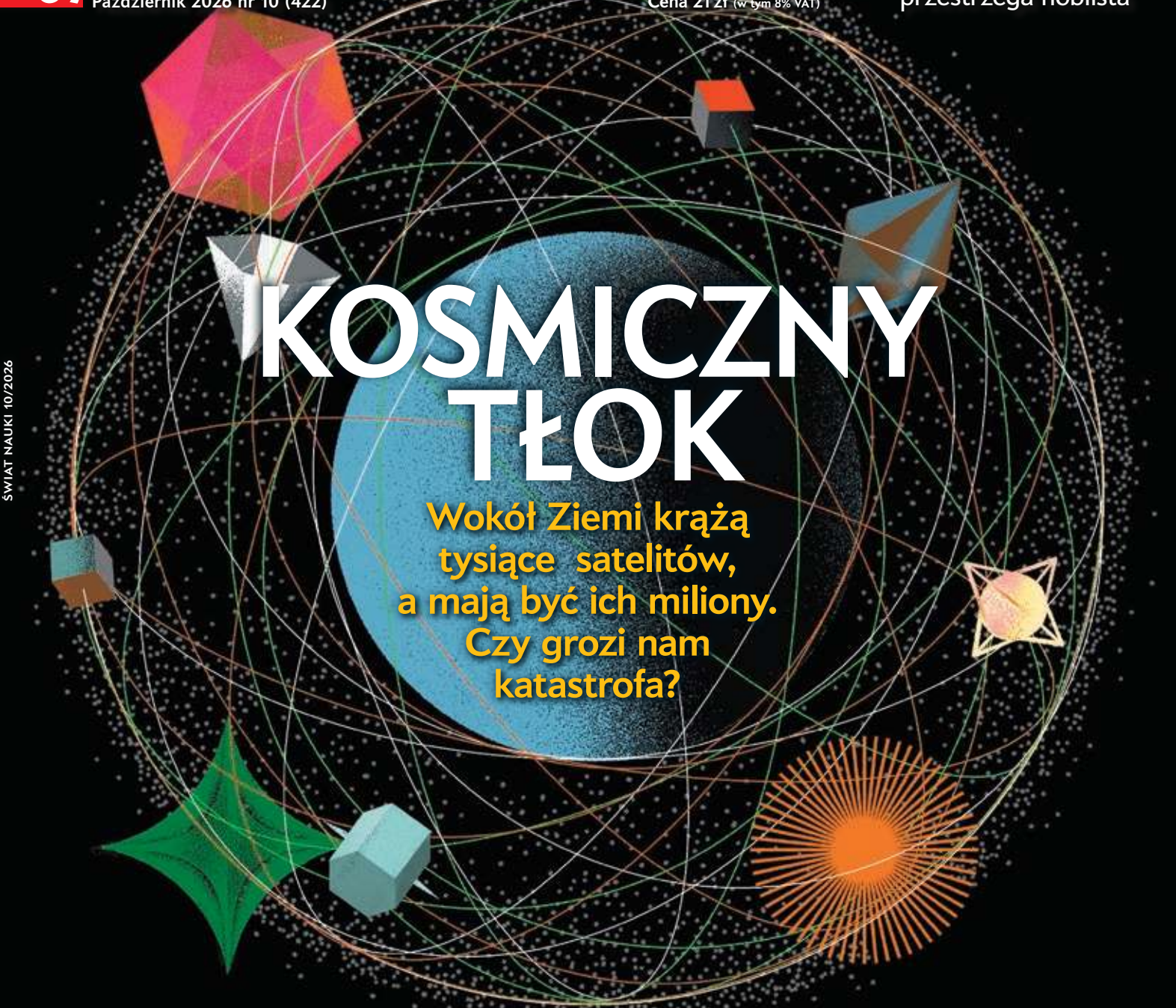
SCIENTIFIC AMERICAN

Październik 2026 nr 10 (422)
Cena 21 zł (w tym 8% VAT)

Matematyka przewiduje zagładę ludzkości

Czy Złota Kopuła ma sens?

Wzrasta ryzyko wojny jądrowej, przestrzega noblista



KOSMICZNY TŁOK

Wokół Ziemi krążą tysiące satelitów, a mają być ich miliony. Czy grozi nam katastrofa?

ŚWIAT NAUKI 10/2026

ZIELONA ENERGIA

Wyzwania, sukcesy i porażki

INDEKS 378194
ISSN 0867-6380
9 770867 638609 10>

Pulsar – serwis popularnonaukowy POLITYKI

POPULARYZATOR NAUKI 2024 i 2025

projektpulsar.pl

Wszystko, co warto wiedzieć o nauce:

- **naukowe newsy** – najważniejsze odkrycia, najnowsze wyniki badań
- artykuły naukowe z bieżących wydań **„Polityki”**
- aktualne wydania **„Wiedzy i Życia”** – pisma, które od ponad 100 lat przybliża zdobycze nauki i techniki
- aktualne wydania **„Świata Nauki”** – polskiej edycji renomowanego pisma „Scientific American”
- bogate **archiwum tekstów** najlepszych dziennikarzy naukowych oraz ekspertów i badaczy w swoich specjalizacjach

...i jeszcze więcej:

- recenzje najgorętszych książek popularnonaukowych
- cotygodniowy newsletter Pulsara
- podkasty **„Pulsar nadaje”** – już ponad 170 rozmów z najciekawszymi polskimi naukowcami



PAWEŁ SIKORSKI:
Wirusy celowo zakładają czapki

DOROTA ROSIŃSKA, MAREK SZCZEPAŃCZYK:
Chcemy sięgnąć początków Wszechświata



KATARZYNA SZNAJD-WERON:
O ruchach ciał społecznych



Zaprenumeruj nas:
projektpulsar.pl

eprasa.pl 807975059

POLSKA EDYCJA
ŚWIAT NAUKI
SCIENTIFIC AMERICAN

PAŹDZIERNIK 2026
NUMER 10 (422)



POLITYKA KOSMICZNA

24 BITWA O NOCNE NIEBO
Niebezpieczny wyścig o miejsca na orbitach wokółziemskich.
JONATHAN O'CALLAGHAN

OCHRONA PRZYRODY

32 WALKA O ZIEMIĘ
Analizy społeczno-ekologiczne pokazują, kto zyskałby, a kto stracił na dążeniu do przekazywania gruntów federalnych w ręce prywatne.
KYLE MANLEY

BIOLOGIA

40 GADZIA SEKSMISJA
Płeć wielu gadów, w tym żółwi, zależy od temperatury, w jakiej inkubują się ich jaja. Globalne ocieplenie może doprowadzić niektóre gatunki do zagłady.
ELIZABETH PRESTON

RAPORT
CZYSTA ENERGIA

34 ENERGIA SŁONECZNA PODBIJA ŚWIAT
Po okresie błyskawicznego rozwoju fotowoltaika stała się najtańszym źródłem prądu w historii.
STEPHANIE PAPPAS

44 ŚWIĘTY GRAAL MOTORYZACJI
Akumulatory ze stałym elektrolitem od dziesięcioleci dają nadzieję na lepsze samochody elektryczne. W branży zdominowanej przez Chiny dwie amerykańskie firmy starają się je w końcu wprowadzić do masowej produkcji.
ALEX PASTERNACK

50 GRA W ZIELONE
Śmiałe pomysły na rozwiązanie problemów czystej energii.
ANDREA THOMPSON, MEGHAN BARTELS, CODY COTTIER I DAN VERGANO

Factorial Energy

eprasa.pl 807975059e

ŚWIAT NAUKI
POLSKA EDYCJA
SCIENTIFIC AMERICAN

PAŹDZIERNIK 2026
NUMER 10 (422)

5 ZDROWIE
Gotowy na fibermaxxing?
LORI YOUMSHAJEKIAN

7 WSZECHŚWIAT
Przyszłość Księżyca
PHIL PLAIT

10 SKANER
Mglisty habitat ◆ Roboty próbują dorównać pszczołom ◆ Raz żeński, raz męski ◆ Ewolucja ludzkiego węchu ◆ Matematyczne szukanie dziury w całym ◆ Jak naprawdę działa popularny lek? ◆ Oceaniczne usługi

18 Q&A
W poszukiwaniu teorii wszystkiego
LEE BILLINGS

22 MILITARIA
Gorączka Złotej Kopuły
SARAH SCOLES

24 TECHNIKA I BIZNES
Pizza z nieba
ADAM ROGERS

70 SIŁA MYŚLI
Wytrzymałość da się ćwiczyć
HEATHER SCHOFIELD I SUPREET KAUR

72 MATEMATYKA
Czy można przewidzieć zagładę ludzkości?
JACK MURTAGH

74 UMYSŁ GIĘTKI
Różne cyfry i plusy
MAREK PENSZKO

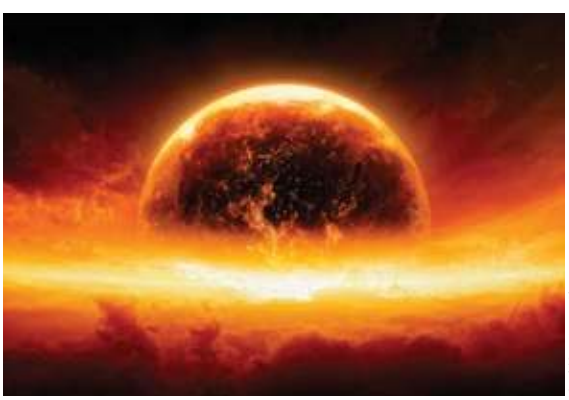
74 WARTO WIEDZIEĆ

80 Z ARCHIWUM „SCIENTIFIC AMERICAN”
Ospa pokonana ◆ Nie traćmy dziecięcej wrażliwości ◆ Inżynierskie emocje ◆ Niezwykłe fundamenty ◆ Ryby i owoce morza dla koneserów ◆ Doceńmy braci najmniejszych


6
Ilustracja Jay Bendt



24
Zipline


72
iStock/Getty Images Plus

OKŁADKA



Wokół Ziemi krąży obecnie około 15 tys. satelitów. W nadchodzących latach planuje się wystrzelenie prawie 2 mln kolejnych. Ten bezprecedensowy przyrost zapewni łączność internetową społecznościom pozbawionym dziś dostępu do Sieci, może jednak wywrzeć negatywny wpływ na badania astronomiczne, atmosferę oraz przyszłą eksploatację przestrzeni wokółziemskiej.

Ilustracja Brian Stauffer

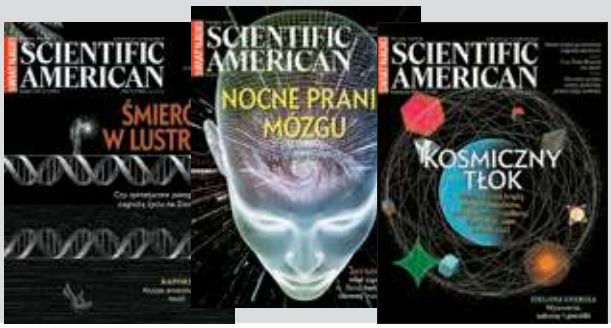
Polska wersja okładki Jolanta Kotas

eprasa.pl 807975059e

PRENUMERATA „ŚWIATA NAUKI”

ŚWIAT NAUKI SCIENTIFIC AMERICAN

Prenumeruj druk



KUP TERAZ

Prenumerata roczna **210 zł**

Prenumerata półroczna **110 zł**

Polska edycja renomowanego amerykańskiego pisma „Scientific American” z bezpłatną dostawą do wybranego przez Ciebie InPost Paczkomat 24/7 lub pocztą wprost pod Twoje drzwi.

Prenumeruj druk i serwis Pulsar



KUP TERAZ

Prenumerata roczna **299 zł**

Prenumerata półroczna **169 zł**

Oprócz wydania drukowanego otrzymujesz wydanie cyfrowe „Świata Nauki” i „Wiedzy i Życia” w ramach dostępu do codziennego serwisu naukowego Pulsar.

Prenumeruj w pakiecie z „Wiedzą i Życiem”



KUP TERAZ

Prenumerata roczna **339 zł**

Prenumerata półroczna **189 zł**

Dwa pisma popularnonaukowe w klasycznej papierowej odsłonie. Co miesiąc 160 stron potężnej dawki wiedzy ze świata nauki.

Darmowa dostawa co miesiąc pod wskazany adres

Gwarancja stałej ceny

MASZ PYTANIA? **prenumerata@swiatnauki.pl**

sklep.polityka.pl

Zapraszamy na wygodne zakupy!
Dla siebie i bliskich. Kupuj dla szkoły, firmy, instytucji.

eprasa.pl 807975059e

ŚWIAT NAUKI POLSKA EDYCJA SCIENTIFIC AMERICAN

www.projektpulsar.pl

Prenumerata
www.sklep.polityka.pl/sn
e-mail: prenumerata@swiatnauki.pl
tel. 22 336 75 60

Redaktor naczelny
Elżbieta Wieteska
e-mail: e.wieteska@swiatnauki.pl
tel. 605 435 405

Kontakt z redakcją
redakcja@swiatnauki.pl

Korekta
Mariola Będkowska

Redakcja techniczna, skład i łamanie
Jolanta Kotas
e-mail: j.kotas@swiatnauki.pl

Wydawca
POLITYKA Sp. z o.o. SKA
ul. Słupecka 6, 02-309 Warszawa
tel. 22 451 61 33/34
www.polityka.pl; e-mail: polityka@polityka.pl

Prezes zarządu
Jerzy Baczyński

Dyrektor wydawniczy
Piotr Zmelonek
tel. 22 451 61 33/34

Biuro reklamy, kampanii i projektów specjalnych
Izabela Kowalczyk-Dudek, Dyrektor
Tel. 22 451 61 45, e-mail: reklama@polityka.pl

Dział Dystrybucji
Marcin Paśnicki, kierownik
e-mail: dystrybucja@polityka.pl

Kontakt w sprawie bezpieczeństwa produktu
gpsr@polityka.pl

Druk P/mint

Copyright © POLITYKA Sp. z o.o. SKA 2026

Wszelkie prawa zastrzeżone (łącznie z tłumaczeniem na języki obce). Żaden fragment niniejszego wydania nie może być wykorzystany w jakiejkolwiek formie – fotokopii, mikrofilmu czy innych reprodukcji – ani przekładany na język mechaniczny bez pisemnej zgody wydawcy. SCIENTIFIC AMERICAN jest zastrzeżoną nazwą handlową należącą do Scientific American, Inc. w Nowym Jorku i używaną przez firmę Polityka Sp. z o.o. SKA na podstawie umowy licencyjnej.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor In Chief **Jeanna Bryner**
Director of Editorial Eontent **Seth Fletcher**
Copy Director **Maria-Christina Keller**
Chief Art Director **Maria Amador**
Chief of Reporters **Clara Moskowitz**
Chief Special Projects Editor **Megha Satyanarayana**
Breaking News Chief **Claire Cameron**

President **Kimberly Lau**
Publisher and Vice President **Jeremy A. Abbate**
Vice President, Product and Technology **Dan Benjamin**

Management by LabX Media Group, Inc.
Chairman **Bob Kafato**
President **Chris Pauze**

Drodzy Państwo,

pewnie wszyscy lubimy patrzeć w nocy na rozświetlone gwiazdami niebo. Te obserwacje są coraz trudniejsze, a w miastach praktycznie niemożliwe. Ale jeśli nawet się udadzą, może się okazać, że gwiazd na nieboskłonie jest jakby więcej – fałszywych gwiazd. Już w tej chwili nad naszymi głowami krążą tysiące sztucznych satelitów, a mają być ich miliony, w większości służące zapewnieniu dostępu do Internetu. Taki tłok na orbicie stwarza poważne problemy. Rośnie ryzyko kolizji skutkujących powstaniem kosmicznych śmieci, przez co prawdopodobieństwo zderzenia wzrośnie jeszcze bardziej. Szczątki satelitów mogą spaść na Ziemię, zagrażając ludziom i infrastrukturze. Obserwacje astronomiczne będą skrajnie trudne. A dodatkowo orbita ziemska może zostać zawłaszczona przez jeden kraj lub firmę. Jak to zwykle bywa, prawo za rozwojem techniki nie nadąża (*s. 28*).

Energia odnawialna budzi mnóstwo emocji, niewątpliwie pozwala jednak na uniezależnienie się od dostaw paliw kopalnych, co wobec narastających na świecie konfliktów jest nie do przecenienia (*s. 34*). Bardzo dużo się dzieje w tej dziedzinie. Największy sukces odniosła do tej pory fotowoltaika, a moc instalacji nadal wzrasta, ogniwa zaś tanieją. Nie znaczy to jednak, że rezygnuje się z innych odnawialnych źródeł energii – rosną rozmiary turbin wiatrowych, instaluje się je coraz dalej od wybrzeży, do pozyskiwania energii geotermalnej wdraża się szczelinowanie hydrauliczne, próbuje się też wykorzystywać energię pływów. Generalnie poszukuje się bardziej stabilnych źródeł energii odnawialnej niż promieniowanie słoneczne czy wiatr. Przyczyna jest oczywista – to problemy z magazynowaniem energii na czas, gdy słońce nie świeci, a wiatr nie wieje. Wielkoskalowe magazyny energii to duże wyzwanie i oprócz nowych rozwiązań sięga się też po zaniechane kiedyś pomysły. Osobnym problemem są akumulatory dla samochodów elektrycznych, w których przypadku trudno mówić o pełnym sukcesie; w branży ogniw patrzy się więc z nadzieją na drony. Od lat nieuchwytnym celem firm działających w tej dziedzinie pozostaje akumulator ze stałym elektrolitem – niewybuchający, lekki i o dużej gęstości energii.

Po tym zalewie spraw technicznych wróćmy do przyrody (*s. 64*). Okazuje się, że zmiana klimatu może wpływać na żywe istoty w sposób zaskakujący. Zagraża na przykład gadom, w tym niektórym żółwiom, u których proporcje płci potomstwa zależą od temperatury w czasie inkubacji. Gdy jest bardzo ciepło, wykluwa się na przykład znacząco więcej samic.

Polecam także artykuł o podejmowanych przez polityków w USA próbach prywatyzowania ziemi (*s. 56*) – wyjęcia ogromnych obszarów spod federalnej kontroli. Teoretycznie cele są szczytne (więcej terenów pod budownictwo mieszkaniowe), w praktyce jednak taka decyzja wiązałaby się z ogromnymi długofalowymi stratami – zarówno dla społecznego dobrostanu, jak i dla gospodarki oraz środowiska naturalnego. Choć sprawa dotyczy Stanów Zjednoczonych, argumenty są uniwersalne.

Życzę Państwu przyjemnej lektury,

Elżbieta Wieteska

Zapraszamy na nasz portal popularnonaukowy **pulsar** (**www.projektpulsar.pl**). Znajdą w nim Państwo dużą porcję naukowych aktualności (w tym tłumaczenia tekstów ze strony internetowej „Scientific American"), pogłębionych artykułów, ciekawych rozmów z naukowcami, podcastów, a także bieżące i archiwalne wydania „Świata Nauki" oraz „Wiedzy i Życia".

TŁUMACZE, AUTORZY I STALI WSPÓŁPRACOWNICY

dr Michał Czerny
dr n. med. Ewa Grabowska
Andrzej Hołdys
mgr Marek Krośniak
Biblioteka Jagiellońska
Marek Penszko
dr Marcin Ryszkiewicz

Za treść ogłoszeń redakcja ponosi odpowiedzialność w granicach wskazanych w ust. 2 art. 42 ustawy Prawo prasowe.
Informujemy, że przesłanie listu do redakcji jest równoznaczne z udzieleniem zgody na jego publikację w czasopiśmie wraz z podaniem imienia i nazwiska jego autora, chyba że autor zastrzegł wyraźnie anonimową publikację.
Sprzedaż aktualnych i archiwalnych numerów czasopisma po cenie innej niż wydrukowana na okładce jest działaniem na szkodę wydawcy i skutkuje odpowiedzialnością sądową.

eprasa.pl 807975059e

Jak zostać świętym
(w średniowiecznej Europie)

Dzisiaj o świętości w Kościele katolickim decyduje Watykan, ale... nie zawsze tak było. Projekt prowadzony na Wydziale Historii UW ukazuje, w jaki sposób „produkowano świętych" w średniowiecznej Europie.



Fot. domena publiczna

Miniatura przedstawia św. Hildegardę z Bingen (1098–1179) doświadczającą wizji boskiej, spisywanej pod dyktando przez mnicha Volmara oraz obserwowanej przez jej powiernicę Richardis von Stade.

Jak stwierdza prof. Grzegorz Pac, kierownik projektu, między X a XIII w. dominowały lokalne formy uznawania świętości, prowadzone przez indywidualnych biskupów, synody (czyli ich zgromadzenia), a niekiedy wspólnoty klasztorne.

Każdy może świętym być?

Nie ma jednego „przepisu" na świętego. Pierwszymi świętymi byli męczennicy. We wczesnym średniowieczu model świętości był jednak bardzo zmonastycyzowany. Świętymi zostawali mnisi, albo ludzie, którzy żyli jak mnisi. Później pojawiły się także inne modele. Istniały też elementy niezbędne: musiał funkcjonować kult i musiały się dziać cuda związane z daną osobą. Świadczyły one nie tylko o tym, że jest zbawiona, ale również że może pełnić funkcję pośrednika w kontaktach z Bogiem. Ważną rolę odgrywały też relikwie.

– *Istniało przekonanie, że święci nie powinni być pogrzebani w ziemi, ale w sarkofagach wyniesionych nad ziemię albo w relikwiarzach* – tłumaczy prof. Grzegorz Pac. Podczas uroczystej ceremonii (zwanej elewacją) otwierano więc grób, wydobywano relikwie i umieszczano w godniejszym miejscu, np. w relikwiarzu na ołtarzu. Poza cudami takimi jak uzdrowienia były też inne dowody potwierdzające autentyczność relikwii. Standardowym motywem w tekstach hagiograficznych jest idealny stan ciała po śmierci. Mogły się pojawiać np. znaki na grobie. – *Opisany przez jednego z badaczy sposób uznawania świętości polegał na ordaliach relikwii. Chodzi o to, że relikwie poddaje się próbie. Jeśli ją przejdą, to jest dowód, że nie są sfałszowane, a ten ktoś jest świętym* – dodaje historyk z UW. Próba mogła polegać na podpaleniu – jeśli relikwie nie płonęły, uznawano je za prawdziwe.

Vox populi, vox dei

– *Początki kultu świętych są związane z zasadą vox populi, vox dei. Lud wybiera świętego i dopiero później pojawia się myśl, że to jednak należy kontrolować. Kult jest potrzebny, żeby doszło do wyniesienia na ołtarze. Natomiast inicjatywa przede wszystkim stoi po stronie instytucji, które są w posiadaniu ciała świętego* – mówi prof. Grzegorz Pac.

Znane są przypadki świętych czczonych lokalnie, którzy nigdy nie dostali „stempla" papieskiego, jak św. Edward Męczennik, król Anglii zamordowany w 978 r. Wielu biskupów, opatów czy pustelników otaczano kultem, który ograniczał się do konkretnego regionu lub klasztoru.

Nie oznacza to, że papiestwo odrzuciło takich świętych. Najczęściej po prostu nigdy nie starano się dla nich o papieską aprobatę. Papieska rola w formalizacji kultów z czasem zmieniała się jednak i stawała coraz istotniejsza.

Pijany święty

W całym procesie uczestniczyła również władza świecka. Istniała nawet tradycja, sięgająca czasów późnokarolińskich, że władca był jedyną osobą świecką dopuszczoną do dotykania relikwiarza. Kult mógł mieć wpływ nie tylko na religię, ale i politykę. Wystarczy przywołać przykład św. Wojciecha, który zginął jako misjonarz w Prusach w 997 r., a którego ciało Bolesław Chrobry sprowadził do Gniezna. Podniósł tym samym prestiż młodego państwa polskiego.

– *Kanonizacja kształtuje się od końca X w., kiedy po raz pierwszy w sprawie Ulryka z Augsburga, zapytano papieża o kwestię uznania świętości. (...) Pod koniec XII w. papież Aleksander III wysłał do biskupów Szwecji słynny list, w którym mowa jest o tym, że lokalne wspólnoty nie mogą już decydować samodzielnie o ustanowieniu kultu. Bo papież się zaniepokoił, że lokalna społeczność chciała czcić kogoś, kto umarł w stanie upojenia alkoholowego* – opowiada prof. Grzegorz Pac.

Później tekst tego listu został włączony do przepisów papieskich za czasów Grzegorza IX, na początku XIII w. Od tej pory zgodnie z papieskimi przepisami uznanie kultu wymagało zgody papieża. Tyle że długo pozostawał to w dużym stopniu przepis na papierze.

Katalog uznawania świętości

O unikalności projektu historyków UW decyduje fakt, że założyli sobie ukazanie kanonizacji na szerokim tle lokalnych translacji czy innych form uznawania świętości, które często są zupełnie nieznane i w badaniach nieobecne.

W ramach realizowanego na UW projektu powstanie także narzędzie cyfrowe – Sainthood Recognition Catalogue – które pozwoli udokumentować przypadki uznawania świętości, stworzyć ich możliwie kompletną listę i przyjrzeć się zachodzącym między nimi relacjom.

UNIWERSYTET WARSZAWSKI | SERWIS NAUKOWY

Artykuł jest częścią cyklu poświęconego badaniom realizowanym na Uniwersytecie Warszawskim.

eprasa.pl 807975059e



Gotowy na fibermaxxing?

Powinniśmy zwiększyć ilość błonnika w pożywieniu, jednak nasz jelitowy mikrobiom może na tym nie skorzystać

LORI YOUMSHAJEKIAN

WIDZISZ, JAK NA TWOIM ulubionym kanale w mediach społecznościowych ktoś przygotowuje „śniadanie wspomagające wypróżnienie ” – z jogurtu z mnóstwem otrębów i korzeniem cykorii. Ktoś inny zajada się zmiksowanymi surowymi warzywami.

Tak wygląda „fibermaxxing” – nazywany przez niektórych żartobliwie „poopmaxxing” (maksymalizowanie ilości stolca). Polega na przyjmowaniu możliwie jak największych ilości błonnika. Dieta bogata w błonnik wiąże się z mniejszym ryzykiem m.in. chorób serca, problemów trawiennych i niektórych nowotworów – a skoro niewielka ilość błonnika daje korzyści, to duża powinna tym bardziej? Niektórzy starają się przyjąć przynajmniej 60 g błonnika dziennie. To znacznie przewyższa zalecenia USDA – od 25 do 28 g, w zależności od płci i wieku. Większość Amerykanów spożywa go wyraźnie mniej – 10–15 g. Dlatego zdaniem ekspertów trudno ten trend odrzucać, jednak korzyści mogą być różne w zależności od tego, w jaki sposób odżywialiśmy się do tej pory.

Błonnik odgrywa ważną rolę. Jest to grupa związków pochodzenia roślinnego, których enzymy człowieka nie trawią. Przechodzi więc on zasadniczo niezmieniony do okrężnicy, gdzie rozkładają go bakterie na drodze fermentacji. W procesie tym powstają krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe (short-chain fatty acids, SCFA), konieczne dla utrzymania zdrowia. Na przykład należący do grupy SCFA propionian wiąże się z niższym stężeniem cholesterolu we krwi i wzmaga uczucie sytości, a maślan jest głównym źródłem energii dla komórek wyścielających okrężnicę.

Jedząc błonnik, karmimy bakterie w jelitach. Jeśli mikroorganizmy jelitowe nie mają błonnika, „zaczynają dosłownie zjadać gospodarza”, wygryzając wyściółkę jelit, mówi Erica Sonnenburg, mikrobiolożka ze Stanford University, która bada wpływ diety na jelita. Kiedy dochodzi do naruszenia bariery śluzowej i w konsekwencji niszczenia komórek okrężnicy, organizm uruchamia odpowiedź immunologiczną, co prowadzi do rozwoju przewlekłego utajonego stanu zapalnego, typowego dla mieszkańców Zachodu, manifestującego się na przykład chorobami zapalnymi jelit, otyłością czy cukrzycą typu 2. A ponieważ dieta uboga w błonnik oznacza niższą liczebność bakterii wytwarzających SCFA, bariera śluzowa ma mniejszą zdolność do samonaprawy. Robi się błędne koło – osłabienie bariery jelitowej i przewlekły stan zapalny się nasilają.

„W świecie uprzemysłowionym wszyscy mają ubogi mikrobiom” – mówi Sonnenburg. Częściowo jest to skutek przewlekłego niskiego spożycia błonnika. Jednak fibermaxxing nie rozwiąże tego problemu, jeśli już on wystąpił. W 2021 roku Sonnenburg wraz z innymi badaczami wykazała, że u osób, które dwukrotnie zwiększyły spożycie błonnika, po czterech miesiącach takiej diety nie zaobserwowano wzrostu różnorodności mikrobiomu. Ponadto w stolcu uczestników badania stwierdzono niesfermentowaną żywność, co świadczyło, że ich mikrobiom nie radził sobie z rozkładaniem pokarmu. W grupie przyjmującej dużo błonnika nie doszło także do obniżenia stężenia żadnego z 19 obserwowanych białek zapalnych.

Jednak osoby, które od początku miały zróżnicowany mikrobiom, „odniosły wyraźne korzyści – mówi Sonnenburg – uzyskując wyciszenie stanu zapalnego w organizmie”. Pozostali mogą wykorzystywać różne metody zwiększania różnorodności bakterii w jelitach. U uczestników badania, którzy stosowali dietę opartą na produktach wysoce sfermentowanych, zróżnicowanie drobnoustrojów było większe. Dochodziło u nich także do spadku stężenia wszystkich markerów stanu zapalnego.

Reakcja na błonnik może również zależeć od tego, jakie rodzaje bakterii dominują w naszych jelitach. Do głównych ich grup należą bakterie z rodzaju *Prevotella*, występujące częściej u osób spożywających dużo pokarmów roślinnych i błonnika, oraz *Bacteroides*, obserwowane częściej u osób stosujących typową dla krajów zachodnich dietę, zawierającą dużo produktów pochodzenia zwierzęcego. W jednym z badań sprawdzano, jak poszczególne typy reagują na trzy różne rodzaje błonnika w diecie: fruktooligosacharydy, czyli błonnik pochodzący z pokarmów takich, jak cykoria czy cebula, oraz dwa arabinoksylany, czyli błonnik pozyskiwany z sorgo i z otrębów kukurydzianych. Bakterie z rodzaju *Prevotella* wytwarzały w odpowiedzi we wszystkich przypadkach większą ilość dobroczynnych SCFA. Reakcja drobnoustrojów z rodzaju *Bacteroides* była różna.

W małym badaniu z 2025 roku stwierdzono, że spożywanie przez tydzień błonnika w postaci arabinoksylanu redukowało odczuwanie głodu u osób, w których

Lori Youmshajekian jest dziennikarką naukową zajmującą się tematyką zdrowia, kwestiami środowiskowymi oraz naukowymi nadużyciami. Pisała między innymi dla „National Geographic” i „Wired”.

Ilustracja Jay Bendt

eprasa.pl 807975059e

mikrobiomie dominowały *Prevotella*. Nie uzyskano natomiast takiego efektu u osób z dominacją *Bacteroides*, mimo że w obu typach mikrobiomu wzrosło wytwarzanie propionianu. Z kolei w badaniu przeprowadzonym w 2024 roku stwierdzono istotną korelację pomiędzy obfitością bakterii *Prevotella* w jelitach a poziomem propionianu – SCFA związanego z regulacją metabolizmu oraz z odczuwaniem sytości.

Powinniśmy jednak zachować ostrożność i nie skupiać się zanadto na podziale *Prevotella*/*Bacteroides,* mówi Eric Martens, mikrobiolog z University of Michigan. Zwraca uwagę, że ich związki z korzyściami dla zdrowia opierają się na badaniu korelacji, nie znamy natomiast związków przyczynowo-skutkowych. Ważne jest przyjmowanie błonnika pochodzącego z różnorodnych źródeł. Błonnik to nie jeden związek, ale zróżnicowana grupa związków odżywczych o różnej strukturze chemicznej i różnym stopniu rozpuszczalności. Każdy typ wymaga do rozkładu innych enzymów. „Jeśli spożywamy zróżnicowaną mieszankę różnych typów błonnika, to przynajmniej niektóre z nich okażą się dopasowane do posiadanych przez nas drobnoustrojów" – mówi Sonnenburg.

Właśnie ten błąd popełnią zwolennicy fibermaxxingu, jeśli będą zbyt mocno polegać na inulinie i błonniku z korzenia cykorii. To tani i wysoce rozpuszczalny błonnik, zawarty w prebiotycznych napojach gazowanych, batonikach i jogurtach, reklamowanych jako bogate w błonnik. Ponieważ ulega on tak szybkiej fermentacji, przy dawce około 20 g dziennie może powodować dolegliwości ze strony przewodu pokarmowego, mówi Martens. Zbyt duża ilość błonnika ogółem może prowadzić do podobnych skutków. Nawet łuski nasion babki płesznik u jednych osób sprawdzają się dobrze, a u innych wywołują bolesne wzdęcia. „Trzeba obserwować swój organizm – radzi Sonnenburg. – Każdy ma inny mikrobiom, dlatego trudno o uniwersalne zalecenia.".

Dobroczynne działanie błonnika to raczej efekt tego, jak żywimy się przez całe życie, a nie przemijającej mody. Martens zaleca stopniowe zwiększanie jego spożycia aż do osiągnięcia około 35 g dziennie, raczej poprzez spożywanie produktów nieoczyszczonych niż suplementów lub wzbogacanej żywności. Przy tej dawce powinniśmy pozostać na stałe, a jelita się dostosują. ■

Przyszłość Księżyca

Księżyc nieustannie towarzyszy Ziemi. Ale czy tak będzie zawsze?

PHIL PLAIT

Ilekroć widzę Księżyc na niebie, odczuwam radość. Nasz naturalny satelita jest nam tak dobrze znany, że łatwo traktować go jako coś zwyczajnego, lecz w istocie stanowi on niesamowity widok. Na jego tarczy widnieją znamiona przeszłych wydarzeń – ogromne ciemne plamy wskazują miejsca, w których pradawne, gigantyczne uderzenia pozostawiły blizny, widoczne nawet po miliardach lat.

Ale jaki czeka go los? Co stanie się z Księżycem za wiele eonów? Jego przyszłość zależy od tego, jak doszło kiedyś do jego powstania, tego, jak jest grawitacyjnie powiązany z Ziemią, i ostatecznie tego, co na ten temat ma do powiedzenia Słońce.

Generalny obraz pochodzenia Księżyca jest dość dobrze ustalony. Kilkadziesiąt milionów lat po powstaniu Ziemi duży obiekt wielkości planety zadał naszemu światu boczny cios, który spowodował wyrzucenie ogromnych ilości materiału w przestrzeń kosmiczną. Następnie materia ta – pochodząca zarówno z Ziemi, jak i ciała uderzającego – połączyła się w jedną bryłę, tworząc Księżyc.

Początkowo Księżyc znajdował się niezwykle blisko Ziemi, w odległości około 20 tys. km – znacznie mniejszej, niż wynosi jego obecna odległość wynosząca średnio 380 tys. km. Musiał się wydawać się ogromny na tle ziemskiego nieba, mając około 10 stopni średnicy – co odpowiada średnicy pięści wyciągniętej przed siebie ręki.

Sytuacja ta rychło jednak uległa zmianie. Grawitacja Ziemi wywoływała na pobliskim Księżycu potężne siły pływowe. Krótko mówiąc, siła ciążenia gwałtownie słabnie wraz z odległością. Oznacza to, że bliższa strona Księżyca odczuwa silniejsze oddziaływanie grawitacyjne niż strona bardziej oddalona. Ta zmiana siły na całej średnicy Księżyca wynoszącej 3400 km powoduje, że nasz satelita z kulistego przybiera kształt lekko jajowaty, z wybrzuszeniami skierowanymi w stronę Ziemi zarówno po stronie bliższej, jak i dalszej.

Bezpośrednio po powstaniu Księżyc obracał się bardzo szybko, a z powodu bezwładności ten obrót przesuwał wybrzuszenia pływowe nieco przed wyobrażoną prostą linię łączącą go z Ziemią. Grawitacja naszej planety przyciągała jednak te wybrzuszenia, próbując je ponownie zniwelować. Spowalniało to obrót Księżyca, wydłużając jego „dzień" – a część utraconej w ten sposób energii ulegała przeniesieniu na jego ruch orbitalny, w wyniku czego Srebrny Glob odsuwał się od Ziemi. Odsuwanie to początkowo przebiegało dość szybko, ale osłabło, gdy Księżyc oddalił się, a siły pływowe się zmniejszyły. Ostatecznie obrót Księżyca zwolnił tak, że jego czas zrównał się z czasem potrzebnym na wykonanie jednego obiegu wokół Ziemi. Zjawisko to nazywa się synchronizacją pływową i właśnie dlatego dziś widzimy zasadniczo tylko jedną stronę Księżyca.

Jednak Księżyc wywiera z kolei siły pływowe na Ziemię, powodując powstanie dwóch wybrzuszeń na powierzchni planety. Obrót Ziemi również powoduje ich przesunięcie, a Księżyc, oddziałując na nie, stopniowo spowalnia obrót Ziemi. Tak więc nasz dzień się wydłuża… ale zaledwie o około dwie milisekundy na stulecie, więc nie ma potrzeby przestawiania zegarka. Niemniej jednak efekt ten przyczynia się do poszerzania orbity Księżyca, tak że nawet dzisiaj, miliardy lat po powstaniu, Księżyc oddala się od Ziemi w tempie około czterech centymetrów rocznie.

Jeśli połączymy to wszystko, prognozowanie przyszłości Księżyca wydaje się proste – będzie on się oddalał coraz to wolniej, aż w końcu obrót Ziemi zrówna się z okresem orbitalnym Księżyca. Odtąd Ziemia zawsze będzie zwrócona tą samą stroną ku Księżycowi, a dla obserwatora na powierzchni naszej planety Księżyc nie będzie wschodził ani zachodził, pojawiając się stale w tym samym miejscu na niebie.

To znaczy, jeśli w ogóle do tego dojdzie. Proces ten trwałby miliardy lat, a my możemy nie mieć aż tyle czasu.

Dominującą rolę w tym wielkim procesie grawitacyjnym

Phil Plait jest profesjonalnym astronomem i popularyzatorem nauki z Wirginii. Publikuje biuletyn „Bad Astronomy". Można go śledzić na Beehiiv.

eprasa.pl 807975059e



Na zdjęciu, wykonanym przez astronautów podczas wokółksiężycowej misji NASA Artemis II w kwietniu 2026 roku, widać sierp Ziemi zachodzący za odwrotną stroną Księżyca.

NASA

odgrywają ziemskie oceany. Pochłaniają większość energii pochodzącej z sił pływowych Księżyca, wytwarzając w wyniku falowania tarcie, które spowalnia obrót Ziemi. Jednak oceany nie będą istnieć wiecznie.

Słońce nieustannie się rozgrzewa. Jest to naturalna konsekwencja sposobu, w jaki nasza gwiazda wytwarza energię poprzez syntezę wodoru w hel. Helowy „popiół" gromadzi się w jądrze Słońca, ulegając sprężeniu i stając się coraz gorętszy, co sprawia, że Słońce świeci jaśniej, a tym samym coraz bardziej ogrzewa Ziemię. Za około miliard lat spowoduje to, że temperatura Ziemi wzrośnie tak bardzo, że oceany dosłownie wyparują, pozostawiając po sobie wyschnięty, jałowy świat.

Oprócz oczywistych problemów, jakie te okoliczności stworzą dla życia na Ziemi, brak oceanów radykalnie zahamuje wszelkie dalsze procesy pływowe. Odsuwanie się Księżyca ulegnie spowolnieniu, podobnie jak zmiany prędkości obrotowej Ziemi, co wydłuży skalę czasową o wiele miliardów lat – czas, którego Słońce już nie będzie miało.

Za 6-7 mld lat Słońcu wyczerpie się zapas wodoru w jądrze i napęcznieje ono, stając się czerwonym olbrzymem. Naukowcy spierają się, czy ekspanduje tak, by pochłonąć Ziemię, ale w tym kontekście nie jest to zbytnio istotne; Księżyc i Ziemia ulegną spaleniu, a ostateczny los pływowy naszego nieodłącznego księżycowego towarzysza będzie najmniejszym z naszych problemów.

W końcu Słońce odrzuci swoje zewnętrzne warstwy, tracąc około połowy masy, a odsłonięte jądro stanie się białym karłem, powoli stygnącym przez miliardy lat. Nie jest to jednak koniec historii pływów – Słońce również wywołuje pływy na Ziemi, a ich obecna siła wynosi około połowy siły pływów księżycowych. Fizyka oddziaływania pływów słonecznych na układ Ziemia-Księżyc w odległej przyszłości jest jednak dość skomplikowana i nie w pełni zrozumiała. Utrata masy Słońca oznacza, że skutki te także będą mniejsze.

Nie będziemy wtedy mieli wiele do roboty; na przestrzeni eonów pływy Słońca jako białego karła przypuszczalnie zdestabilizują orbitę Księżyca, odrywając go od Ziemi lub potencjalnie doprowadzając do jego kolizji z naszą planetą. Tak czy inaczej, w tym momencie nie będzie to miało większego znaczenia dla naszego wypalonego świata.

Co zatem się stanie? Być może po prostu musimy poczekać, by się przekonać. Sytuacja ta nastąpi dopiero za dziesiątki miliardów lat, co w potencjalnie nieskończonej przyszłości Wszechświata jest jak pojedyncze tyknięcie kosmicznego zegara. Lepiej cieszmy się widokiem Księżyca teraz, póki jeszcze możemy. ■

eprasa.pl 807975059e

10. rocznica powstania niszowej perfumerii Impressium stała się okazją do współpracy z marką Bergamoss. W jej wyniku, wyłącznie na polski rynek, powstały perfumy Nectarine et Cuir.

Celem było stworzenie perfum skórzanych, które nie będą powielać schematów i staną się początkiem nowego podejścia do kreacji tego typu akordów w świecie zapachów. W roli głównej wykorzystano tu zatem specjalnie wybrany absolut labdanum, który połączono z papirusem i molekułą Z11 10 MIP.



Żywica labdanum

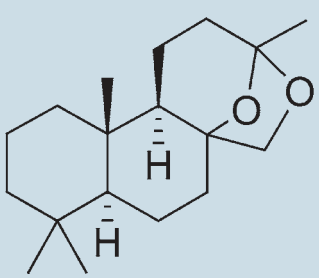
Jednocześnie są to perfumy, które przemycają akord owocowy. Pierwotnie interpretację nektaryny Bergamoss poznaliśmy w zapachu Nettarina Frizzante, ale na potrzeby nowej kompozycji został on zmieniony. Z tego też powodu w nazwie znajdziemy „nectarine", a nie „nettarina".

Nectarine et Cuir to perfumy eleganckie, wytworne wręcz, które przedstawiają dymny akord skóry ze sznytem francuskiego wysublimowania. Czuć jednocześnie, że to skóra czarna, gruba, przeszyta aromatem drewna i żywic. Vaclav Lebeda – nos marki Bergamoss – nadał jej niespotykanej, mrocznej głębi, ale bez wejścia w tony zwierzęce czy turpistyczne. Od samego początku po najgłębszą bazę kompozycja utrzymuje swoją wartość i poziom dystynkcji.



Václav Lebeda *jest perfumiarzem i twórcą marki Bergamoss; jego debiutanckie zapachy - Pivoine de Malene oraz Nettarina Frizzante - odniosły spektakularny sukces, ponieważ przedstawiają przyjemne i znane nuty w nowatorski i ciekawy sposób; kompozycje perfumiarza zostały docenione przez międzynarodowe media z Vogue, Elle i Forbes na czele.*

Z11 10 MIP *- molekuła stworzona przez profesora Leopolda Ružičkę na Politechnice Federalnej w Zurichu dla Firmenich; ma ambrowy aromat z nutami suchego drewna i metalu; pobudza również nerw trójdzielny, co sprawia, że może generować niezwykle bogate odczucia; pierwotnie była wytwarzana z substancji pochodzących z drzewa Manao rosnącego wyłącznie w Nowej Zelandii*





Bergamoss Nactarine et Cuir
(ekstrakt perfum, 50 mL, impressium.pl oraz perfumerie w Warszawie, Łodzi i Poznaniu)

Odnajdziemy w niej też tony nostalgii, które mogą przywoływać obraz skórzanego płaszcza noszonego w dżdżysty dzień. Gdzieś z oddali dochodzi bardzo subtelna struga dymu palonych liści, która miesza się z deszczem. Zapach jest przy tym dość chłodny jak założony na gołe ciało płaszcz z satynową podszewką.

Przedstawiony owoc – nektarynka – to owoc dojrzały, ogrzany jesienny słońcem, ze skórką już niemal pomarszczoną i dużą, zdrewniałą pestką. Można powiedzieć, że czuć też zasuszony liść i zdrewniałą gałązkę, na której jeszcze znajduje się owoc.

Bardzo ciekawie skomponowano w tych perfumach bazę. Oprócz olejku z papirusu, paczuli i labdanum do formuły dołączono molekułę Z11 10 MIP, która należy do związków ambrowych, ale ma też akcenty suchego drewna oprawionego w metal. Stąd baza **Nectarine et Cuir** zachwyca swoją głębią i charakterem. Ma też absolutnie zjawiskowo parametry użytkowe (trwałość i projekcję).

MARCIN BUDZYK-WERMIŃSKI
jest chemikiem i inżynierem oraz niezależnym ekspertem perfumeryjnym, autorem najpopularniejszego bloga o perfumach w Europie – nezdeluxe.pl. Publikował w polskich i zagranicznych edycjach Harper's Bazaar, Elle czy L'Officiel. Ukończył Technologię Chemiczną na Politechnice Warszawskiej.

eprasa.pl 807975059e

SKANER

EKOLOGIA

Życie we mgle

Naukowcy odkrywają tajemnice powietrznego mikrobiomu

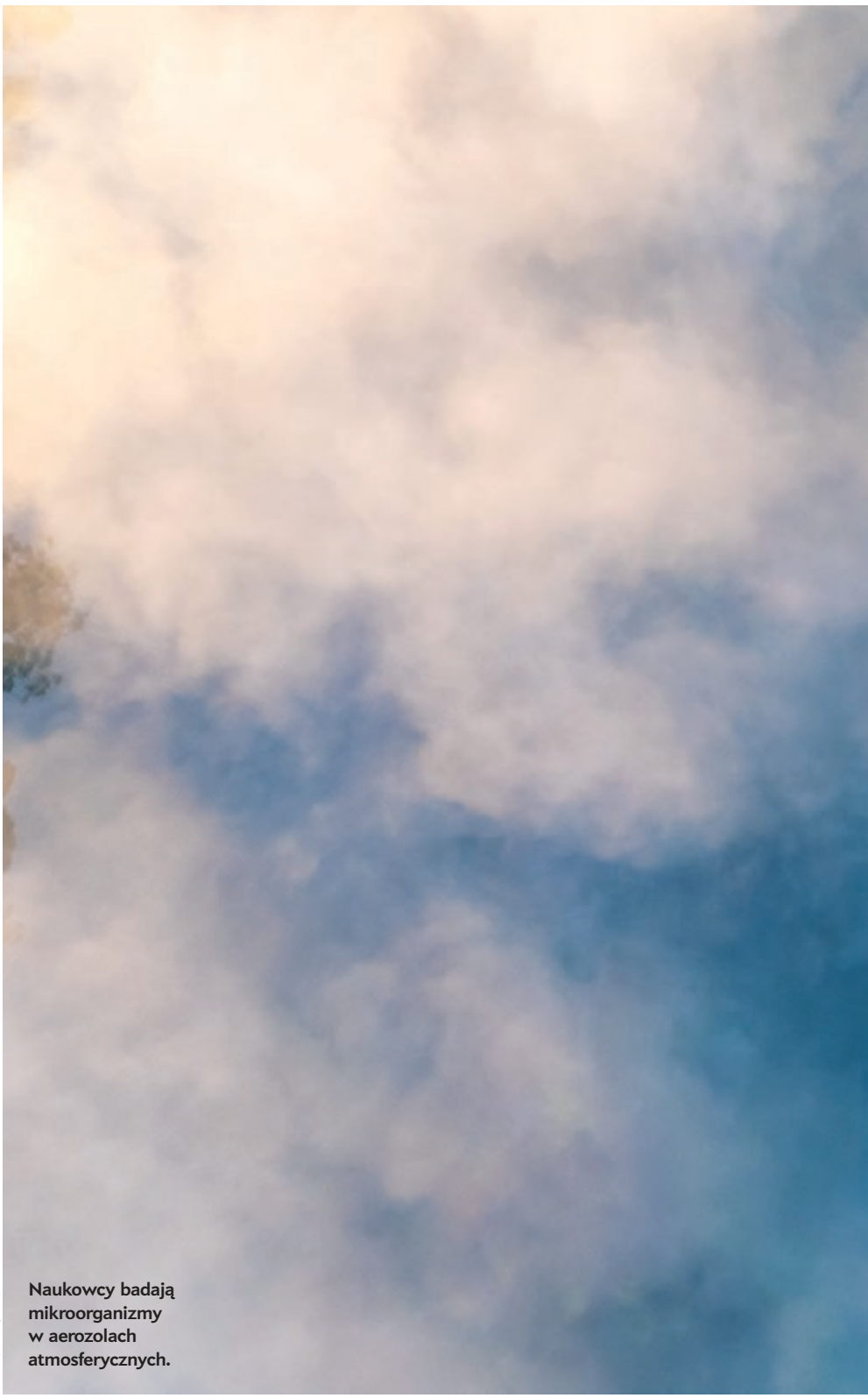
MGŁA MA NIESAMOWITY, tajemniczy urok – w niezwykły sposób wpływa na to, jak ludzie postrzegają swoje otoczenie – a naukowcy odkrywają, że to zjawisko atmosferyczne może również zmieniać sposób, w jaki mikroorganizmy doświadczają swojego środowiska.

Ekologowie postrzegali dotychczas mgłę przede wszystkim jako źródło rozpaczliwie potrzebnej wilgoci dla mieszkańców pustyń, a także jako środek transportu składników odżywczych i mikroskopijnych organizmów. Bardzo niewielu badaczy brało pod uwagę, że sama mgła może być potencjalnym siedliskiem, a nawet całym ekosystemem.

„Społeczność naukowa od dawna wie, że w atmosferze znajduje się mnóstwo mikroorganizmów – mówi Ferran Garcia-Pichel, mikrobiolog z Arizona State University. – Ale czy atmosfera jest tylko środkiem ich transportu, czy też mikroorganizmy rzeczywiście są w powietrzu aktywne i coś tam robią? To zasadniczo odmienne pytanie, ponieważ w tym drugim przypadku atmosfera staje się siedliskiem".

Garcia-Pichel jest współautorem badań opublikowanych w czasopiśmie „Environmental Microbiology", w których analizowano aktywność mikroorganizmów w wodzie pochodzącej z mgły zebranej w pewnym miejscu w Pensylwanii. Naukowcy odkryli bakterie żywiące się prostymi związkami węgla obecnymi w cieczy, a także stwierdzili, że po wystąpieniu mgły liczba bakterii była większa niż przedtem – co świadczy, że mikroorganizmy rzeczywiście się rozmnażają. „Być może wzrost jest powolny, ale jest również powolny w Arktyce z powodu niskiej temperatury, a nikt przecież nie kwestionuje, że jest to siedlisko".

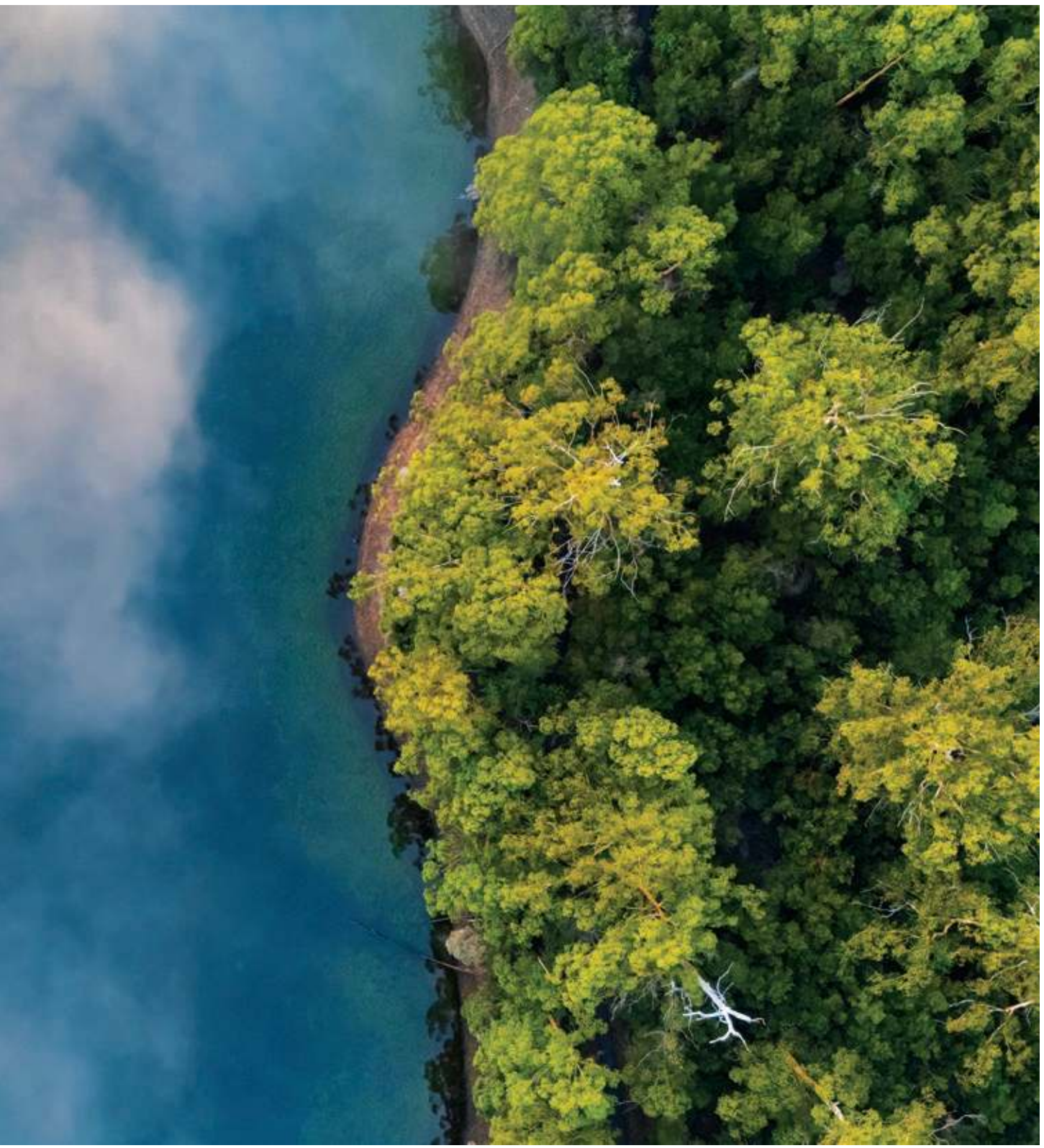
Badacza i jego współpracowników szczególnie zaintrygowały konkretne bakterie, które znaleźli we mgle – znane gatunki, często występujące na roślinach i w glebie. „Są naprawdę kolorowe



Justin Paget/Getty Images

Naukowcy badają mikroorganizmy w aerozolach atmosferycznych.

eprasa.pl 807975059e



eprasa.pl 807975059e

– różowe albo czerwone” – mówi; zawarte w nich barwniki chronią je również przed światłem, więc mogą pełnić funkcję ochronną przed niszczycielskim promieniowaniem w atmosferze. Bakterie te mają jeszcze jedną interesującą cechę: metabolizują formaldehyd. Jest to rzadka umiejętność, której ślady badacze wykrywają w wodzie pochodzącej z mgły. (Przetwarzanie związków takich, jak formaldehyd, zawierających tylko jeden atom węgla, jest trudniejszym zadaniem niż rozkład powszechnie występujących, bogatych w węgiel cukrów – wymaga bowiem specjalnego aparatu komórkowego).

Zdaniem Eli Duekera, mikrobiologa środowiskowego z Bard College, który nie brał udziału w tych badaniach, odkrycie to stanowi ważny krok w rozwijającej się dziedzinie mikrobiologii mgły.

„Badanie naprawdę przenosi tę dziedzinę na kolejny poziom i pokazuje, że mikroorganizmy te metabolizują co najmniej formaldehyd i zmieniają chemię atmosfery – mówi. – Może to być zjawisko bardziej ulotne czy tymczasowe niż, powiedzmy, wyspa, ale krople mgły tworzą maleńkie mikrosiedliska”.

Mgła pojawia się, zanika i przemieszcza, zupełnie nie przejmując się eksperymentami naukowców, a bakterie trudno jest śledzić. „Nie można oznakować mikroorganizmów w taki sam sposób, jak zakłada się obrożę ptakowi” – mówi Sarah Evans, ekolożka mikroorganizmów z Michigan State University, która wraz z Duekerem opublikowała wcześniej badania poświęcone śledzeniu morskich mikroorganizmów we mgle nad wybrzeżami Namibii i Maine.

Mimo to naukowcy intensywnie pracują nad tym, by przyjrzeć się mgle pod mikroskopem. Dobrym przykładem są badania opublikowane na początku tego roku w „Communications Earth & Environment”, w których zidentyfikowano mikroorganizmy żyjące we mgle w amazońskim lesie deszczowym. Badania prowadzono w obiekcie zwanym Amazon Tall Tower Observatory, placówce o wysokości zbliżonej do wysokości Wieży Eiffla. Widok jest oczywiście niesamowity. „Jest pięknie; to zielony ocean – mówi Ricardo Godoi, chemik z Federal University of Paraná w Brazylii i współautor badań. – Widać tylko zielony dywan. To wspaniałe”.

Na potrzeby tych badań naukowcy wspięli się na sam szczyt obserwatorium, wysoko ponad otaczający je las, aby pobrać próbki porannej mgły. Udało im się zebrać wodę podczas aż 13 różnych epizodów mgłowych. W próbkach tych naukowcy zidentyfikowali ponad tuzin różnych gatunków grzybów i bakterii. Z badań wielu tradycyjnych ekosystemów wiadomo, że drobnoustroje te odgrywają ważną rolę w obiegu składników odżywczych i rozkładzie martwej materii, choć badania nie pozwoliły potwierdzić, czy w mgle również pełnią te funkcje.

Być może nie dostrzegaliśmy dotąd, z powodu antropocentrycznej perspektywy, że mgła może być dość przytulnym siedliskiem dla mikroorganizmów. „Życie w kropli mgły może być całkiem niezłym życiem – mówi Evans. – Jesteś chroniony przed słońcem, masz wilgoć, a być może również inne składniki odżywcze”.

Na razie wyniki badań identyfikujących mikroorganizmy we mgle pozostają równie nieuchwytne jak sama mgła – ale naukowcy podkreślają, że odzwierciedla to jedynie ograniczenia dotychczasowych metod. „Ogromnie cieszy mnie to, że pojawia się coraz więcej badań” – mówi Kathleen Weathers, badaczka ekosystemów z Cary Institute of Ecosystem Studies w Millbrook w stanie Nowy Jork, która sama określa się mianem „nestorki” badań nad mgłą. „Myślę, że to dopiero początek”. *Meghan Bartels*

TECHNIKA

Rój robotów

Miniaturowe drony uczą się nawigacji od pszczół

DRONY WIELKOŚCI OWADÓW są zbyt małe, by pomieścić rozbudowane systemy nawigacyjne. Aby pomóc niewielkim autonomicznym maszynom latającym odnajdować drogę powrotną, naukowcy opracowali system o nazwie Bee-Nav, inspirując się zachowaniem pszczół miodnych.

Pszczoła opuszczająca ul najpierw wykonuje krótki lot rozpoznawczy, podczas którego zapamiętuje charakterystyczne punkty w najbliższej okolicy, wyjaśnia Guido de Croon, badacz sztucznej inteligencji i robotyki z Delft University of Technology w Holandii. Gdy owad odlatuje, „śledzi kierunek i prędkość swojego ruchu”, mówi de Croon. Proces ten nazywa się integracją drogi. Ponieważ z czasem mogą kumulować się w nim niewielkie błędy pomiarowe, owad wykorzystuje zapamiętane punkty orientacyjne, aby korygować kurs w drodze powrotnej. Jak opisują de Croon i jego współpracownicy w czasopiśmie „Nature”, zespół odtworzył ten sposób działania.



Pszczoły zapamiętują punkty orientacyjne w pobliżu ula, aby odnaleźć drogę powrotną.

Darwin Fan/Getty Images

Najpierw dron wykonuje podobny do pszczelego lot rozpoznawczy wokół miejsca startu, wykorzystując maleńką kamerę dookólną do rejestrowania otoczenia. W trakcie lotu korzysta z niewielkiej pokładowej sieci neuronowej, która na podstawie zarejestrowanych obrazów wyznacza wektory powrotu – w praktyce niewidoczne strzałki wskazujące kierunek do miejsca startu. Na tej podstawie ustalana jest bezpieczna strefa, określana jako wyuczony obszar powrotu.

Po zakończeniu treningu dron można wysłać w dowolne miejsce. Podczas powrotu wykorzystuje on integrację

eprasa.pl 807975059e

drogi i wyznacza swoją pozycję na podstawie zmierzonej prędkości i kierunku ruchu. Jeśli znajdzie się gdziekolwiek w obrębie początkowej bezpiecznej strefy, wizualna sieć neuronowa kieruje nim aż do miejsca startu.

Bee-Nav działa na miniaturowym komputerze Raspberry Pi 4 (wielkości karty kredytowej), na którym uruchamiane są sieci neuronowe wymagające od zaledwie 3,4 do 42,3 kB pamięci. Dla porównania konwencjonalne systemy mapowania terenu potrzebują jej tysiące razy więcej.

Podczas prób przeprowadzonych w terenie roboty potrafiły wrócić do miejsca startu z odległości nawet 600 m mimo porywów wiatru i oślepiających refleksów światła słonecznego.

„Szczególnie fascynuje mnie to, jak niewiele mocy obliczeniowej jest do tego potrzebne – mówi Sarah Bergbreiter, inżynier mechanik z Carnegie Mellon University, która nie brała udziału w badaniu. – W przypadku niewielkich robotów, nad którymi pracuje m.in. moja grupa, takie podejście sprawia, że ich rzeczywiste wykorzystanie w terenie staje się możliwe".

De Croon i jego zespół wciąż pracują nad rozwiązaniem kilku problemów związanych z systemem, m.in. nad poruszaniem się między wieloma zapamiętanymi miejscami oraz radzeniem sobie z miejscami startu pozbawionymi punktów orientacyjnych.

„Platformy wykorzystujące Bee-Nav będą również potrzebowały lokalnego systemu unikania przeszkód i planowania trasy, jeśli środowisko będzie zatłoczone lub dynamiczne" – mówi Sean Humbert, inżynier mechanik z University of Colorado Boulder, który nie brał udziału w badaniu.

Jednak już teraz, jak mówi de Croon, Bee-Nav może pomóc zmniejszyć rozmiary autonomicznych dronów przeznaczonych do lotów na zewnątrz i istotnie ograniczyć ich zapotrzebowanie na energię.

„Z łatwością moglibyśmy zastosować ten system w dronie o masie 50 g, a nawet 30" – twierdzi de Croon. Dalsze zmniejszenie autonomicznych maszyn do rozmiarów prawdziwych pszczół wymagałoby jednak rozwiązania innych fundamentalnych problemów, takich jak miniaturyzacja baterii. „Mamy jednak nadzieję, że kiedy w dłuższej perspektywie uda się rozwiązać te problemy, będziemy już mieli gotowy system inteligentnego sterowania, który sprosta takim wymaganiom" – mówi de Croon. *Jacek Krywko*

Jeffrey S. Groh

GENETYKA

Rytmiczna zmiana ról

Drzewa awokado codziennie zmieniają płeć i teraz już wiemy dlaczego



Kwiaty awokado w fazie żeńskiej

KAŻDEJ WIOSNY kwiaty drzew awokado (*Persea americana*) odgrywają niezwykły spektakl: drzewa codziennie zmieniają płeć – z żeńskiej na męską albo z męskiej na żeńską, a następnie znów ją zmieniają przed nadejściem kolejnego poranka.

Botanik A. B. Stout zaobserwował tę strategię rozmnażania już w 1927 roku, ale dopiero teraz naukowcom udało się wyjaśnić, jak ona działa.

Wszystkie drzewa awokado są obupłciowe, czyli hermafrodytyczne – oznacza to, że na jednej roślinie występują organy rozrodcze obu płci. U drzew typu A kwiaty rano znajdują się w fazie żeńskiej (przyjmują pyłek), a następnego dnia po południu przechodzą w fazę męską (wytwarzają pyłek). Drzewa typu B funkcjonują według innego rytmu: rano są w fazie męskiej, a po południu – w żeńskiej.

W badaniu opublikowanym w „Proceedings of the National Academy of Sciences USA" Jeffrey S. Groh, badacz odbywający staż podoktorski na University of California w Berkeley, wraz ze współpracownikami odkrył pojedynczy gen kodujący białko (nazwany *SDMYB*) , który pozwala drzewom typu A i B dziedziczyć zdolność do zmiany płci. Wytwarzane przez ten gen białko aktywuje szereg kolejnych genów, które koordynują otwieranie się i zamykanie kwiatów w odpowiednim rytmie, wspomagając strategię rozmnażania drzew i sprawiając, że „całe drzewo przechodzi rytmicznie z fazy żeńskiej w męską albo z męskiej w żeńską", tłumaczy Groh.

Cathy Rushworth, genetyczka ewolucyjna roślin z Utah State University, która nie brała udziału w badaniu, mówi, że badany region genomu daje w tych pracach bardzo wyraźny sygnał – niemal tak, jakby „świecił w ciemności". Dodaje, że dopiero niedawno narzędzia pozwalające uzyskiwać tak szczegółowe informacje genetyczne stały się dostępne i stosunkowo niedrogie, by można je było szerzej wykorzystywać.

Rośliny kwiatowe, czyli okrytonasienne, stosują ogromną różnorodność strategii rozmnażania. Choć strategia wykorzystywana przez awokado występuje również u kilku innych gatunków z tej samej rodziny, naukowcy ustalili, że w przypadku na przykład odległe spokrewnionego cynamonowca właściwego nie jest ona napędzana przez ten sam mechanizm. Ich zdaniem oznacza to, że strategia ta najprawdopodobniej wyewoluowała niezależnie wiele razy. Dowody genetyczne wskazują, że przodkowie awokado nabyli tej cechy około 40 mln lat temu.

„Dzięki genetyce – mówi Groh – możemy wykryć ślady tego rytmu sięgające odległej przeszłości, co uczy nas pokory – odkrycie przez nas tego pięknego zjawiska jest zaledwie niewielkim wycinkiem jego ewolucyjnej historii". *Jeanne Timmons*

eprasa.pl 807975059e



EWOLUCJA

Jak to jest z tym węchem?

Naukowcy poznają genetyczne podstawy tego zmysłu u ludzi

PODOBNO JAKO GATUNEK tracimy węch. „Nie słabnie on jednak po prostu z upływem czasu – mówi Lian Deng z School of Life Sciences na chińskim Fudan University. – Wciąż kształtują go na nowo styl życia, dieta, a nawet kultura". To główny wniosek z niedawnego badania, którego celem było sprawdzenie, jak genetyczne podstawy ludzkiego węchu zmieniały się w ciągu ostatnich kilku tysięcy lat.

Inspiracją były obserwacje terenowe Hoh Boon-Penga, genetyka z IMU University w Malezji. Zauważył on, jak ważną rolę w codziennym życiu społeczności łowiecko-zbierackich w tym regionie odgrywa węch. Ludzie ci po zapachu rozróżniają zioła, rozpoznają dojrzałe owoce i ustalają, którędy przemieszczały się zwierzęta – potrafią nawet rozpoznać zwierzę na podstawie woni jego moczu. Ich język jest niezwykle bogaty w słownictwo opisujące zapachy, mówi Hoh. Obserwacje te skłoniły Deng do postawienia pytania, czy nieprzerwanie utrzymujące się znaczenie węchu mogło pozostawić wykrywalne ślady w ewolucji genów receptorów węchowych. W badaniu opublikowanym w „Cell Reports" Deng, Hoh i ich współpracownicy przeanalizowali genomy 50 rdzennych mieszkańców Półwyspu Malajskiego i porównali je z genomami innych populacji z całego świata. W badanej grupie znaleźli się przedstawiciele społeczności łowiecko-zbierackich oraz dwóch innych rdzennych społeczności utrzymujących się z rolnictwa.

Wyniki wskazują, że społeczności łowiecko-zbierackie z Półwyspu Malajskiego zachowały pełniejszy zestaw genów receptorów węchowych niż pozostałe badane grupy. W większości populacji na świecie wiele z tych genów z czasem zgromadziło mutacje, wskutek których około 60% z nich utraciło funkcjonalność. U łowców-zbieraczy stwierdzono natomiast znacznie mniej mutacji w genach receptorów węchowych. Zachowane przez nich nienaruszone warianty tych genów są związane z rozpoznawaniem zapachów ziemi, kwiatowych i owocowych – sygnałów często związanych z pożywieniem i innymi zasobami niezbędnymi do przetrwania.

Różnice genetyczne między badanymi populacjami nie ograniczały się do węchu. W jednej z grup zajmujących się uprawą roli naukowcy zidentyfikowali odmienny wariant genu receptora o nazwie *OR12D3*. Wcześniejsze badania powiązały ten gen z wydzielaniem insuliny, co świadczy, że może on odzwierciedlać przystosowanie do diety bogatszej w węglowodany, która pojawiła się wraz z rozwojem rolnictwa.

Zmysł węchu również u współczesnych ludzi jest bardzo zróżnicowany, a znaczna część tych różnic najprawdopodobniej wynika z odmienności genów receptorów węchowych, mówi Hiroaki Matsunami, genetyk molekularny z Duke University, który nie brał udziału w badaniu. Jego zdaniem badanie dostarcza dowodów, że niedawna historia ewolucyjna człowieka mogła pomóc ukształtować te geny.

Jak podkreśla Deng, społeczności łowiecko-zbierackie, od dawna słabo reprezentowane w badaniach genomicznych, zachowały sygnatury genetyczne związane z odległą przeszłością i stały się dzięki temu źródłem nowych przystosowań. „Takie żyjące współcześnie populacje mogą mieć ogromną wartość dla zrozumienia dalekiej historii różnorodności genetycznej człowieka" – dodaje.

Willow Zhang

MATEMATYKA

Jak zwiększyć ryzyko

Matematycy odkrywają najgorsze sposoby wieszania obrazu

SĄ DWA GWOŹDZIE wbite w ścianę i wiszący na sznurku obraz. Po usunięciu jednego gwoździa obraz nadal będzie wisiał na drugim, choć przekrzywiony. Jednak zdaniem matematyków „może być gorzej", bo 1997 w roku A. Spivak sformułował następującą zagadkę: czy jest taki sposób zawieszenia obrazu, że spadnie on po usunięciu dowolnego z dwóch gwoździ? To zainspirowało matematyków do analizy intrygujących problemów związanych z wieszaniem obrazów.

Informatyk Tom Verhoeff po raz pierwszy zajął się tymi zagadnieniami w ramach zajęć z uczniami szkół podstawowych na obozie matematycznym. Eksperymentowano z realnymi rekwizytami, ale też wprowadzano symbolikę (*ilustracja na sąsiedniej stronie*).

W 2012 roku został opublkowany preprint dowodzący istnienia rozwiązań dla każdego problemu typu „k z n" (gdzie n to liczba gwoździ, a usunięcie przynajmniej k dowolnych spowoduje, że obraz spadnie). Znane rozwiązania mogą jednak wymagać skomplikowanych sposobów zapętlania sznurka. Uczestnicy warsztatów Verhoeffa zmierzyli się z problemem „2 z 4" (obraz spada po usunięciu dowolnych dwóch z czterech gwoździ) i zmniejszyli najkrótsze znane wówczas rozwiązanie z 80 do 58 owinięć sznurka wokół gwoździ.

Później Verhoeff zredukował tę liczbę do 18, a z pomocą doktoranta Jensa Heuseveldta oraz przy wykorzystaniu programu komputerowego, sprawdzającego wszystkie prostsze układy, osiągnął absolutne minimum – 16 owinięć. Początkowo Verhoeff pokazał Heuseveldtowi program rozwiązujący problem w blisko dwie godziny. „Powiedziałem mu wtedy, że mój program potrafi rozwiązać to zadanie w dwie sekundy" – wspomina Heuseveldt i dodaje: „a teraz jego program działa szybciej niż mój". Verhoeff opublikował wyniki swoich badań i najkrótsze znane rozwiązania całej gamy tego typu problemów w serwisie preprintów arXiv.org.

Ilustracje Thomas Fuchs

eprasa.pl 807975059e

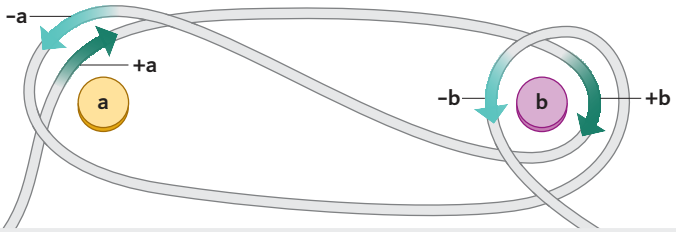
Dlaczego matematycy interesują się takim zawiłym, dziwacznym wieszaniem obrazów? Choć samo sformułowanie problemu brzmi zabawnie, stanowi on zagadnienie ściśle związane z teorią grup, teorią węzłów, teorią grafów i innymi dziedzinami matematyki. Na przykład, rozwiązania wariantu „1 z *n*” można opisać jako pętle poprowadzone wzdłuż krawędzi *n*-wymiarowego sześcianu, przechodzące przez każdy jego wierzchołek. Co więcej, dla każdego „sensownego” zestawu reguł określających warunki upadku obrazu można znaleźć odpowiedni sposób jego zawieszenia; nie można na przykład wymagać, by usunięcie tylko gwoździa A powodowało upadek obrazu, podczas gdy usunięcie gwoździ A i B pozwalałoby mu nadal wisieć. Reguły te odpowiadają dokładnie monotonicznym funkcjom boolowskim – kluczowemu rodzajowi funkcji stosowanych w takich dziedzinach, jak kryptografia czy teoria głosowania.

Jednak zdaniem Verhoeffa pytanie o użyteczność tego problemu jest niewłaściwe, bowiem „jako ludzkość nie wiemy, dokąd zmierzamy ani co będzie nam potrzebne do przetrwania, a zabawa to jeden ze sposobów, w jaki się uczymy”.

Emma R. Hasson

Jedno z rozwiązań problemu wieszania obrazu na dwóch gwoździach zgodnie z wariantem „1 z 2”

Sznurek częściowo otacza pierwszy gwóźdź **a** zgodnie z ruchem wskazówek zegara, następnie drugi **b** również prawoskrętnie, potem **a** lewoskrętnie, a na koniec **b** także lewoskrętnie. Całą tę operację, stanowiącą rozwiązanie o długości 4, można zapisać jako **+a+b−a−b**. Jeśli usuniemy gwóźdź **a**, pozostanie układ **+b−b**, który się znosi i obraz spadnie. Tak samo będzie po usunięciu gwoździa **b**.



MEDYCYNA

Pogromca cukru

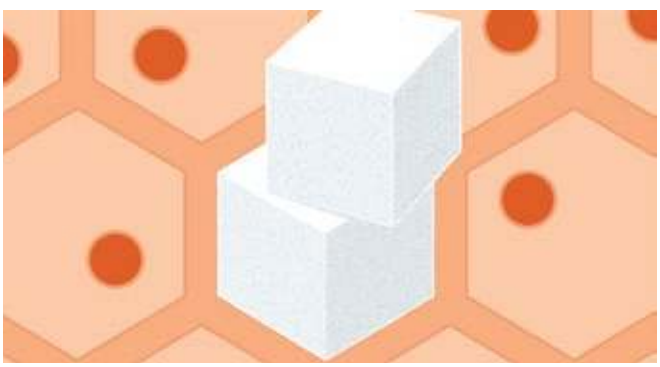
Jak naprawdę działa popularny lek na cukrzycę

METFORMINA JEST JEDNYM z najczęściej przepisywanych leków w USA, stosowanym przede wszystkim w leczeniu lub zapobieganiu cukrzycy typu 2. Jednak sposób jej działania przez długi czas pozostawał zagadką. Teraz naukowcy odkryli, że substancja ta w istocie przekształca komórki jelitowe człowieka w pochłaniacz cukru, prowadząc do obniżenia poziomu glukozy we krwi.

Dowody na istnienie tego mechanizmu sięgają 1989 roku, kiedy francuski badacz metabolizmu Jean Girard wraz ze współpracownikami opublikował pracę opisującą, w jaki sposób metformina zwiększała ilość glukozy wchłanianej przez jelita szczurów. Kiedy jednak po ostatecznym zatwierdzeniu leku przez amerykańską Agencję Żywności i Leków (FDA) w 1995 roku wznowiono intensywne badania, naukowcy w większości skupili się na teorii, zgodnie z którą metformina ogranicza produkcję glukozy w wątrobie. „Wyglądało to tak, jakby wcześniejsza wiedza naukowa w ogóle nie istniała” – mówi Stephen O’Rahilly, badacz metabolizmu z University of Cambridge, który nie brał udziału w nowych badaniach.

Później radiolodzy odkryli, że podczas pozytonowej tomografii emisyjnej (PET) metformina może sprawiać, że jelita pacjentów „rozświetlają się jak latarnia morska” – mówi O’Rahilly. (W tej wersji badania stosowano znacznik, który trafia do tkanek zużywających cukier.) Z czasem badacze metabolizmu zaczęli podejrzewać, że wchłanianie cukru przez jelita może mieć istotne znaczenie, i wrócili do wcześniejszych badań. Niedługo potem Judy Hirst, biolog mitochondriów z University of Cambridge, odkryła, że przy bardzo wysokich stężeniach metformina hamuje wykorzystywanie tlenu przez mitochondria.

W nowym badaniu biolog mitochondriów z Northwestern University Navdeep Chandel wraz z zespołem chciał ustalić, jak połączyć te dwa odkrycia: że metformina zwiększa wchłanianie glukozy przez jelita, a jednocześnie hamuje wykorzystywanie tlenu przez mitochondria. Oddychanie komórkowe, w którym komórki przekształcają cukry w energię, zachodzi w mitochondriach. Dlatego zespół Chandela zastąpił mitochondrialny kompleks I, enzym niezbędny do oddychania komórkowego, enzymem drożdżowym niewrażliwym na działanie metforminy, o którym naukowcy wiedzieli, że może pełnić część tych samych funkcji w jelitach myszy. U tych myszy oddychanie komórkowe przebiegało zgodnie z oczekiwaniami, ale metformina nie obniżała poziomu cukru we krwi.



Naukowcy doszli do wniosku, że gdy metformina gromadzi się w wystarczająco dużym stężeniu i hamuje wykorzystywanie tlenu przez mitochondria, skłania komórki jelitowe do przejścia na inną ścieżkę metaboliczną, w której do produkcji energii zużywają znacznie więcej cukru. Wynik ten jest nieintuicyjny, zwłaszcza w świetle potencjalnego związku metforminy z działaniem przeciwstarzeniowym. „Wszyscy mówią, że jeśli chodzi o długowieczność, trzeba pobudzić mitochondria – mówi Chandel. – Tymczasem metformina odwracalnie i przejściowo hamuje ich działanie”.

„Szerszy wniosek – dodaje – jest taki, że hamowanie aktywności mitochondriów może być korzystne, jeśli zachodzi w odpowiednich komórkach i przez odpowiednio długi czas, bez narażania organizmu na szeroko zakrojoną toksyczność inhibitora mitochondriów”.

Nowe wyniki opisano w czasopiśmie „Nature Metabolism”.

Viviane Callier

Grafika Amanda Montanez

eprasa.pl 807975059e

ETOLOGIA

Drapak dla rekina

Żarłacze galapagoskie pozbywają się pasożytów, wykorzystując manty



WSZYSCY WIEMY, jak frustrujące potrafi być swędzenie w miejscu, do którego nie można sięgnąć. Żarłacze galapagoskie (*Carcharhinus galapagensis*) znalazły pomysłowy sposób, by sobie z tym poradzić: do do drapania pyska wykorzystały manty. Między grudniem 2024 a styczniem 2026 roku w trzech różnych miejscach w pobliżu meksykańskiego archipelagu Revillagigedo nurkowie zaobserwowali żarłacze ocierające się o górną i dolną powierzchnię mant.

Manty – łagodne oceaniczne olbrzymy, których jedynym środkiem odstraszania jest rozmiar i które właściwie nie mają się czym bronić – zdawały się tolerować takie zachowanie młodych rekinów, jedynie lekko się poruszając. Ttraktowały jednak inaczej dorosłe rekiny: wycofywały się, odchylały do tyłu i próbowały uniknąć ugryzienia. Naukowcy nie sądzą jednak, by żarłacze zachowywały się agresywnie. Ocierały przede wszystkim pysk i okolice skrzeli, czyli miejsca często zasiedlane przez wszy morskie, co wskazuje, że manty służyły im za gigantyczne skrobaki.

Łącznie odnotowano osiem takich spotkań rekinów z mantami. Zaobserwowały je dwie niezależne grupy badaczy, które opisały swoje spostrzeżenia w „Marine Biodiversity" oraz „Environmental Biology of Fishes".

„Rekiny wiedzą, że powierzchnia manty przypomina papier ścierny, więc świetnie nadaje się do usuwania pasożytów" – mówi Mauricio Hoyos, współautor drugiej z tych prac i dyrektor organizacji non profit zajmującej się ochroną mórz Pelagios Kakunjá. Wcześniej obserwowano już rekiny galapagoskie ocierające się o rekiny wielorybie. Zwykle skóra rekinów, podobnie jak skóra mant, pokryta jest ząbkami skórnymi przypominającymi ostre, szorstkie zęby. „Dlatego tak dobrze nadają się do drapania" – wyjaśnia Jane Vinesky, ekolożka morza, główna autorka tej samej pracy i doktorantka w Pelagios Kakunjá.

Kiedy rekiny mają problem z pasożytami, zwykle odwiedzają „stację czyszczącą" – naturalne spa, w którym niewielkie ryby czyściciele wydziobują pasożyty ze skóry swoich klientów. Czasami jednak przy takich stacjach robi się tłoczno. To może sprawiać, że niektóre rekiny szukają innych sposobów na pozbycie się pasożytów, mówi Hoyos. Gregory Skomal, biolog morski kierujący Massachusetts Shark Research Program, który nie brał udziału w żadnym z tych badań, obserwował mniejsze ryby wykorzystujące rekiny niczym peeling do ścierania pasożytów. Nowo zaobserwowane zachowanie rekinów i mant uważa za „wyjątkowe i fascynujące".

Naukowcy nie są pewni, skąd rekiny wzięły ten pomysł. Hoyos zastanawia się, czy nie nauczyły się tego od mniejszych ryb, które ocierały się o rekiny, żeby się podrapać. Skomal przypuszcza natomiast, że rekiny któregoś dnia po prostu tego spróbowały, przekonały się, że to działa, i weszło im to w zwyczaj. „W świecie rekinów – mówi Skomal – wiele zachowań jest efektem prób i błędów".

Clarissa Brincat

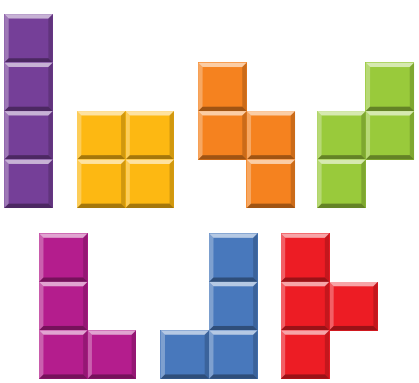
ZAGADKA MATEMATYCZNA

Paradoks Tetris

Jack Murtagh

GRA TETRIS POLEGA NA SZCZELNYM WYPEŁNIANIU prostokątnego obszaru klockami w siedmiu różnych kształtach. Dysponując jednak tylko siedmioma takimi różnymi klockami, nie sposób ułożyć z nich prostokąta. Będzie to możliwe dopiero po usunięciu jednego klocka. Który klocek jest zbędny i jak będzie wyglądał przykładowy prostokąt ułożony z sześciu pozostałych? Klocki – takie, jak na rysunku – wolno przesuwać i obracać, ale nie wolno ich odwracać na drugą stronę. Inaczej mówiąc, wykluczone są ich odbicia lustrzane.

Podpowiedź: klocek-intruz może być wskazany na podstawie jego ściśle określonej cechy – bez korzystania z metody prób i błędów.



Rozwiązanie zagadki na stronie 77.

Grafika Amanda Montañez

eprasa.pl 807975059e

POZNAJ BOHATERÓW POWIEŚCI

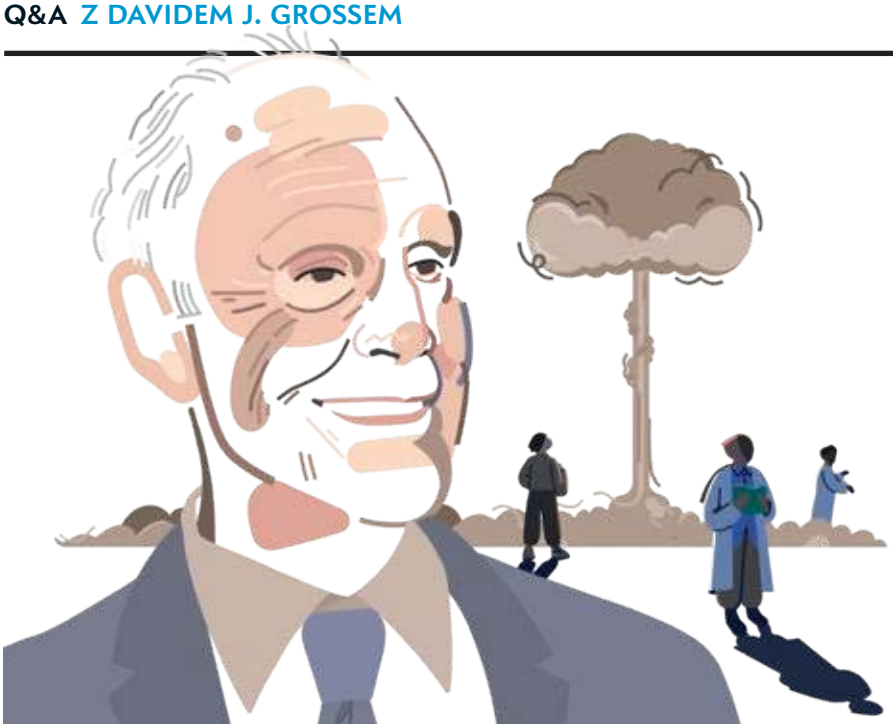


Wydanie papierowe – w punktach sprzedaży prasy i na **sklep.polityka.pl**
Wydanie cyfrowe – subskrypcja **polityka.pl/cyfrowa**
Podkast POLITYKA o historii – **polityka.pl/podkasty**
Newsletter historyczny – **polityka.pl/newslettery**

KUP TERAZ

Na sklep.polityka.pl znajdziesz ponad 60 tytułów z serii Pomocnik Historyczny

eprasa.pl 807975059e



W poszukiwaniu teorii wszystkiego

Noblista i laureat nagrody Breakthrough Prize ostrzega, że wojna nuklearna może uniemożliwić znalezienie Świętego Graala fizyki

LEE BILLINGS

DAVID J. GROSS, ZNAKOMITY AMERYKAŃSKI FIZYK teoretyczny, nazywa siebie optymistą – zwłaszcza jeśli chodzi o przyszłość jego dziedziny. Jest przekonany, że gdzieś tam czai się ostateczna, jednolita teoria natury, która tylko czeka na odkrycie. Jest jednak pesymistą, jeśli chodzi o nasze szanse na jej faktyczne odkrycie – uważa, że bardziej prawdopodobne jest, iż najpierw pozabijamy się w wojnie jądrowej. Jako najnowszy laureat wynoszącej 3 mln dolarów nagrody Special Breakthrough Prize w dziedzinie fizyki fundamentalnej, wykorzystuje każdą okazję, aby ostrzec świat przed przerażającym zagrożeniem.

Kiedy Gross zabiera głos na temat perspektyw powstania teorii zunifikowanej, ludzie uważnie go słuchają – w końcu to właśnie jemu zawdzięczamy niektóre z najważniejszych kroków, jakie poczyniono w kierunku jej stworzenia.

Taka teoria z definicji zjednoczyłaby trzy znane oddziaływania fundamentalne – elektromagnetyzm oraz oddziaływania jądrowe silne i słabe – z czwartym, czyli grawitacją, rozwiązując w ten sposób długotrwały rozdział, który istnieje między tymi oddziaływaniami. Na początku lat 70. Gross był współodkrywcą swobody asymptotycznej – sprzecznej z intuicją właściwości oddziaływania silnego, dzięki której interakcje między kwarkami (subatomowymi składnikami neutronów i protonów) słabną w mniejszych odległościach, a stają się mocniejsze w większych. Innymi słowy, im bardziej próbuje się rozdzielić kwarki, tym silniejszy stawiają opór. Jeśli jednak umieści się je wewnątrz protonu, będą się swobodnie poruszać, niemal tak, jakby nie napotykały żadnego oporu.

Hipoteza ta została w pełni potwierdzona w eksperymentach wysokoenergetycznych i przyczyniła się do sformułowania teorii oddziaływania silnego, zwanej chromodynamiką kwantową (quantum chromodynamics; QCD), która stała się kamieniem węgielnym Modelu Standardowego fizyki cząstek elementarnych. Dzięki temu Gross otrzymał w 2004 roku Nagrodę Nobla z fizyki [wraz z H. Davidem Politzerem i Frankiem Wilczkiem – przyp. red.]. W następstwie triumfu QCD jego dążenie do unifikacji przybrało bardziej spekulatywny charakter. W latach 80. współtworzył fundamentalne aspekty teorii strun, a konkretnie matematycznie elegancką odmianę hybrydową, tzw. heterotyczną teorię strun, łączącą ze sobą inne ich rodzaje, aby opisać cząstki elementarne. Jednak w przeciwieństwie do swobody asymptotycznej, heterotyczna teoria strun (i ogólnie teoria strun) nie została jeszcze potwierdzona eksperymentalnie.

Chociaż związek między wkładem w badania podstawowe a egzystencjalnym zagrożeniem wojną nuklearną może wydawać się naciągany, według Grossa jest on całkiem oczywisty: znalezienie i zweryfikowanie teorii ostatecznej może wymagać trwającego kolejne stulecia postępu w teorii i eksperymentach – jednak planowanie takiej przyszłości jest krótkowzroczne, skoro globalna wojna nuklearna mogłaby w ciągu jednego popołudnia położyć kres samej cywilizacji. Jak twierdzi, ograniczenie tego ryzyka jest dla odkrycia teorii zunifikowanej co najmniej tak samo ważne, jak samo prowadzenie badań z zakresu fizyki fundamentalnej.

W rozmowie z „Scientific American" Gross opowiada o swojej Breakthrough Prize, przyczynach powolnych postępów w badaniach nad stworzeniem teorii wszystkiego oraz o bezsensowności systemu obrony przeciwrakietowej. Wyjaśnia też, dlaczego w obecnym stanie rzeczy każdy mieszkaniec Ziemi nadal stoi w obliczu zagrożenia zagładą jądrową.

Poniżej zredagowany zapis rozmowy.

W trakcie swojej długiej kariery zdobył Pan kilka prestiżowych nagród – Medal Diraca w 1988 roku, Nagrodę Harveya w 2000 roku i oczywiście Nagrodę Nobla

Lee Billings jest starszym redaktorem działu nauk ścisłych „Scientific American".

Ilustracja Shideh Ghandeharizadeh

eprasa.pl 807975059e

z fizyki w 2004 roku. Teraz otrzymał Pan nagrodę Breakthrough z fizyki fundamentalnej o wartości 3 mln dolarów. Czy uważa Pan ją za zwieńczenie swojej kariery?

Nic tak naprawdę nie może się równać z Nagrodą Nobla, ale Breakthrough Prize jest z pewnością najbardziej lukratywna. Bardzo intensywnie angażowałem się w zbieranie funduszy dla mojego instytutu – Kavli Institute for Theoretical Physics przy University of California w Santa Barbara – oraz dla wielu innych podobnych instytucji na całym świecie. Dzięki nagrodzie Breakthrough mam w końcu trochę pieniędzy, które mogę przekazać innym!

Jest to nagroda za „całokształt", co sugeruje, że moje życie dobiega końca. To trochę przygnębiające. Jednak nadal czuję się niezwykle zaszczycony i zadowolony – zasady przyznawania nagród Breakthrough przewidują, że o wyborze decydują opinie poprzednich laureatów, a w tym przypadku są to osoby z mojej dziedziny, które najbardziej szanuję. Ponadto kryteria przyznawania tej nagrody są bardziej elastyczne i otwarte niż w przypadku większość innych nagród – może ona trafić do osób, których prace mają wciąż charakter nieco spekulatywny, a płynące z nich wnioski nie zostały jeszcze potwierdzone przez naturę.

Wydaje się, że dotyka Pan tutaj obu kwestii, ponieważ część pańskich pomysłów – na przykład swoboda asymptotyczna w chromodynamice kwantowej – została dobrze zweryfikowana eksperymentalnie, podczas gdy inne idee, takie jak heterotyczna teoria strun, pozostają nadal spekulatywne. Czy to trafna ocena?

Cóż, żyję już całkiem długo! Byłem świadkiem skrajnych przewrotów w fizyce fundamentalnej. Kiedy zaczynałem swoje badania, panowała era dominacji eksperymentów i stale dokonywano ogromnych odkryć – natomiast w teorii prawie nic nie było jeszcze wyjaśnione. Był to ekscytujący okres dla teoretyka. Obecnie sytuacja jest w pewnym sensie odwrotna. Pojawia się wiele wspaniałych pomysłów teoretycznych, ale jeśli chodzi o nowe odkrycia, natura nie jest zbyt hojna. Życie w obu tych okresach – wraz z wszystkim, co się z tym wiązało – oczywiście ukształtowało moją pracę.

Kiedyś wszystkie dane były dostępne, a przewidywania próbowano formułować na podstawie niepewnych przesłanek. Obecnie nie pojawiają się nowe dane, ale teoria jest o wiele bardziej zrozumiała. Dlatego teraz celem jest rozwijanie teorii i, miejmy nadzieję, doprowadzenie do uzyskania zgodności z wynikami doświadczeń – ale staje się to coraz trudniejsze. W przeszłości można było przewidywać wyniki lub spróbować coś obliczyć, a następnie poddać weryfikacji eksperymentalnej w ciągu roku! Teraz sytuacja wygląda tak, że musimy mieć plany na 30–60 lat.

Co spowodowało to spowolnienie? Czy chodzi po prostu o to, że wszystko staje się droższe?

Nie całkiem. Same projekty są teraz większe, przez co ich realizacja trwa dłużej. W rzeczywistości jednak nie stały się one dużo droższe: jeśli wziąć pod uwagę inflację, postęp techniczny oraz nasze lepsze zrozumienie zjawisk fizycznych, obecnie możemy budować doskonalsze maszyny za mniejsze pieniądze.

Zmiany dotyczą raczej zakresów odległości lub energii, które badamy, a nie skali czasu, o której zazwyczaj myślimy, rozmawiając o postępach w przyszłości. Z perspektywy fizyki najważniejsza jest skala, czyli rozmiar lub odległość, którą możemy zbadać, przy czym mniejsze odległości wymagają większej energii, aby do nich dotrzeć.

W XX wieku przeszliśmy od fizyki molekularnej poprzez fizykę atomową do fizyki jądrowej, dochodząc do etapu, na którym zbadaliśmy strukturę jądra atomowego. W ciągu ostatnich dwóch stuleci osiągnęliśmy postęp o 15–20 rzędów wielkości. Ten ogromny rozwój dał nam bardzo kompletną „standardową" teorię fizyki cząstek elementarnych.

Jednak kolejna skala, na którą wskazują wyniki eksperymentalne i ekstrapolacje teoretyczne, jest oddalona o wiele rzędów wielkości od obecnej, którą możemy z łatwością badać. Wygląda na to, że przed nami kolejne 20 rzędów wielkości! A sytuacja się pogarsza: jedną z głównych konsekwencji swobody asymptotycznej w QCD i innych kwantowych teoriach pola jest to, że w miarę zbliżania się do coraz mniejszych odległości fizyka zmienia się bardzo powoli. Konkretnie, zmienia się ona logarytmicznie.

Porównajmy to z inną skalą, a mianowicie z kwotą pieniędzy potrzebną do osiągnięcia coraz wyższych energii, potrzebnych po to, aby osiągnąć coraz mniejsze odległości. W tym przypadku koszt rośnie co najmniej proporcjonalnie z kwadratem energii, a może nawet szybciej. Zatem potencjał fizyczny rośnie jedynie logarytmicznie, podczas gdy koszt rośnie proporcjonalnie z kwadratem energii – istnieje między nimi różnica wykładnicza. I jest to fakt, z którym musimy się pogodzić, jeśli chcemy zrozumieć naturę w tak małych skalach.

Te obliczenia są, delikatnie mówiąc, bardzo skomplikowane. To sprawia, że zadaję sobie pytanie: czy właśnie powyższa matematyka była jednym z czynników motywujących Pana do aktywności poza fizyką? Podkreślono to w uzasadnieniu przyznania Panu Breakthrough Prize. Dla przykładu, był Pan jednym z czołowych sygnatariuszy listów otwartych do prezydentów Stanów Zjednoczonych, protestujących przeciwko cięciom budżetowym w programach naukowych, a także deklaracji wzywających do podjęcia działań w obszarze zmian klimatycznych i nierozprzestrzeniania broni jądrowej.

Myślę, że można łączyć obie rzeczy – badania naukowe i działalność społeczną. To nie jest kwestia wyboru „albo-albo", lecz osobista decyzja, którą każdy musi podjąć, zastanawiając się, jak wykorzystać swój ograniczony czas. Nauka naprawdę sprawia mi ogromną frajdę, bardzo lubię się nią zajmować. Ale bardzo różni się to od mojej działalności społecznej. Myślę, że otrzymując takie nagrody, podpisuje się swego rodzaju pakt z diabłem. Z jednej strony rozgłos, jaki się zyskuje, oznacza, że często jest się zachęcanym do pełnienia roli orędownika, do pomocy w głoszeniu jakiegoś przesłania. Z drugiej strony może to stanowić ogromne obciążenie czasowe.

Obecnie wraz z innymi osobami pomagamy ożywić tzw. proces Mainau, współtworząc grupę, którą nazwaliśmy Zgromadzeniem Laureatów Nagrody Nobla na rzecz Zapobiegania Wojnie Jądrowej. Działamy w ramach Organizacji Narodów Zjednoczonych. W przyszłym roku zorganizujemy wydarzenie w Brukseli. W lipcu 2025 roku odbyła się duża konferencja w Chicago – nawet papież jest zainteresowany naszymi działaniami; jako swojego przedstawiciela wysłał na to spotkanie kardynała. Obecnie planujemy całą serię spotkań w Watykanie.

A wszystko to polega na ostrzeganiu ludzi i instytucji na całym świecie,

eprasa.pl 807975059e

uświadamianiu im niebezpieczeństwa zagłady nuklearnej. Ponieważ jest to coś, co możemy zrobić; możemy powstrzymać to zagrożenie. Musimy zwiększyć świadomość społeczną w tej kwestii – zwłaszcza wśród młodych ludzi, a przede wszystkim wśród naukowców. Mógłbym nawet popracować nad Panem. Czy ma Pan dzieci?

Mam dwóch synów w wieku 11 i sześciu lat.

Dobrze. I jak Pan myśli, jak długo będą żyć?

Mam nadzieję, że będą żyli co najmniej tak długo, jak ich niedawni przodkowie – na przykład tak długo, jak żyli moi dziadkowie, co, jak sądzę, było dość zbliżone do średniej krajowej. Czyli gdzieś między 75 a 80 lat; przynajmniej tyle, jeśli wszystko pójdzie dobrze.

Oczywiście. Nawiasem mówiąc, część tych pytań wywodzi się z bestsellera Annie Jacobsen z 2024 roku zatytułowanego *Nuclear War: A Scenario* (Wojna nuklearna: scenariusz). Zachęcam do jej przeczytania. Po tej lekturze poczuje Pan strach – i słusznie.

To, czego naprawdę powinien Pan się obawiać, to szacunki poważnych ekspertów z XX wieku, według których roczne prawdopodobieństwo wybuchu wojny nuklearnej wynosiło 1%. Nie brzmi to groźnie; ludzie zwykle lekceważą takie informacje, zwłaszcza jeśli nie pamiętają czasów zimnej wojny. Wiadomo: „nigdy nie mieliśmy wojny nuklearnej; nigdy jej nie będziemy mieli; nie ma problemu". Ale jeśli prawdopodobieństwo wynosi 1% rocznie, to spodziewana średnia długość życia osoby urodzonej dzisiaj wynosi zaledwie 67 lat. Zakłada się tu, że gdyby doszło do wojny nuklearnej, osoba ta z jej powodu straciłaby życie – co, jak sądzę, jest dość bezpiecznym założeniem.

A najbardziej przerażające jest to, że od czasu sporządzenia tych szacunków sytuacja znacznie się pogorszyła. Obecnie wszystkie traktaty dotyczące kontroli broni jądrowej zostały wypowiedziane, rozprzestrzenianie tej broni postępuje, ponieważ coraz więcej krajów ją zdobywa lub dąży do jej posiadania, a w Europie toczy się poważna wojna z Rosją, która taką bronią dysponuje. Ostrożnie szacuję, że roczne prawdopodobieństwo wybuchu wojny jądrowej wynosi obecnie 2%.

Przekładając to na ewentualny los Pana dzieci, oznacza to, że ich spodziewana średnia długość życia wynosi około 35 lat. To jak rozpad radioaktywny atomu – może to być zdarzenie ekstremalne o niskim prawdopodobieństwie, ale im więcej czasu mija, tym większe jest prawdopodobieństwo, że taka rzecz się stanie. Prawdopodobieństwo się kumuluje. Tak właśnie powinniśmy o tym myśleć. Zapewne wpłynie to również na Pana życie, ale na pewno na życie Pańskich dzieci; jeśli nic się nie zmieni, to ich średnia długość życia może wynieść zaledwie 35 lat.

To jest przerażające.

O tak, jest. Ludzie powinni jednak wiedzieć, że aby temu zaradzić, można podjąć działania, które nie polegają na całkowitej likwidacji broni jądrowej ani na tym, by wszyscy mieszkańcy Ziemi stali się pacyfistami. Wynikiem naszego spotkania w Chicago była deklaracja, z którą można się zapoznać w Internecie. Zawiera ona listę bardzo prostych kroków, które można podjąć na całym świecie w celu zmniejszenia ryzyka – ponieważ nie chcemy, aby wynosiło ono 2%. Jeśli uda nam się zejść do 0,1%, to będzie dobrze. Dałoby to kilkaset lat na rozwiązanie większej części naszych problemów, a każda redukcja mogłaby oznaczać wydłużenie oczekiwanej długości życia Pańskich dzieci, a na pewno ich wnuków.

Mnie nie trzeba przekonywać o wyraźnym i bezpośrednim zagrożeniu, jakie stanowi dla nas wojna nuklearna, ani o tym, jak ważne jest ograniczenie tego ryzyka! Jestem jednak pewien, że są ludzie, którzy powiedzieliby, że to jak bawić się jakąś grą na smartfonie, skoro mamy tyle innych niejądrowych zagrożeń egzystencjalnych – antropogeniczne zmiany klimatu, niebezpieczne obiekty kosmiczne, wymykająca się spod kontroli sztuczna inteligencja itd. Niektórzy z nich mogliby nawet powiedzieć, że „jedynym wyjściem jest przez to przebrnąć" i że zamiast mozolnie próbować zamknąć jądrową puszkę Pandory, powinniśmy jeszcze mocniej postawić na energię jądrową i inne przełomowe techniki, aby w jakiś sposób zmniejszyć ryzyko egzystencjalne.

Innymi słowy, niektórzy krytycy mogliby twierdzić, że zamiast wspólnie domagać się kolejnych biurokratycznych rozwiązań, nobliści, tacy jak Pan, powinni popierać bardziej radykalne cele, na przykład radykalną geoinżynierię w walce ze zmianami klimatu lub budowę miast na Marsie w celu stworzenia planu awaryjnego dla ludzkości. Co by Pan odpowiedział na tego rodzaju argumenty?

Brzmią one co najmniej niedorzecznie. Wspomniał Pan o zmianach klimatu i uważam, że reakcja społeczna na to zjawisko stanowi dobry przykład tego, co trzeba zrobić, by rozwiązać problem jądrowy. Cały czas rozmawiam z bardzo bystrymi młodymi fizykami – doktorantami, postdoktorantami i profesorami – i często ich pytam: „Co was niepokoi? Wymieńcie pięć najważniejszych dla was spraw".

Na pierwszym miejscu, niemal bez wyjątku, znajduje się klimat. Zazwyczaj dalej pojawiają się takie kwestie, jak nierówne szanse, brak stałej pracy czy inflacja. Nikt nie wspomina o wojnie nuklearnej. A przecież to fizycy! Kiedy zaczynam zadawać pytania: „Czy wiecie, ile jest rakiet? Czy wiecie, ile czasu zajmie Donaldowi Trumpowi lub Władimirowi Putinowi naciśnięcie przycisku? Czy wiecie, jakie skutki powoduje bomba jądrowa o mocy jednej megatony?" – okazuje się, że nie mają o tym pojęcia.

Jak to możliwe? Cóż, około 40 lat temu naukowcy zaczęli ostrzegać świat przed zmianami klimatu. Zajęło to sporo czasu, ale udało im się uświadomić części z nas, dzięki czemu staliśmy się siłą polityczną – pomimo starań koncernów naftowych i popierających je polityków. Tak zresztą wyglądały również poprzednie próby i sukcesy w zakresie kontroli broni jądrowej. W ten sposób powstał Traktat o całkowitym zakazie prób z bronią jądrową. Miliony ludzi wyszły na ulice, protestując przeciwko opadom radioaktywnym wywołanym przez testy broni w atmosferze – testy, które Trump chce wznowić!

Oczywiście po zakończeniu zimnej wojny te nastroje w większości osłabły. Ludzie zapominają, że arsenały jądrowe wciąż istnieją.

Dlatego działania społeczne mają kluczowe znaczenie dla osiągnięcia takich celów, ale obecnie właściwie nikt nie mówi o zagrożeniu jądrowym. „Scientific American" nie pisał o tym od nie wiadomo ilu lat – a powinien!

Minęło trochę czasu, to prawda.

I założę się, że gdyby Pan zapytał swoich kolegów, przekonałby się, iż brak wiedzy na temat prawdziwego zagrożenia jest ogromny. Kwestia klimatu jest poruszana, ponieważ istnieje silna wola polityczna,

eprasa.pl 807975059e

żeby coś z tym robić. Zajmowanie się tą sprawą to proces długoterminowy, a zmieniający się klimat sam w sobie nie jest w stanie zniszczyć całej ludzkości. Tymczasem w przypadku globalnej wojny termojądrowej cały nasz świat, to, co nazywamy cywilizacją – praktycznie wszystko i wszyscy – mógłby zniknąć w ciągu 24 godzin. Bum i po wszystkim. To szaleństwo. I szaleństwem jest to, że nic z tym nie robimy!

Wracając do moich kontrowersyjnych uwag na temat technicznych panaceów realizowany jest, oczywiście niezwykle kosztowny, projekt o nazwie Golden Dome (Złota Kopuła), mający na celu zbudowanie systemu obrony przeciwrakietowej, który rzekomo będzie mógł chronić całe kontynentalne Stany Zjednoczone. Jako fizyk zainteresowany kwestiami jądrowymi z pewnością ma Pan na ten temat swoje przemyślenia.

Każda nowa technika budzi nowe nadzieje na rozwiązanie problemu, ale to po prostu nie zadziała. Golden Dome to nic innego jak program Ronalda Reagana „Star Wars" (Gwiezdne wojny, program obrony przeciwrakietowej) na sterydach. A poważna analiza – która ostatecznie przekonała wszystkich, a przede wszystkim Reagana i Michaiła Gorbaczowa – pokazuje, że atak z łatwością przezwycięża każdą obronę, jaką można zorganizować. W najlepszym razie można liczyć na kolejny destabilizujący wyścig zbrojeń. To niezwykle kosztowne i w gruncie rzeczy nieskuteczne. Mieszka Pan w Nowym Jorku, prawda?

Tak.

Pojedyncza rakieta wielogłowicowa może przenieść 10 bomb o mocy pół megatony w kierunku Nowego Jorku. Wystarczy, że przebije się tylko jedna głowica. Sposobów na oszukanie dowolnego systemu obronnego jest praktycznie nieskończenie wiele. W rzeczywistości obserwujemy to na własne oczy na przykładzie działań wojennych z wykorzystaniem dronów na Ukrainie lub obecnej obrony przeciwrakietowej na Bliskim Wschodzie, gdzie broń ofensywna, która kosztuje setki tysięcy dolarów, jest zestrzeliwana przez systemy obronne warte setki milionów. To całkowicie szalona sytuacja, a co więcej – argumenty przemawiające za obroną przeciwrakietową przekonały niektórych ludzi w Stanach Zjednoczonych, że mogą chronić siebie, jednocześnie bombardując inne kraje, jak to się działo przez ostatnie 50 lat.

Golden Dome nigdy nie zadziała. Jej budowa doprowadziłaby Stany Zjednoczone do bankructwa, więc nigdy nie zostanie zrealizowana, a zatem nie ma znaczenia dla głównego problemu, którym powinno być zapewnienie przetrwania Pańskim dzieciom przez więcej niż 35 lat.

„Szacuję, że roczne prawdopodobieństwo wybuchu wojny jądrowej wynosi obecnie 2%."

DAVID J. GROSS,
LAUREAT NAGRODY NOBLA Z FIZYKI

Gdy mowa o niedocenianym ryzyku zagłady nuklearnej, a teraz także o powrocie do tematu obrony przeciwrakietowej jako rozwiązania najwyraźniej niewykonalnego, trudno oprzeć się wrażeniu, że historia ma w pewnym sensie charakter cykliczny. Być może stoimy u progu popełnienia błędów, których wcześniej udało nam się uniknąć dzięki ogromnemu szczęściu – błędów, których konsekwencje są tak poważne, że można je zrobić tylko raz. A jeśli teraz ich unikniemy, to następne pokolenie z pewnością znajdzie się w podobnej sytuacji. To dość ponura perspektywa. Nie chcę używać banałów, ale czy potrafi Pan zachować optymizm, jeśli chodzi o przyszłość?

Jestem mniejszym optymistą niż kilka lat temu. Sytuacja polityczna w Stanach Zjednoczonych i na całym świecie staje się coraz bardziej szalona.

Jednak w przypadku kwestii jądrowej nie mamy do czynienia z siłą natury, nad którą nie sprawujemy żadnej kontroli. Możemy coś z tym zrobić. W końcu jest to system stworzony, kontrolowany i utrzymywany przez ludzi.

Dlatego wierzę, że gdyby ludzie poznali niebezpieczeństwo – tak jak wiele osób po długim czasie zrozumiało zagrożenia klimatyczne – pojawiłaby się nadzieja. Oczywiście w przypadku zmian klimatu to sama przyroda pomogła potwierdzić prawidłowość przewidywań.

Nie chcę być świadkiem małej wojny nuklearnej, która zabiłaby „tylko" kilkaset milionów ludzi i spowodowała ogromne zniszczenia na naszej planecie. Być może jednak właśnie w ten sposób natura przypomni nam, jak niepewna jest nasza sytuacja. Mam nadzieję, że tak się nie stanie.

To nie brzmi zbyt optymistycznie.

Jestem trochę pesymistą, jeśli chodzi o sytuację z bronią jądrową. Ale ogólnie rzecz biorąc, jestem optymistą – bo to warunek konieczny do uprawiania nowatorskiej, spekulatywnej fizyki podstawowej, do zgłębiania granic, o których mówiliśmy wcześniej, a które są tak trudne do osiągnięcia. Działa tu pewna selektywna tendencja – nie da się zajmować taką nauką, jeśli nie jest się optymistą, bo pesymista zbyt łatwo się poddaje.

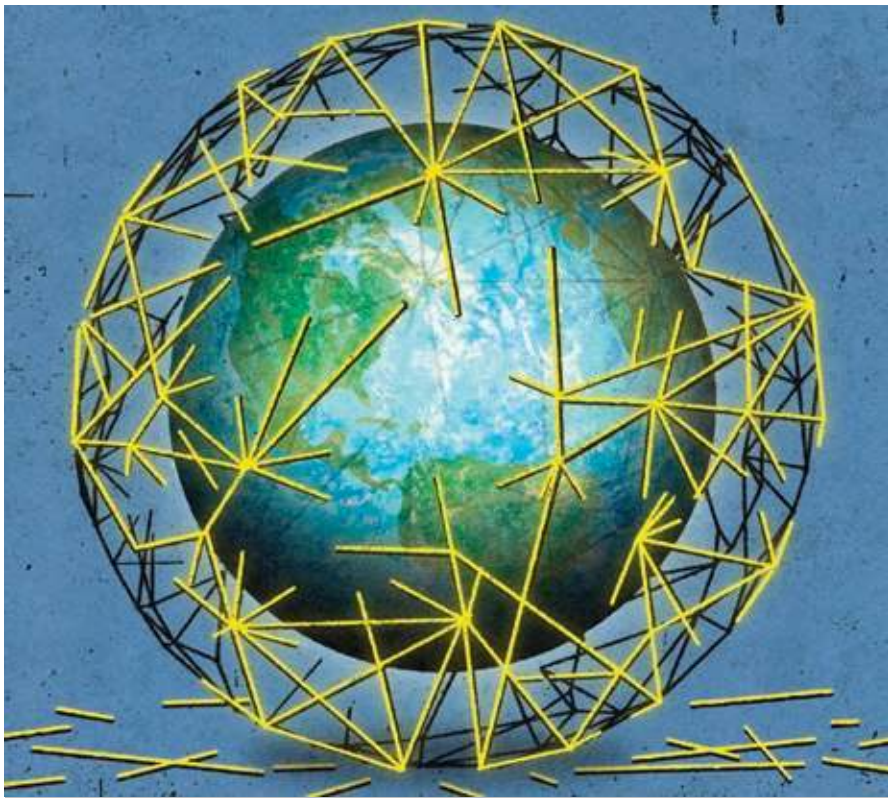
Próba poznania najbardziej podstawowych praw natury, dążenie do zrozumienia początku i końca Wszechświata, poszukiwanie teorii, która ujednoliciłaby wszystkie oddziaływania – są to niezwykłe, monumentalne cele. Nic więc dziwnego, że nie da się ich osiągnąć w prosty i szybki sposób.

Często porównywałem postępy w badaniach podstawowych do wspinaczki na górę – a w przypadku fizyki podstawowej nie mamy zielonego pojęcia, jak wysoka ta góra jest. Wchodząc coraz wyżej, poruszamy się po omacku. Będąc optymistami, moglibyśmy sądzić, że szczyt jest już na wyciągnięcie ręki – ale optymiści mają skłonność do przesady. Jako pesymiści powiedzielibyśmy: „Przed nami jeszcze ogromna wysokość; myślę, że zaszliśmy już wystarczająco daleko".

Ale gdy ogarnia mnie pesymizm, staram się stosować inną miarę postępu – jest to spojrzenie o rok lub 10 lat wstecz. Zadaję sobie pytanie, ile od tego czasu się nauczyliśmy. I zawsze dochodzę do wniosku: „Mój Boże, jak bardzo wszystko się zmieniło. Jak wiele udało nam się zrozumieć. Byliśmy wówczas kompletnymi idiotami!".

Musimy więc pamiętać, że nasza podróż może być długa. Po drodze osiągamy istotne postępy. Tak naprawdę nie mamy pojęcia, jak daleko jeszcze musimy dotrzeć. I musimy mieć pewność, że w międzyczasie sami siebie nie pozabijamy. ■

eprasa.pl 807975059e



Gorączka Złotej Kopuły

Amerykański projekt Golden Dome wymaga umieszczenia na orbicie pocisków przechwytujących w celu obrony USA. Firmy już teraz ustawiają się w kolejce do budowy systemu, choć ten jeszcze nie istnieje

SARAH SCOLES

GDZIEŚ NA ŚWIECIE ODPALAJĄ SIĘ silniki pocisku i pocisk wzbija się w niebo. Gdzieś wysoko nad Ziemią satelity wykrywają jego start. Następnie wysyłają alarm wraz z informacją o trajektorii pocisku. Niemal natychmiast obiekt przechwytujący na orbicie – w istocie wielka kula – otrzymuje własny komunikat: otworzyć ogień w kierunku pocisku. W idealnym przypadku umieszczona w przestrzeni kosmicznej broń trafia w pocisk na wczesnym etapie lotu, zanim rakieta zdąży uwolnić głowicę bojową lub wabiki, zamieniając zagrożenie dla Stanów Zjednoczonych w kupę odłamków.

A przynajmniej taki jest zamysł stojący za przechwytującymi obiektami kosmicznymi – najbardziej śmiałym elementem inicjatywy prezydenta Donalda Trumpa dotyczącej obrony przeciwrakietowej, nazwanej Golden Dome, która ma chronić Stany Zjednoczone przed atakami z powietrza.

Wiele technicznych rozwiązań, które mogłyby zasilić Golden Dome, już powstało – w postaci pojedynczych elementów albo w ramach innych programów obronnych. Trzeba je (tylko) połączyć i rozbudować do takiej skali, by mogły chronić cały kraj przez całą dobę. Przechwytujące obiekty kosmiczne natomiast jeszcze nie istnieją jako działający system. Nie ma też konkretnego planu, jak miałyby wyglądać – ani zresztą jak miałaby wyglądać cała Golden Dome. Jak ujmuje to Todd Harrison, starszy ekspert w American Enterprise Institute: „Nie ma architektury" – przynajmniej takiej, która zostałaby publicznie ujawniona. Ta niejasność nie powstrzymuje jednak amerykańskich firm przed przygotowaniami do produkcji przechwytujących obiektów orbitalnych w nadziei na udział w najmniej pewnej i, według niektórych ocen, najdroższej części tego projektu obronnego.

Jedną z takich firm jest Voyager Technologies. Voyager zaczynała od pracy nad projektami NASA związanymi z Księżycem i stacjami kosmicznymi. „Mniej więcej dwa lata temu zaczęliśmy inwestować w obronność i bezpieczeństwo narodowe" – mówi Matt Magaña, prezes Voyager odpowiedzialny za sektor kosmiczny, obronność i bezpieczeństwo narodowe. Inwestycje te obejmowały m.in. przejmowanie innych firm, które wcześniej opracowały techniki kosmiczne mogące okazać się przydatne w ramach Golden Dome – w tym układy elektroniczne odporne na promieniowanie, systemy napędu elektrycznego pozwalające satelitom wykonywać precyzyjne manewry oraz systemy rakiet na paliwo stałe, które umożliwiłyby przechwytującym obiektom szybkie manewrowanie w pościgu za pociskiem.

Kiedy firma Voyager rozpoczęła tę zakupową ofensywę, plan Golden Dome nie został jeszcze ogłoszony. Kierunek okazał się jednak trafny, częściowo dlatego, że obrona to obrona: firma pracowała już na przykład nad następną generacją naziemnych pocisków przechwytujących – następcą systemu, który już istnieje. Ich działanie nie różni się zbytnio od działania planowanych przechwytujących satelitów, mówi Harrison. Wykryć pocisk, ustalić, dokąd zmierza, ustalić, gdzie można go przechwycić – i bum.

Co więcej, obrona kraju z przestrzeni kosmicznej od lat – a nawet od dziesięcioleci – była jednym z celów bezpieczeństwa narodowego, jeszcze zanim powstał projekt Golden Dome. Kiedy więc Golden Dome i jej komponenty kosmiczne stały się rzeczywistością, Voyager była już gotowa. „Wiele z tego idealnie pokrywa się z tym,

Sarah Scoles jest dziennikarką i popularyzatorką nauki z Kolorado, współpracowniczką „Scientific American". Jej najnowsza książka to *Countdown: The Blinding Future of Nuclear Weapons* (Bold Type Books, 2024).

Ilustracja Richard Mia

eprasa.pl 807975059e

w co inwestowaliśmy, i z rozwiązaniami, które opanowaliśmy" – mówi Magaña.

Jednak systemy przechwytujące bazujące w przestrzeni kosmicznej wymagają czegoś nowego, mówi Harrison. Skali. Teoretycznie pocisk stanowiący zagrożenie może zostać wystrzelony z dowolnego miejsca na świecie, co oznacza, że Golden Dome potrzebowałaby odpowiedniej liczby satelitów przechwytujących na orbitach, aby objąć zasięgiem wszystkie potencjalne miejsca odpalenia na całej planecie – najlepiej zapewniając możliwość oddania więcej niż jednego strzału w kierunku każdego zagrożenia. Według jednej z analiz Harrisona „potrzeba byłoby około 1900 satelitów przechwytujacych, aby zapewnić stałe pokrycie wszystkich punktów na Ziemi, przy średnio dwóch pociskach przechwytujących" przypadających na każdy z nich, ponieważ pierwsza próba może zakończyć się niepowodzeniem.

Szacując to, założono, że system ma zapewnić ochronę przed jednym nadlatującym pociskiem. Rzeczywisty napastnik prawdopodobnie wystrzeliłby salwę, licząc na przeciążenie obrony Golden Dome. „To gra liczb" – mówi Victoria Samson, główna dyrektorka ds. bezpieczeństwa i stabilności w przestrzeni kosmicznej w Secure World Foundation.

W niedawnym raporcie Congressional Budget Office przeanalizowało mniej korzystny scenariusz i stwierdziło, że system kosmiczny potrzebowałby około 7800 satelitów przechwytujących, aby przeciwstawić się nawet niewielkiemu przeciwnikowi albo niewielkiemu atakowi ze strony poważniejszego przeciwnika: 10 międzykontynentalnych pocisków balistycznych wystrzelonych niemal jednocześnie. Taki liczący tysiące jednostek system nie byłby jednak projektowany z myślą o powstrzymaniu dużego uderzenia ze strony Rosji lub Chin.

Do tego cały ciąg zdarzeń musi rozegrać się błyskawicznie. Wiele z przewidywanych satelitów przechwytujących ma uderzać w pocisk jeszcze w fazie jego „boost", czyli podczas pracy silników. W ten sposób, mówi Harrison, pociski przechwytujące atakują, gdy zagrożenie znajduje się stosunkowo daleko, a pocisk nie zdążył jeszcze wypuścić wabików.

To złote okno nie trwa jednak godziny, lecz minuty. „To naprawdę bardzo krótki czas, żeby zidentyfikować, że coś zostało wystrzelone, rozpoznać, że stanowi zagrożenie, a następnie podjąć decyzję o próbie przechwycenia" – mówi Samson. Dopiero wtedy system może przekazać satelicie przechwytującemu instrukcje, co ma on zrobić. Problemy związane ze skalą i czasem reakcji pomagają wyjaśnić, dlaczego kosmiczna obrona przeciwrakietowa pozostaje w większości jedynie projektem aspiracyjnym od czasów prezydenta Ronalda Reagana i jego Strategic Defense Initiative, zwanej także „Gwiezdnymi wojnami", ogłoszonej w 1983 roku.

POJAWIAJĄ SIĘ TEŻ KOMPLIKACJE wykraczające poza kwestie sprzętowe. Ta część Golden Dome oznacza umieszczenie satelitów przechwytujących na orbicie – czego Stany Zjednoczone nigdy dotąd nie robiły. „Myślę, że przekraczamy czerwoną linię" – mówi Samson. Jeśli zrobią to Stany Zjednoczone, inni mogą postąpić tak samo. Umieszczanie broni w kosmosie oznacza więcej możliwości ataków na orbicie oraz przypadkowych kolizji, a jedno i drugie prowadziłoby do powstawania kosmicznych śmieci, które mogłyby zniszczyć inne ważne satelity albo spaść z powrotem na Ziemię. I tu Stany Zjednoczone – kraj w ogromnym stopniu uzależniony od satelitów i infrastruktury kosmicznej – mają najwięcej do stracenia.

Nikt dokładnie nie wie, jak będzie wyglądał ten kosmiczny system. Mimo to Departament Obrony stara się zapewnić, by firmy były gotowe do jego budowy. Dlatego w kwietniu tego roku jednostka Space Force odpowiedzialna za pozyskiwanie sprzętu przyznała 12 firmom kontrakty o łącznej wartości sięgającej 3,2 mld dolarów. Jedną z firm, które otrzymały takie zamówienia, jest Anduril, a Voyager wchodzi w skład jego zespołu. Wśród pozostałych beneficjentów znalazły się Lockheed Martin, Northrop Grumman, Raytheon i Booz Allen Hamilton. Kontrakty te mogą rzeczywiście pomóc w rozwoju i dojrzewaniu technologii, mówi Harrison, ale nie rozwiązują największej przeszkody: skali, czyli konieczności zbudowania tysięcy satelitów przechwytujących i sprawienia, by działały jako jeden spójny system.

Mimo tej luki administracja Trumpa zapowiedziała, że chce zademonstrować zintegrowane możliwości kosmicznego systemu przechwytywania pocisków do 2028 roku – a więc już niedługo, i to w roku wyborów prezydenckich w USA. „Mam wrażenie, że przeprowadzimy jakiś test tylko po to, żeby móc powiedzieć: odhaczyliśmy ten punkt" – mówi Samson.

Voyager stara się nie tracić z oczu problemu skali. Niedawno firma ogłosiła budowę dwóch ogromnych obiektów: jednego w Long Beach w Kalifornii, przeznaczonego na zaawansowaną elektronikę satelitarną, oraz drugiego w południowym Kolorado, skoncentrowanego na układach napędowych dla systemów uzbrojenia. Ich łączna powierzchnia wynosi blisko 2,8 ha. Można się spodziewać, że Golden Dome i powiązane z nią programy obronne będą potrzebowały właśnie tego rodzaju technik kosmicznych, jakie Voyager stara się zgromadzić i rozwijać.

Firma nie jest jedyną, która próbuje zająć pozycję w ten sposób. „Od zeszłego lata mam wrażenie, że również inne firmy twierdzą, iż mają takie możliwości, że mogą to zrobić – mówi Samson. – I nie chodzi tylko o potentatów, jak Lockheed Martin – pojawiali się także mniejsi, nowi gracze sektora kosmicznego". Widziała nawet firmy oferujące swoje produkty jako doskonałe „cele" do przyszłych testów satelitów przechwytujących. „W zasadzie wszyscy rzucili się, żeby uszczknąć coś z finansowania Golden Dome" – mówi.

Stawka może być ogromna. W marcu administracja poinformowała, że Golden Dome będzie kosztować 185 mld dolarów. Harrison wyliczył natomiast, że koszt może sięgnąć wręcz 3,6 bln dolarów. Congressional Budget Office w swoim raporcie uplasowało się pomiędzy tymi wartościami, szacując koszt programu na 1,2 bln dolarów w ciągu 20 lat, przy czym kosmiczne systemy przechwytujące odpowiadałyby za 60% całej kwoty.

Zdaniem Harrisona minie jeszcze sporo czasu, zanim ktokolwiek będzie wiedział, ile tysięcy satelitów przechwytujących znajdzie się na orbicie i w jaki sposób będą one współdziałać z pozostałymi elementami systemu. Zanim w ogóle zostanie ustalona jej architektura, mówi, Golden Dome prawdopodobnie zdąży już zmienić formę, zostać anulowana, a następnie odrodzić się pod inną nazwą.

W przyszłości system może nawet nie obejmować kosmicznych systemów przechwytujących, uważa Samson. Obrona przeciwrakietowa jednak nadal będzie działać, dlatego rozwiązania opracowywane przez Voyagera i inne kosmiczne start-upy, równolegle z tradycyjnymi gigantami przemysłu obronnego, prawdopodobnie wciąż będą znajdować zastosowanie i przynosić zyski. „Nie można się bez nich obyć" – mówi. ■

eprasa.pl 807975059e

Pizza z nieba

Firma Zipline sprawdza, czy opuszczany z drona zasobnik pozwoli na tak ciche i precyzyjne dostarczanie paczek, by usługa mogła się przyjąć na amerykańskich przedmieściach

ADAM ROGERS

NIEMAL BEZSZELESTNIE NADLATUJE przesyłka: Na szczycie porośniętego trawą wzgórza, obok imitacji podmiejskiego ogródka – krzesełka ogrodowe, drewniana konstrukcja do zabawy dla dzieci, cały zestaw – z nieba spada gładko wykończona, biała skrzynka wielkości sportowej torby. Wszystko to wygląda jak efekt specjalny sprzed ery CGI Computer-Generated Imagery, ponieważ widzę żyłkę – a właściwie przewód łączący kapsułę z dronem unoszącym się jakieś 90 m wyżej, ledwie widocznym na tle zachmurzonego nieba. Wirnik wielkości talerza, umieszczony z tyłu skrzynki, obraca się, gdy skrzynka koryguje kurs, a następnie ląduje na czterech niewielkich statecznikach.

Przesyłka dotarła. To demonstracja, ale tak samo dzieje się tysiące razy dziennie w Arkansas oraz w dzielnicach Teksasu, gdzie firma Zipline wykorzystuje zestawy dronów i kapsuł do dostarczania do domów burrito z Chipotle Mexican Grill albo specjalnej karmy dla kota.

Keenan Wyrobek, dyrektor ds. technicznych w firmie Zipline, prowadzi mnie do drona z kapsułą i otwiera zatrzaskiem jego pokrywę w kształcie muszli, żeby pokazać izolowane wnętrze wyłożone panelami z włókna węglowego. Gdybyśmy byli, powiedzmy, lokalnym barem z kanapkami, właśnie tu załadowalibyśmy kanapki, które dron miałby dostarczyć. Podczas zrzutu otworzyłyby się drzwiczki w dolnej części, a to, co znajdowałoby się w kapsule, spadłoby na ziemię z wysokości niecałego metra. System ma być łatwy, prosty i bezpieczny. Wyrobek zatrzaskuje drzwiczki. Większość użytkowników radzi sobie z tym bez problemu.

Gdybyśmy coś zepsuli, zawarczałby elektryczny silnik, a czerwona lampka ostrzegawczo zamigała. Ale wszystko jest w porządku. Odsuwamy się, a kapsuła unosi się do wnętrza drona, który odlatuje. Spodziewam się warkotu przypominającego rozjuszonego komara, typowego dla quadrokoptera, ale nic takiego nie słychać.

W ośrodku testowym, na ranczu położonym godzinę jazdy na południe od San Francisco, Zipline inscenizuje przyszłość w zdecydowanie oldschoolowym wydaniu: prawdziwe latające roboty. „To wymaga rozwiązania wielu problemów technicznych niemal na granicy możliwości fizyki – mówi Keller Rinaudo Cliffton, dyrektor generalny Zipline. – Pojazd musi być bardzo wydajny aerodynamicznie, żeby zapewnić sensowny zasięg. Potrzebny jest akumulator o dużej gęstości energii. Potrzebne są specjalne silniki elektryczne zaprojektowane tak, aby były niewiarygodnie lekkie".

Być może ta przyszłość jest już w zasięgu. Od ponad dekady dostawy dronami są żartem w branży technologicznej: prezentacja, która nigdy do końca nie przekształciła się w usługę. Zipline twierdzi, że jest inaczej. Jej globalna sieć, zbudowana w dużej mierze z wykorzystaniem wcześniejszych samolotów stałopłatowych, pokonała autonomicznie około 210 mln kilometrów i zrealizowała ponad 2,5 mln komercyjnych dostaw. Proponowane przez Federalną Administrację Lotnictwa (Federal Aviation Administration, FAA) przepisy, znane jako Part 108, mogłyby zapewnić firmom zajmującym się dostawami dronowymi optymalną ścieżkę do wykonywania lotów poza zasięgiem wzroku operatorów. To, co jest testowane na przedmieściach, sprowadza się do odpowiedzi na pytanie, czy statki powietrzne mogą być wystarczająco ciche, by nie przeszkadzały, wystarczająco precyzyjne, by odnajdywały podwórka, i wystarczająco bezpieczne, by na dużą skalę dzielić z mieszkańcami przestrzeń powietrzną nad dzielnicami – a także, czy ktokolwiek będzie chciał z takiej usługi korzystać.

Dziesięć lat temu drony Zipline realizowały zupełnie innego rodzaju dostawy – transportowały próbki do laboratoriów medycznych i produkty krwiopochodne między obszarami metropolitalnymi a odległymi przychodniami w Ghanie i Rwandzie. W usłudze wykorzystywano drony stałopłatowe, niewielkie samoloty wystrzeliwane za pomocą magnetycznej katapulty. Ładunek zrzucały na spadochronie, a następnie były przechwytywane w powietrzu za pomocą haków ogonowych i lin holowniczych, podobnych do tych stosowanych na lotniskowcach.

Ta usługa nadal pomaga bardzo wielu ludziom. W Ghanie w placówkach korzystających z Zipline „braki magazynowe" szczepionek – czyli okresy, kiedy żadnych szczepionek nie było na stanie – trwały o 60% krócej niż w klinikach, które nie współpracowały z Zipline. Analiza przeprowadzona w 2022 roku przez badaczy w Rwandzie wykazała, że produkty krwiopochodne dostarczane przez Zipline na tereny górzyste docierały na miejsce ponad półtorej godziny wcześniej niż te przewożone ciężarówkami, dzięki czemu straty wynikające z przeterminowania były nawet o 67% mniejsze.

Te drony wystrzeliwane z katapulty i przechwytywane w powietrzu oraz zrzuty ze spadochronem były projektowane z myślą o misjach dalekiego zasięgu i dostarczaniu ładunków z niewielką precyzją – do stref zrzutu wielkości mniej więcej dwóch miejsc parkingowych. To nie sprawdziłoby się przy dostarczaniu jedzenia i rozmaitych drobiazgów na północnoamerykańskie przedmieścia, gdzie przesyłka musi trafić w cel mniej więcej wielkości leżaka. Choć statki powietrzne

Zipline

Adam Rogers to dziennikarz zajmujący się nauką, technologią i kulturą. W przeszłości redaktor magazynu „Wired" oraz starszy korespondent „Business Insider". Mieszka w regionie San Francisco Bay Area.

eprasa.pl 807975059e



Po dekadzie dostarczania krwi i szczepionek w Rwandzie oraz Ghanie Zipline zaczyna zrzucać paczki z zakupami wprost na amerykańskie podwórka.

eprasa.pl 807975059e

Zipline nie musiałyby pokonywać tak dużych odległości, musiałyby być znacznie precyzyjniejsze. Firma potrzebowała nowego drona.

Zasięg drona zależy od jego akumulatorów, ale tak naprawdę zasięg, masa i ładowność sprowadzają się do tego samego problemu. Trafienie w mniejszy cel oznacza, że dron musi zawisnąć w powietrzu, a to wymaga większej liczby śmigieł i większej mocy – zwłaszcza jeśli dron musi walczyć z wiatrem lub innymi warunkami pogodowymi, aby utrzymać się dokładnie w tym samym miejscu. Zipline musiała więc zoptymalizować konstrukcję pod kątem ładunku. Jak ujmuje to Wyrobek: „Każdy gram, który uda się wyeliminować, to kolejny gram, który można dostarczyć".

Zespół nie chciał, żeby dron lądował ani nawet zbliżał się do ziemi, ponieważ byłoby to głośne i mniej bezpieczne. (Szefowie Zipline pokazali mi nagrania z TikToka przedstawiające drony konkurencyjnych firm dostawczych schodzące poniżej poziomu koron drzew, wzbijające kurz albo zrzucające pudełka do stawów). Drony mogłyby opuszczać przesyłki na uwięzi, tak jak robią to maszyny firmy Wing, wywodzącej się z Google, ale zespół Zipline obawiał się, że podmuch wiatru mógłby zepchnąć ładunek poza wyznaczony cel.

Zipline postawiła więc na niekonwencjonalne rozwiązanie: śmigła umieszczono również na samej skrzynce z przesyłką. Dron znajdujący się nad nią zapewnia siłę nośną, zwijając lub rozwijając przewód, a znajdująca się poniżej kapsuła manewruje za pomocą mikrosilników. Wykorzystuje przy tym dwie kamery na podczerwień do oceny głębi oraz szerokokątną kamerę kolorową do odnalezienia celu. „Potrafi odróżnić gładki beton od basenu" – mówi główny inżynier Zipline Zoltan Laszlo, odpowiedzialny w firmie za nowe produkty.

W przypadku wielu dronów niewielkie, szybko obracające się łopatki wydają ostry, wysoki dźwięk. Większe, wolniej obracające się łopaty, zaprojektowane specjalnie dla Zipline, przesuwają częstotliwość dźwięku w niższy zakres. „Jesteśmy około sześciokrotnie cichsi od naszego najbliższego konkurenta – mówi Cliffton. – A poza tym zdecydowaliśmy się utrzymywać drona bardzo wysoko". Ma nadzieję, że dzięki temu będzie on mniej uciążliwy dla sąsiadów.

W rezultacie Zipline stworzyła drona przypominającego Transformera albo – jeśli jesteście wystarczająco wiekowi, by pamiętać serial *Thunderbirds* z lat 60. – miniaturową wersję Thunderbirda 2. W trybie lotu do przodu skierowane w dół śmigła umieszczone na ramionach wysuniętych ze skrzydeł drona zbliżają się do siebie niczym ostrza nożyc, a śmigło z tyłu drona popycha go do przodu. W trybie zawisu skierowane w dół śmigła rozkładają się w kształt litery X, a znajdujące się z tyłu – zamontowane na specjalnie skonstruowanym silniku elektrycznym, ultralekkim i wielkości mniej więcej puszki napoju – składa się w dół i obraca niczym głowica prysznicowa, zapewniając większą precyzję sterowania. Jednak klient widzi tylko niewielką latającą skrzynkę.

SAMO WYRAFINOWANE projektowanie lotnicze nie wystarczy jednak, żeby stworzyć firmę zajmującą się dostawami dronowymi. Drony na ogół przewożą pojedyncze przesyłki ważące mniej niż 4,5 kg – wystarczająco dużo w przypadku większości prywatnych zamówień – ale ciężarówki mogą podczas jednego kursu przewozić tonę. Łatwiej rozwiązać jeden problem komiwojażera dla ciężarówki niż 100 tys. problemów komiwojażera dla dronów. W samych Stanach Zjednoczonych Amazon dostarcza 1,6 mln paczek dziennie. To oznaczałoby naprawdę mnóstwo robotów.

Drony mogą być bardziej energooszczędnym sposobem zastąpienia części krótkich kursów dostawczych, a jednocześnie zadowalać amerykańskie pragnienie natychmiastowej gratyfikacji, ale większa liczba dronów oznacza, że logistyka staje się poważnym problemem. Firmy dostawcze potrzebują sprzedawców, którzy będą prawidłowo przygotowywać zamówienia, miejsc do ładowania dronów oraz systemów zapobiegających zderzeniom maszyn z przeszkodami i ze sobą nawzajem.

To już nie jest tylko demonstracja. Po okresie pewnych turbulencji w ramach usługi dronowych dostaw Prime Air firmy Amazon zrealizowano od 2022 roku około 16 tys. dostaw w sześciu stanach, a firma planuje dalszą ekspansję. Wing, wywodząca się z Google, od czasu swojego eksperymentalnego startu w 2012 roku zrealizowała niemal pół miliona dostaw i planuje do 2027 roku rozszerzyć działalność na cały kraj we współpracy z Walmartem.

Kilka innych firm również próbuje swoich sił. Od 2025 roku Zipline realizuje dostawy do domów w Pea Ridge w Arkansas oraz w dzielnicach wokół Dallas; w tym roku firma ogłosiła rozszerzenie działalności na część Houston i Phoenix. Podobnie jak Wing współpracuje z Walmartem, a także z sieciami restauracji, takimi jak Wendy's i – owszem – Chipotle.

Oznacza to, że Zipline już teraz realizuje tysiące dostaw dziennie – i ma problemy z nadążaniem za popularnością swojej usługi. W szczególnie intensywnym dniu 20% domów znajdujących się na jednym z obszarów objętych zasięgiem Zipline zamówiło dostawę drogą powietrzną. Popyt nadwyrężył możliwości floty. „Sądziliśmy, że do obsługi obszaru o promieniu 10 mil wystarczy 30–40 dronów – mówi Wyrobek. – Teraz jest już całkowicie jasne, że potrzeba ich znacznie więcej".

Te drony muszą się ładować. Zajmują się tym stacje dokujące – cyberpunkowe lasy metalowych słupów wyrastających z daszków w kształcie płaszczek, które firma może instalować praktycznie w każdym miejscu, jeśli tylko jest tam prąd. Na tyłach parkingu może znaleźć się 36 pojedynczych stanowisk dokujących, a jedna lokalizacja może obsługiwać setki punktów odbioru. Na terenie ośrodka testowego obserwowałem, jak drony współpracują z tymi stacjami: zataczały łuk, zniżając się w kierunku metalowych słupów, manewrowały tak, aby znaleźć się dokładnie pod jednym z daszków, a następnie unosiły się w górę, aż ich grzbietowe stateczniki połączyły się ze stacją. „Drony nie muszą wracać do pierwotnego miejsca ładowania – mówi Wyrobek. – Możemy odebrać przesyłkę, dostarczyć ją, a potem naładować drona gdzie indziej".

Tymczasem w miejscu odbioru przesyłek Zipline instaluje konstrukcje przypominające pylony, które przechwytują opadające kapsuły, aby odebrać przesyłki. Na dole mają szufladę, przypominającą stare nocne wrzutnie depozytowe w bankach, która dodatkowo sprawdza, czy przesyłka mieści się w określonych limitach rozmiaru i masy. Mają też klawiaturę, na której można wprowadzić kod wysyłający powiadomienie o możliwości odebrania zamówienia. Dron nadlatuje – znajdujące się na szczycie pylona odchylone ramiona obejmują przewód, utrzymując go blisko konstrukcji – a kapsuła opuszcza tubę, by zabrać znajdującą się w niej przesyłkę. „Zgadnijcie, jak to nazywamy? – pyta Wyrobek. – Fly-thru!"

JEŚLI WSZYSTKIE TE FIRMY zajmujące się dostawami dronowymi odnotują

eprasa.pl 807975059e



Dzięki zawisowi na wysokości około 90 m, szum wirników niesie się nad koronami drzew i nie przeszkadza ludziom na dole.

hiperwzrost albo jeśli UPS i FedEx również wzbiją się w przestworza, „stanie się to problemem – mówi Giuseppe Loianno, dyrektor Agile Robotics and Perception Lab na University of California w Berkeley. – Wielu operatorów realizujących dostawy będzie musiało korzystać z tej samej przestrzeni powietrznej. Trzeba więc będzie znaleźć sposoby na przydzielanie korytarzy lotniczych". Jak dodaje, korytarze te mogą nie odpowiadać najbardziej optymalnym trasom przelotu, co będzie miało wpływ na czas pracy akumulatorów.

Chase Murray, dyrektor Structure for Outdoor Autonomy Research Drone Facility na University at Buffalo, dostrzega ten sam rozdźwięk w szerszym kontekście. „Pojawiło się kilka pomysłowych i atrakcyjnych koncepcji – mówi – ale połączenie tej koncepcji z technologią i regulacjami prawnymi – doprowadzenie do tego, żeby wszystkie te elementy zgrały się ze sobą – okazało się wyzwaniem".

Prawo się dopiero tworzy. Na razie Zipline i podobne firmy musiały zabiegać o ograniczone zezwolenia i zwolnienia z przepisów, aby móc wykonywać komercyjne loty dronów poza zasięgiem wzroku operatorów. Proponowane przez FAA przepisy Part 108 stworzyłyby szersze ramy prawne, które pozwoliłyby na rutynowe wykonywanie tego rodzaju operacji.

Obecnie Zipline zarządza wszystkimi swoimi lotami w USA z dwóch zdalnych centrów operacyjnych. Jednak zwiększenie skali działalności do tysięcy dronów latających nad amerykańskimi miastami i przedmieściami, obsługiwanych przez wiele różnych firm, wymagałoby czegoś w rodzaju systemu zarządzania przestrzenią powietrzną. Regulatorzy, naukowcy z NASA i przedstawiciele przemysłu wciąż próbują taki system zaprojektować.

Zipline przygotowuje się na tę przyszłość. Pod koniec 2025 roku firma potroiła powierzchnię swojego zakładu produkcyjnego w pobliżu międzynarodowego lotniska w San Francisco. Dziś jest to ogromna, jasno oświetlona hala z wysokim sufitem, wypełniona regałami z krzyżowymi ramami z włókna węglowego i elementami kadłubów z polipropylenu, zdolna do produkcji 15 tys. dronów rocznie.

W odległym zakątku tego zakładu produkcyjnego znajduję pomieszczenie zapełnione niemal kompletnymi dronami. EV2, model używany w Teksasie i Arkansas, jest już wypierany przez nowszy EV3. Obie wersje różnią się m.in. tym, że w starszych dronach górna część kadłuba jest połączona z dolną za pomocą śrub. W EV3 zastosowano plastikowe zatrzaski.

Właśnie przechodzi obok Lauren Lacey, szefowa zespołu odpowiedzialnego za integrację, produkcję i inżynierię jakości w Zipline. To ona odpowiada za składanie tych tysięcy dronów. Lacey przyznaje, że nowe zatrzaski są sprytnym rozwiązaniem – polipropylen wokół śrub miał tendencję do pękania, mówi, a zatrzaski jej ekipa może odblokowywać maleńkim narzędziem przypominającym kluczyk.

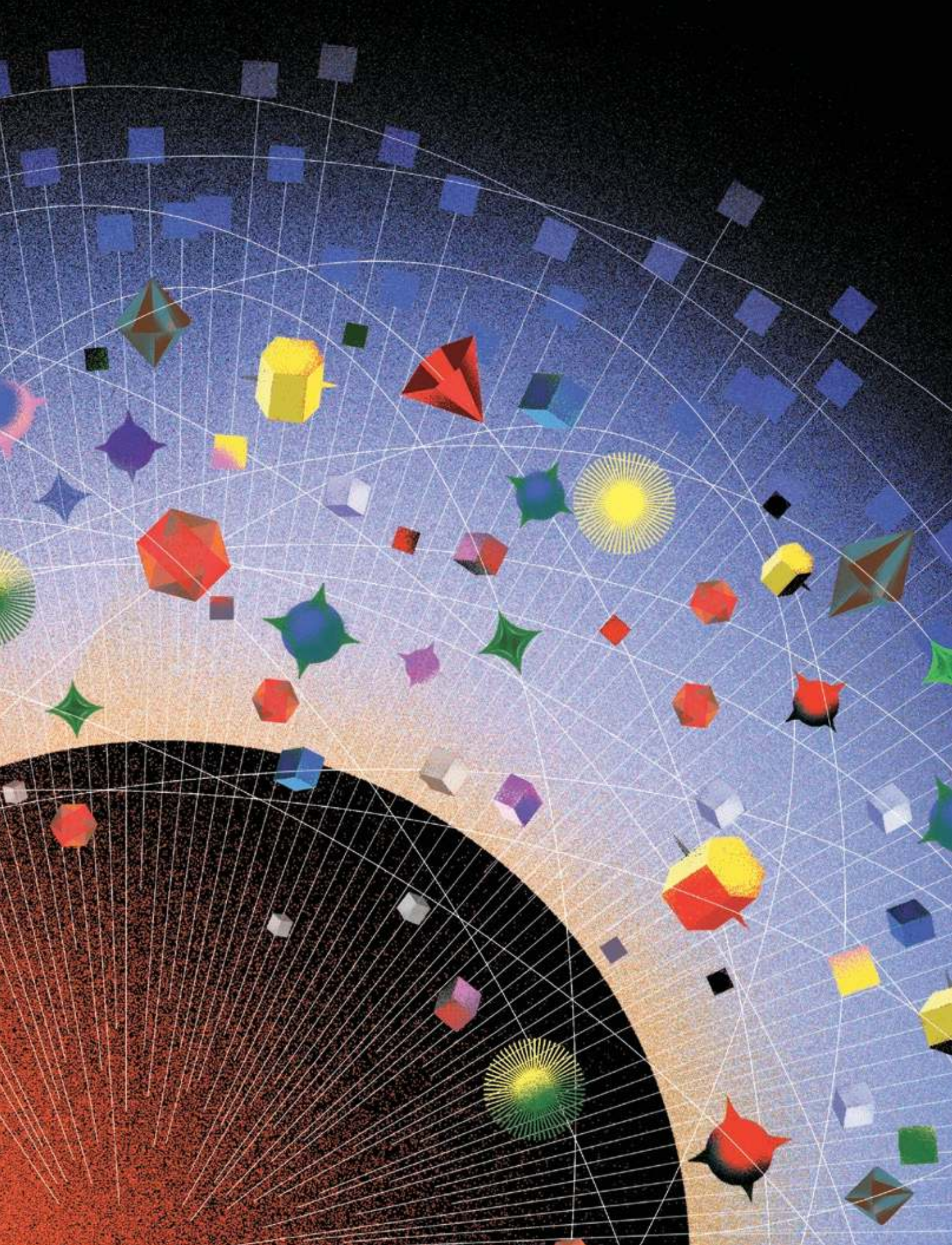
Jednak, jak mówi Lacey, jej ulubionym elementem jest statecznik grzbietowy.

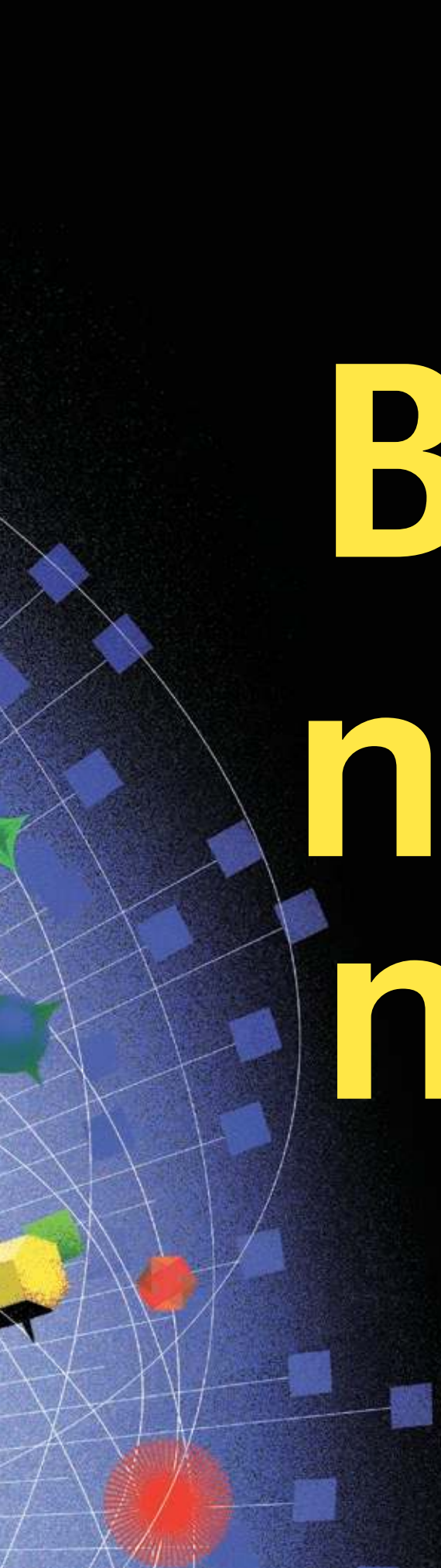
Nie tylko blokuje się on w stacji dokującej podczas ładowania, lecz także skrywa wysuniętą na wsporniku szpulę z przewodem, na którym podwieszona jest kapsuła. Lacey mówi, że ten element zrobił ogromne wrażenie na jej 101-letnim dziadku, który był głównym inżynierem w projekcie Harriera – pierwszego myśliwca odrzutowego zdolnego do operacyjnego pionowego startu i lądowania (vertical takeoff and landing, VTOL). Dziadek doskonale wiedział, że najtrudniejszym elementem VTOL jest właśnie to L – moment lądowania, kiedy dochodzi do katastrof. Dron Zipline „ląduje", unosząc się do góry, dzięki czemu wiatr nie spycha go na ziemię, lecz wprost do stacji dokującej. Jeśli lądowanie jest niebezpieczne, rozwiązanie brzmi: nie ląduj. Kiedy Lacey powiedziała dziadkowi, że drony mogą dokować przy wietrze wiejącym z przodu, był pod wrażeniem, powiedział: „No proszę, proszę!"

Lacey czuje dokładnie to samo. Delikatnie gładzi statecznik. „To po prostu genialne – mówi. – Wspaniałe. Piękne". Jeszcze trochę montażu i płasko zapakowany dron zostanie wysłany, by dołączyć do tysięcy podobnych maszyn, przemykających między stacjami dokującymi a przydomowymi ogródkami i próbujących sprawić, by dziwaczny pomysł dostaw z nieba zaczął wydawać się czymś zupełnie normalnym. ■

Zipline

eprasa.pl 807975059e

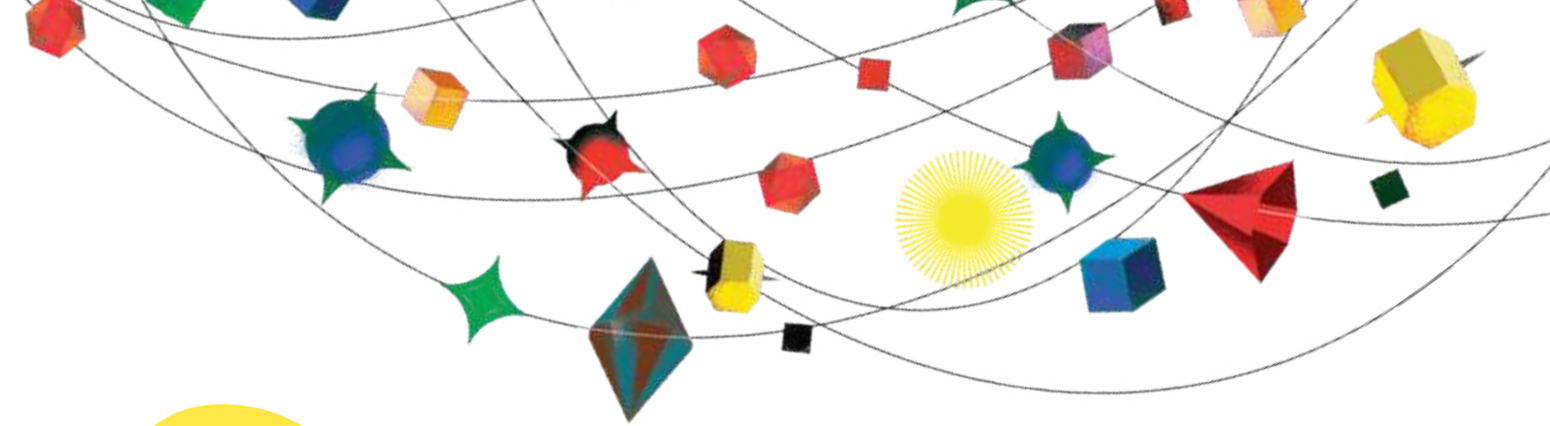




Bitwa o nocne niebo

Niebezpieczny wyścig o miejsca na orbitach wokółziemskich

JONATHAN O'CALLAGHAN
Ilustracja BRIAN STAUFFER



SIEDEM LAT TEMU, KIEDY SAMANTHA LAWLER PRZEPROWADZIŁA SIĘ na wieś w Saskatchewan, prowincji Kanady, aby wraz ze swoim partnerem prowadzić gospodarstwo rolne, jednym z największych atutów tego miejsca była cudowna, niezmącona żadnym sztucznym światłem ciemność rozciągająca się nad głową. Nocne niebo wypełniały niezliczone gwiazdy. Był to niezwykły widok, o którym mieszkańcy miast mogą tylko pomarzyć. Ma to ogromne znaczenie dla Lawler, która – gdy nie zajmuje się hodowlą kóz i kur – pracuje jako astronomka na pobliskim University of Regina i bada Wszechświat.

Jednak nad posiadłością Lawler coraz częściej pojawia się nowy rodzaj sztucznych gwiazd: satelity, ich całe konstelacje, z których większość rozsyła sygnał internetowy na cały świat. „Teraz bez przerwy widać wiele satelitów – mówi Lawler. – Zachodzące zmiany są bardzo wyraźne".

W 2019 roku, tym samym, w którym Lawler przeprowadziła się do Saskatchewan, firma SpaceX z siedzibą w Teksasie rozpoczęła na dobre instalowanie swojej megakonstelacji Starlink, wysyłając w maju na orbitę pierwsze 60 satelitów. Od tego czasu konstelacja ta gwałtownie się powiększyła. W marcu bieżącego roku SpaceX przekroczyła próg 10 tys. aktywnych Starlinków. Obecnie z usług internetowych tej firmy korzysta ponad 10 mln klientów na całym świecie. Inne firmy i kraje próbują nadrobić zaległości. Istnieją plany umieszczenia na orbicie prawie 2 mln satelitów. Jeśli nawet uda się wystrzelić tylko ułamek tej liczby, obecna flota licząca około 15 tys. satelitów będzie przy tym wyglądać niezwykle skromnie.

Gwałtowny wzrost liczby satelitów przynosi wiele korzyści, zapewniając ludziom w odległych od miast lokalizacjach szybszy i bardziej niezawodny niż dotychczas dostęp do internetu. Statki pływające po oceanach i samoloty pasażerskie mogą korzystać z szerokopasmowej łączności niezależnie od tego, gdzie się znajdują. Służby ratownicze mogą skuteczniej reagować na klęski żywiołowe, nawet gdy zawodzi lokalna infrastruktura internetowa. Żołnierze na polu walki mogą zdalnie sterować dronami i koordynować działania z dowódcami znajdującymi się na drugim końcu świata. Jednak ten gwałtowny wzrost liczby satelitów rodzi również pytania o to, ile ich możemy bezpiecznie wystrzelić, czy istnieje pewien rodzaj „pojemności" orbity ziemskiej, i jakie są ograniczenia.

Do tej pory udawało się stosunkowo sprawnie radzić sobie z kilkoma tysiącami satelitów, ale co przyniesie przyszłość? „Dotychczas było to możliwe do opanowania" dzięki odpowiedniej koordynacji – mówi Giovanni Lavezzi, naukowiec specjalizujący się w pojemności orbit z Massachusetts Institute of Technology. „Pytanie, jak daleko możemy się posunąć".

EKSPERCI ZACHOWUJĄ ostrożność w szacowaniu liczby satelitów, które można umieścić na niskiej orbicie wokółziemskiej – obszarze sięgającym 2000 km nad powierzchnię naszej planety, wykorzystywanym przez większość konstelacji satelitarnych. W jednym z badań z 2022 roku podjęto próbę odpowiedzi na to pytanie, sugerując, że na orbitach o wysokości od 200 do 900 km mogłoby znajdować się nawet 12,6 mln statków kosmicznych. Jednakże ten uproszczony scenariusz zakłada, że system jest niemal idealnie uporządkowany, co jest dalekie od rzeczywistości. W bardziej zniuansowanej ocenie opublikowanej w 2024 roku stwierdzono, że limit ten wynosiłby od około 10 mln do 100 mln satelitów – co stanowi zbyt szeroki przedział, aby pomóc decydentom od działań regulacyjnych.

Tak czy inaczej, przy tak dużej liczbie satelitów nawet niewielka liczba przypadkowych zdarzeń doprowadziłaby do chaosu. Każdego roku dochodziłoby do setek tysięcy kolizji, z których każda tworzyłaby własny rój niebezpiecznych, poruszających się z dużą prędkością odłamków. Satelity mogłyby nadal funkcjonować tylko dlatego, że część tych odłamków w naturalny sposób stopniowo wpadałaby w atmosferę ziemską, ale niektóre obszary orbity stałyby się praktycznie bezużyteczne. Celem badania z 2022 roku nie było pokazanie, że ograniczenie stanowi sama przestrzeń niskiej orbity wokółziemskiej. „Zapewne ma ona pewną pojemność graniczną – mówi Miles Lifson, ekspert ds. pojemności orbitalnej w firmie Aerospace Corporation z Wirginii i współautor obu badań. – Jednakże nie należy jej szacować na podstawie możliwej liczby satelitów".

W zasadzie moglibyśmy otoczyć Ziemię koncentrycznymi warstwami satelitów, z których każda stanowiłaby optymalnie rozłożoną, starannie i gęsto

Jonathan O'Callaghan jest nagradzanym niezależnym dziennikarzem zajmującym się astronomią, astrofizyką, komercyjnymi lotami kosmicznymi i eksploracją kosmosu. Obserwuj go na platformie X @Astro_Jonny

eprasa.pl 807975059e

upakowaną siatkę. W praktyce jednak wielkość zasobów orbitalnych zależy od całego szeregu wzajemnie oddziałujących czynników, takich jak prawdopodobieństwo awarii sprzętu, manewry mające na celu uniknięcie kolizji oraz zmienne wartości oporu atmosferycznego (który powoduje, że obiekty są usuwane szybciej z niższych wysokości niż z wyższych). Hugh Lewis, ekspert ds. śmieci kosmicznych z University of Birmingham w Anglii, zauważa, że na wysokości około 2000 km śmieci kosmiczne mogą utrzymywać się przez 100 tys. lat – co jest porównywalne z około 300 tys. lat, od kiedy ludzie zamieszkują naszą planetę.

„Orbitalna pojemność nośna przypomina fizjologiczne pojęcie homeostazy – mówi Lewis. – Podobnie jak organizm ludzki reguluje różne układy. Poziom cukru we krwi, temperatura ciała i tak dalej – wszystko to jest regulowane. Jednak każdy z tych układów wpływa na pozostałe". Na orbicie obserwujemy coś podobnego. „W grę wchodzą różne rodzaje układów" – mówi Lewis. Zbierzmy to wszystko razem, „a otrzymamy orbitalną pojemność nośną".

Szczególnie duże znaczenie mogą mieć zjawiska atmosferyczne. W marcu ubiegłego roku Matthew Brown, ekspert ds. pogody kosmicznej z University of Birmingham, wraz ze swoimi współpracownikami odkrył, że zwiększenie ilości gazów cieplarnianych w atmosferze może zmniejszyć pojemność orbitalną Ziemi nawet o połowę. „Dwutlenek węgla jest uwalniany w dolnych warstwach atmosfery, ale w górnych warstwach ma znacznie mniejszą gęstość – wyjaśnia – co powoduje, że zamiast ogrzewania następuje tam ochłodzenie. W górnych warstwach atmosfery dochodzi więc do ochłodzenia, gęstość spada, a opór atmosferyczny się zmniejsza" – co oznacza, że obiekty pozostają w przestrzeni kosmicznej dłużej. Jednak, jak twierdzi Lewis, nawet jeśli weźmiemy pod uwagę wyłącznie fizyczne warunki panujące w przestrzeni kosmicznej, „przekroczyliśmy już krytyczną liczbę obiektów, które można bezpiecznie umieścić na niskiej orbicie wokółziemskiej". To niepokojące stwierdzenie opiera się na koncepcji syndromu Kesslera, zgodnie z którym liczba satelitów na orbicie przekracza próg krytyczny, powodując niemal niekończącą się kaskadę odłamków powstających w wyniku zderzeń.

„Środowisko wymyka się nam spod kontroli" – mówi Lewis. Według jego obliczeń na wysokościach powyżej 550 km liczba satelitów jest już tak duża, że nawet gdyby dziś wstrzymano wszystkie starty, w dającej się przewidzieć przyszłości ilość śmieci kosmicznych nadal by rosła. „Tempo powstawania śmieci kosmicznych wskutek zderzeń będzie większe niż tempo, w jakim śmieci te są usuwane" przez opór atmosfery, wyjaśnia Lewis.

Jednak starty nowych satelitów nie ustają. Wręcz przeciwnie. W zeszłym roku wystrzelono więcej satelitów niż kiedykolwiek wcześniej. Wygląda na to, że ten rekord zostanie pobity jeszcze przed końcem bieżącego roku. A co z poprzednimi rekordami? Zostały one ustanowione w 2022, w 2023 i w 2024 roku. Przestrzeń kosmiczna staje się coraz bardziej zatłoczona i nie widać żadnych oznak, żeby proces ten się zatrzymał.. Tylko w 2026 roku chiński rząd wnioskował o 200 tys. nowych satelitów. W Stanach Zjednoczonych firma Starcloud ze stanu Waszyngton złożyła wniosek do Federalnej Komisji Łączności o 88 tys. satelitów, a firma Blue Origin, również z Waszyngtonu, o 51 tys. Dyrektor generalny SpaceX, Elon Musk, ogłosił w styczniu tego roku zapierający dech w piersiach plan dotyczący miliona satelitów pełniących rolę orbitalnych centrów danych.

> „Za chwilę może dojść do poważnego wypadku. A wszystkie powstałe w ten sposób szczątki spadną jak deszcz na pozostałe działające satelity".
>
> DARREN MCKNIGHT *LEOLABS*

Nie wiadomo, czy plany te są naprawdę poważne, czy też stanowią jedynie próbę zdobycia przewagi jako pierwszy gracz na orbicie – w gruncie rzeczy próbę zarezerwowania miejsca dla przyszłych satelitów. Ruth Pritchard-Kelly, ekspertka ds. regulacji przestrzeni kosmicznej z Waszyngtonu, twierdzi, że wniosek SpaceX może być jedynie „taktyką szoku i przerażenia", mającą na celu powiększenie wyceny firmy (w czerwcu, po rekordowej ofercie publicznej, wyniosła ona prawie 2 bln dolarów). „Milion satelitów? – pyta. – Dajcie spokój". Jednak wystrzelenie nawet ułamka tej liczby i tak oznaczałoby, że w najbliższych latach na orbicie pojawią się dziesiątki tysięcy nowych obiektów. A przestrzeń kosmiczna już jest zatłoczona.

PIĘĆ LAT PO PRZEPROWADZCE do Saskatchewan Lawler trafiła na zaskakującą informację. W opublikowanym w Internecie w lutym 2025 roku dokumencie firmy SpaceX ujawniono, że fragment satelity Starlink o masie 2,5 kg przetrwał wejście w atmosferę i całkiem przypadkowo spadł wczesnym latem na gospodarstwo rolne w Saskatchewan – nie na to, które należy do Lawler. Zgodnie z tym dokumentem, fragment ten był „jedynym znanym szczątkiem satelity Starlink", który dotarł na powierzchnię Ziemi. Firma nie odpowiedziała na prośbę o komentarz.

Po przeczytaniu raportu Lawler zwróciła się do lokalnej stacji radiowej, próbując dowiedzieć się, kto znalazł ten fragment. „Skontaktowałam się z farmerem. Przesłał mi kilka zdjęć tego fragmentu, ale już odesłał go do SpaceX" – mówi. Niemniej jednak potwierdził, że fragment Starlinka rzeczywiście upadł na Ziemię, zaledwie trzy godziny drogi od jego domu. „To niesamowite, że coś takiego naprawdę się wydarzyło" – mówi Lawler.

Historia ta uwydatnia niepodważalny fakt: wraz z gwałtownym wzrostem liczby satelitów na orbicie rośnie również możliwość wystąpienia niekorzystnych zdarzeń. Ryzyko, że szczątki spadną z powrotem na Ziemię i wyrządzą komuś (lub czemuś) krzywdę, jest niewielkie, ale nie zerowe. Nawet jeśli fragmenty całkowicie spłoną podczas wejścia w atmosferę, nie jest jasne, jaki wpływ na delikatną górną warstwę atmosfery naszej planety będzie miało wprowadzenie do niej tak dużej ilości metali i innych materiałów. Odpowiedzi na te pytania przyniosą przyszłe badania. Jednym z najważniejszych będzie misja Draco Europejskiej Agencji Kosmicznej, zaplanowana na rok 2027. Będzie ona polegać na wysłaniu wyposażonego w czujniki statku kosmicznego, zaprojektowanego tak, by rozpadł się podczas ponownego wejścia w atmosferę; dzięki temu naukowcy będą mogli dowiedzieć się więcej o tym dynamicznym, słabo poznanym procesie.

Kolejną kluczową kwestią jest „kontrola ruchu" na orbicie, mająca na celu zapobieganie kolizjom satelitów. Do tej pory doszło tylko do jednego takiego wypadku: w 2009 roku amerykański satelita Iridium

eprasa.pl 807975059e



Rakieta Falcon 9 firmy SpaceX, niosąca dwa tuziny satelitów Starlink, wznosi się w kosmos po starcie z bazy Sił Powietrznych Vandenberg w Kalifornii 18 lipca 2025 roku. Obecnie wokół Ziemi krąży ponad 10 tys. aktywnych satelitów Starlink, a firma SpaceX ogłosiła plany umieszczenia na orbicie miliona centrów danych.

Kevin Carter/Getty Images

uderzył w nieczynnego rosyjskiego satelitę. W wyniku tej katastrofy powstało ponad 2000 szczątków większych niż etui na słuchawki AirPods i około połowa nadal znajduje się na orbicie. Kolejna kolizja jest nieunikniona – twierdzi Stijn Lemmens, analityk ds. śmieci kosmicznych z Europejskiej Agencji Kosmicznej. „Pozostawiliśmy na orbicie obiekty, które całkowicie przestały funkcjonować i pozostaną tam przez dziesiątki, a nawet setki lat – mówi. – To kwestia matematyki. Obiekty nadal będą przelatywać obok siebie na orbicie i w końcu dojdzie do zderzenia".

Niektóre wysokości są szczególnie niebezpieczne. Darren McKnight, ekspert ds. śmieci kosmicznych z firmy LeoLabs w Kalifornii, twierdzi, że dwie z nich – 840 km i 975 km nad Ziemią – charakteryzują się wysokim ryzykiem zderzeń, ponieważ znajdują się tam liczne porzucone stopnie rakiet o rozmiarach autobusów. Obliczył on, że na tej drugiej wysokości prawdopodobieństwo zderzenia w bieżącym roku wynosi 29%. „Za chwilę może dojść do poważnego wypadku – konkluduje McKnight. – A wszystkie powstałe w ten sposób szczątki spadną jak deszcz na pozostałe działające satelity".

POWAŻNA KOLIZJA, zwłaszcza na większych wysokościach, mogłaby spowodować powstanie tak dużej liczby szczątków, że niektóre części orbity Ziemi stałyby się praktycznie nieprzydatne. „Nie chodzi o to, że przestrzeń kosmiczna stanie się bezużyteczna – mówi Brian Weeden, dyrektor ds. polityki cywilnej i handlowej w Aerospace Corporation. – To kwestia tego, jakie koszty gotowi jesteśmy ponieść, ponieważ albo zainwestujemy w techniki pozwalające zapobiegać kolizjom, albo będziemy musieli wysyłać więcej satelitów. Mogą pojawić się orbity, których eksploatacja stanie się dla wszystkich zbyt kosztowna".

W miarę jak rośnie liczba satelitów, coraz większego znaczenia nabiera kwestia unikania zderzeń. Aby uniknąć potencjalnych kolizji, konstelacja Starlink wykonuje obecnie średnio 1000 manewrów dziennie – liczba ta jeszcze 10 lat temu wydawałaby się absurdalna.

Po to, by zapobiec zderzeniu w przestrzeni kosmicznej, satelita musi uruchomić silniki manewrowe w celu uniknięcia „koniunkcji" z innym satelitą, która stwarzałaby poważne ryzyko kolizji. Jak twierdzi Zeno Pavanello, ekspert ds. unikania kolizji z Politecnico di Milano, przed pojawieniem się Starlinków typowy satelita wykonywałby takie czynności trzy lub cztery razy w roku. Manewry te, planowane z kilkudniowym wyprzedzeniem, byłyby nadzorowane przez operatora, który, używając poczty elektronicznej lub telefonu, mógłby prowadzić negocjacje z operatorem innego satelity w celu ustalenia, który obiekt ma zmienić trajektorię lotu.

Taki spokojny, pracochłonny scenariusz często nie jest już wykonalny. Obecnie normą stają się autonomiczne pokładowe systemy unikania kolizji, które bez udziału człowieka potrafią przewidywać zderzenia i ich unikać. „Proces, który jest całkowicie manualny i wymaga wielu godzin pracy, wkrótce stanie się niemożliwy do utrzymania – mówi Pavanello. – Znajdziemy się w sytuacji, w której satelity będą doświadczać więcej niż jednej koniunkcji dziennie".

SpaceX wykorzystuje największy autonomiczny system zapobiegania zderzeniom, jaki obecnie znajduje się na orbicie. W zeszłym roku firma poinformowała o liczbie kolizji, do których nie doszło, powiadamiając Federalną Komisję Łączności, że Starlinki łącznie uniknęły około

eprasa.pl 807975059e



300 tys. zderzeń w ciągu roku, co oznacza średnio 40 manewrów na satelitę. SpaceX niechętnie ujawnia szczegóły dotyczące działania swojego systemu, ale w 2025 roku eksperyment NASA o nazwie Starling wyjaśnił niektóre elementy tego procesu. Badacze wysłali ścisłą formację czterech satelitów w obszar orbitalny Starlinków, aby uzyskać wgląd w to, w jaki sposób dwie konstelacje satelitów mogą się wzajemnie omijać.

Zgodnie z informacjami przekazanymi NASA przez SpaceX, co 10 min każdy satelita Starlink ponownie oblicza swoją pozycję i prognozuje trajektorię lotu na najbliższe 48 godzin. Następnie satelita porównuje tę orbitę z trajektoriami obiektów znajdujących się w bazie danych prowadzonej przez amerykańskie siły zbrojne. Jeśli wykryje potencjalne ryzyko kolizji, uruchamia silniki manewrowe i nie wyłącza do momentu, aż ryzyko kolizji spadnie poniżej jednego na 30 mln. (Liczba ta jest znacznie bardziej bezpieczna niż standard branżowy, który wynosi jeden na 10 tys.).

Na razie proces ten przebiegał bez zakłóceń, ale w przyszłości będzie się tylko komplikował. Według obliczeń Lewisa, gdyby firma SpaceX zrealizowała swój plan wystrzelenia miliona satelitów służących jako centra danych, konstelacja musiałaby wykonywać corocznie miliard manewrów zapobiegających kolizjom. „To absurdalne – uważa Lewis. – Trudno to sobie wyobrazić. Rok nie ma aż tylu sekund!"

A ocena Lewisa dotyczy wyłącznie konstelacji Starlink. Jeśli dodać do tego inne konstelacje o porównywalnej wielkości, takie jak te, które są planowane w Stanach Zjednoczonych i Chinach, sytuacja staje się znacznie bardziej skomplikowana. Dotychczas nie ma znaczącego konkurenta dla Starlinków; kolejna co do wielkości konstelacja, europejska OneWeb, liczy zaledwie około 650 satelitów, które krążą na większej wysokości. Jednak wraz z uruchamianiem kolejnych konstelacji największym czynnikiem determinującym pojemność orbity może się stać nie fizyka, ale polityka regulacyjna.

PODSTAWOWE PRZEPISY regulujące obecnie kwestie związane z przestrzenią kosmiczną zostały zapisane w Traktacie o przestrzeni kosmicznej z 1967 roku. Chociaż traktat ten nie przewidywał powstania megakonstelacji, określił jednak pewne kluczowe parametry dotyczące statków kosmicznych. Warto zwrócić uwagę, że artykuł II traktatu stanowi, iż przestrzeni kosmicznej nie można zawłaszczać „poprzez użytkowanie lub okupację".

To postanowienie stwarza problemy dla konstelacji takich, jak Starlink, która zdominowała obszar, w którym działa, czyli na wysokości od około 350 do około 550 km nad Ziemią. Gdy inne konstelacje będą chciały rozpocząć działalność, kto podejmie decyzję, które z nich będą mogły korzystać z określonych wysokości – i w jaki sposób? „Potencjalnie przestrzeń jest ogromna, ale dostępnych obszarów mamy ograniczoną ilość" – mówi William Parker, naukowiec zajmujący się przestrzenią kosmiczną w Aerospace Corporation. A jeśli zderzenia między aktywnymi satelitami, generujące śmieci kosmiczne, stworzą orbitalne „strefy zagrożenia" – czy operatorzy poniosą za to odpowiedzialność? „To puszka Pandory w prawie kosmicznym – mówi Michelle Hanlon, dyrektor wykonawcza Center for Air and Space Law przy School of Law na University of Mississippi. – Niezbyt jasne sformułowanie w Traktacie o przestrzeni kosmicznej faworyzuje pierwszego użytkownika, choć nie zapisano tego umyślnie".

No i mamy kwestię wpływu satelitów na nocne niebo, co nieustannie niepokoi Lawler i innych astronomów. Błyski satelitów już teraz zakłócają obserwacje prowadzone zarówno przez teleskopy na Ziemi, jak i w przestrzeni kosmicznej. Badanie opublikowane w grudniu ubiegłego roku wykazało, że umieszczenie na orbicie pół miliona satelitów oznaczałoby, iż niemal na każdym zdjęciu wykonanym przez teleskop w dowolnym miejscu znajdowałby się satelita. Gdyby liczba ta wzrosła do miliona, czasami na niebie byłoby widać więcej satelitów niż gwiazd. „Nie bylibyśmy w stanie uprawiać astronomii – mówi Lawler. – Nie ma mowy".

Żadna międzynarodowa instytucja nie reguluje oficjalnie ruchu orbitalnego. Najbliższą tego rodzaju organizacją jest Międzynarodowa Unia Telekomunikacyjna (International Telecommunications Union, ITU) w Szwajcarii, będąca częścią Organizacji Narodów Zjednoczonych. Przydziela ona pasma radiowe dla transmisji satelitarnych i pomaga koordynować przydzielone orbity. Jednakże ITU ma tendencję do rozpatrywania wniosków dotyczących satelitów bez uwzględniania zasobów orbitalnych Ziemi, nieważne czy Chiny wnioskują o 200 tys. satelitów, czy też SpaceX o milion. System ten jest „zdecydowanie niesprawny" – mówi Pritchard-Kelly – a procedura pochodzi z minionej epoki, kiedy budowa nawet jednego satelity mogła zająć lata.

Alexandre Vallet, szef departamentu usług kosmicznych ITU, twierdzi, że organizacja ta „miała pewne trudności" w związku z gwałtownym wzrostem liczby satelitów. Obecnie podejmowane są jednak próby dostosowania ITU do nowych realiów. Podczas Światowej Konferencji Radiokomunikacyjnej ITU, która odbędzie się w październiku 2027 roku w Szanghaju, delegaci omówią różne opcje, takie jak rezerwowanie części niskiej orbity wokółziemskiej dla każdego członka ONZ, tak aby wszyscy mieli szansę na umieszczenie własnej konstelacji satelitów. Mogłoby to zapobiec faktycznemu zmonopolizowaniu całej orbity przez pojedynczy kraj lub firmę.

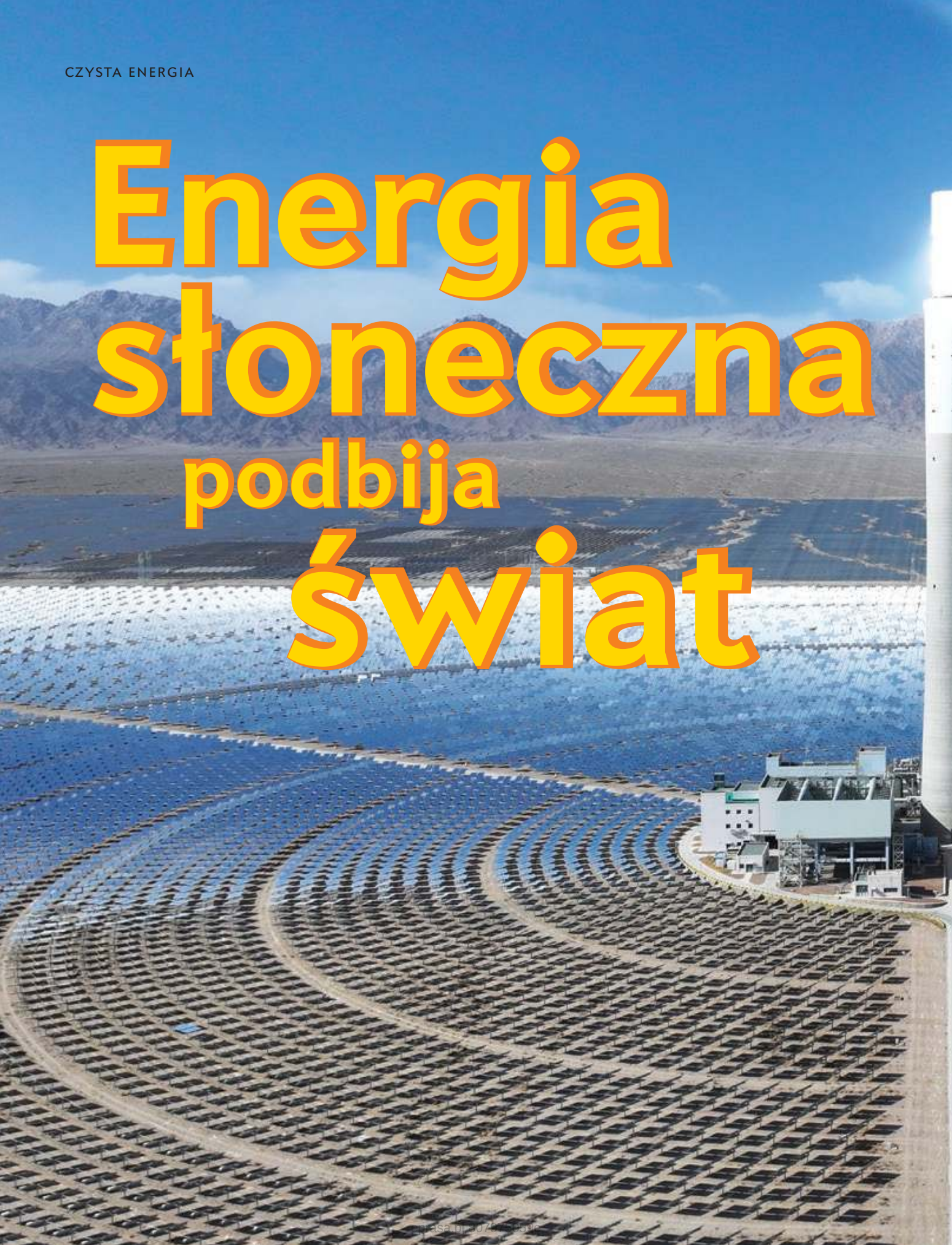
Czas ma jednak kluczowe znaczenie. Wielu ekspertów twierdzi, że liczba satelitów już teraz stanowi zagrożenie. W grudniu ubiegłego roku Lawler i jej współpracownicy opublikowali nowy wskaźnik o nazwie CRASH Clock (Zegar czasu wypadku), który szacuje, co stałoby się na orbicie, gdyby każdy satelita nagle przestał działać. Może to brzmieć jak daleko idący eksperyment myślowy, ale nie jest całkowicie niemożliwe. W historii naszej planety doszło do wielu potężnych rozbłysków słonecznych, które byłyby w stanie zniszczyć statki kosmiczne.

Wyniki badania są zatrważające. W ciągu pięciu dni od utraty łączności z satelitami nastąpiłaby kolizja na orbicie. Lawler i jej współautorzy skorygowali później tę prognozę do mniej niż trzech dni, ponieważ od czasu opublikowania badania na orbitę wysłano wiele nowych satelitów. „Im więcej satelitów na niebie, tym mniej czasu nam pozostaje – mówi Lawler. – Co oznacza, że w razie błędu mamy coraz mniejsze pole manewru". Dodaje, że „uwydatnia to, jak bardzo polegamy na firmie SpaceX, która musi nadal bezbłędnie wykonywać wszystkie manewry zapobiegające zderzeniom".

To, co dotychczas zademonstrowała SpaceX, jest bez wątpienia imponujące. „Gdyby wszyscy postępowali tak, jak Starlink, w przestrzeni kosmicznej byłoby znacznie więcej satelitów" – mówi McKnight. Nie ma jednak gwarancji, że przyszłe konstelacje będą równie dobrze dopracowane, ani że firma SpaceX utrzyma obecne standardy w przyszłości. Ostatecznie może się okazać, że na orbicie ziemskiej zamiast milionów statków kosmicznych uda się umieścić niewiele więcej niż jest ich teraz. ■

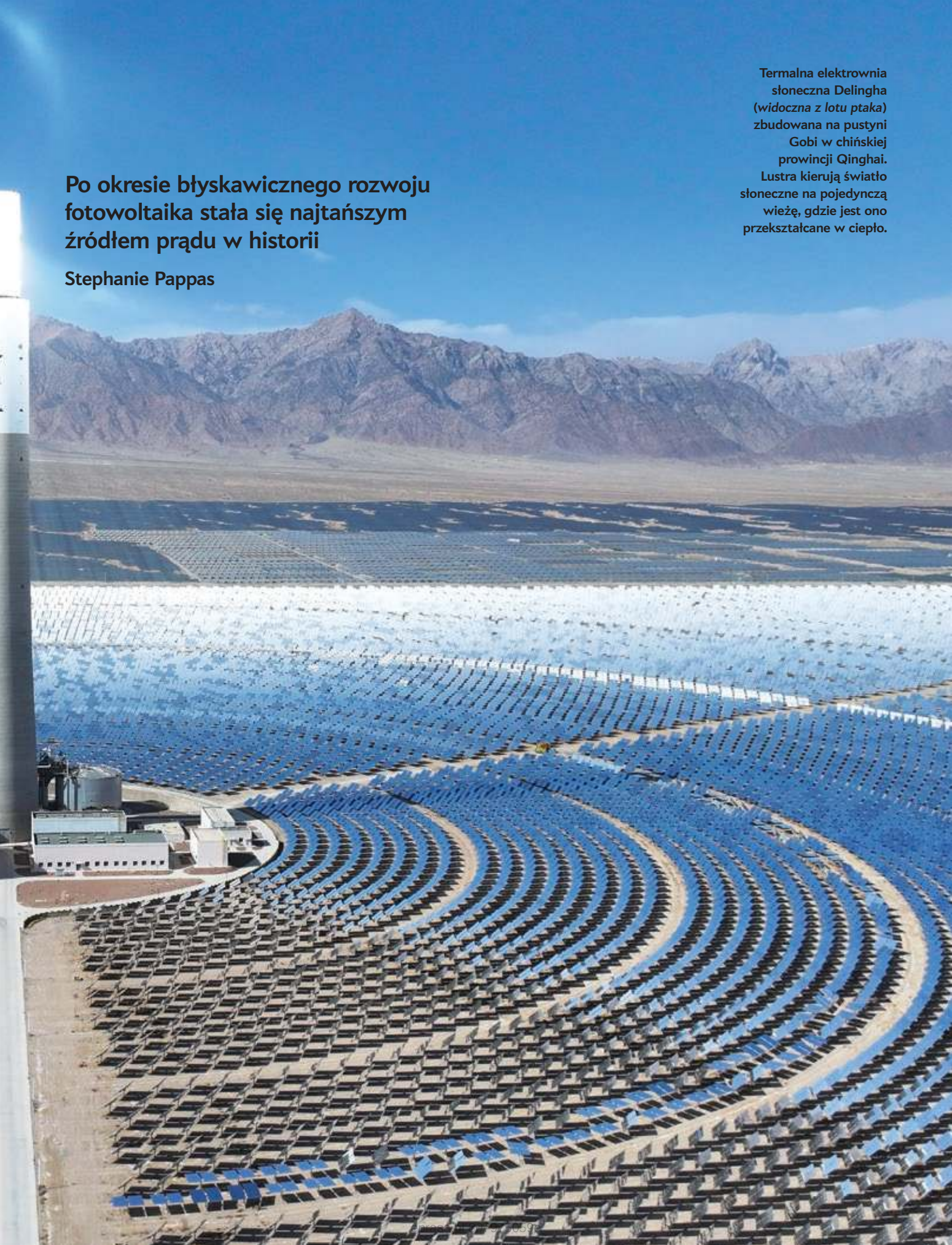
eprasa.pl 807975059e

Energia słoneczna podbija świat



Po okresie błyskawicznego rozwoju fotowoltaika stała się najtańszym źródłem prądu w historii

Stephanie Pappas



Termalna elektrownia słoneczna Delingha (*widoczna z lotu ptaka*) zbudowana na pustyni Gobi w chińskiej prowincji Qinghai. Lustra kierują światło słoneczne na pojedynczą wieżę, gdzie jest ono przekształcane w ciepło.

CZTERDZIEŚCI SIEDEM LAT TEMU PREZYDENT USA JIMMY CARTER stał z uśmiechem przed zestawem 32 dużych, masywnych paneli słonecznych. Był rok 1979, a kryzys naftowy sprawił, że ceny paliw wystrzeliły. Carter postanowił uczynić Biały Dom przykładem oszczędzania energii i wykorzystywania jej alternatywnych źródeł. „Energia słoneczna nie będzie zanieczyszczać naszego powietrza ani wody – mówił. – Nie zabraknie nam jej. Nikt nigdy nie będzie mógł zaanektować Słońca ani przerwać dostaw pochodzącej z niego energii".

Panele były drogie i prymitywne według dzisiejszych standardów. Kosztowały około 160–500 dolarów w przeliczeniu na dzisiejsze ceny, a do tego nawet nie wytwarzały prądu; jedyną rzeczą, jaką robiły, było podgrzewanie wody m.in. na potrzeby kuchni. Jednak argument Cartera jest wciąż aktualny: w zglobalizowanej gospodarce, w której pojedynczy konflikt może z dnia na dzień wstrzymać dostawy milionów baryłek paliw kopalnych, atrakcyjność Słońca jako źródła energii jest niepodważalna. A jeśli chodzi o koszt energii, lepszej oferty obecnie nie znajdziemy. „Energetyka słoneczna dostarcza dziś najtańszy prąd" – mówi Walajabad S. Sampath, dyrektor ośrodka Center for Next Generation Photovoltaics na Colorado State University.

Jeszcze zanim konflikt USA z Iranem doprowadził do zamknięcia cieśniny Ormuz na wiele miesięcy, co poskutkowało gwałtownym wzrostem cen paliw kopalnych, energetyka słoneczna rozwijała się w zawrotnym tempie. W ubiegłym roku świat zwiększył produkcję energii elektrycznej z fotowoltaiki o 600 terawatogodzin – taka ilość wystarczyłaby na zasilenie Kanady przez cały rok. Po raz pierwszy w historii odnawialne źródło energii znalazło się na pierwszym miejscu pod względem wzrostu podaży energii na świecie. Z danych Międzynarodowej Agencji Energetycznej (International Energy Agency, IEA) wynika, że był to również największy w ciągu jednego roku przyrost produkcji energii elektrycznej wśród wszystkich technologii jej wytwarzania. W kwietniu think tank energetyczny Ember zwrócił uwagę, że obecna globalna produkcja słonecznego prądu odpowiada całkowitemu zapotrzebowaniu Unii Europejskiej na energię elektryczną. I choć wciąż pozostaje ona w tyle za gazem ziemnym i węglem, jej udział w produkcji energii wzrósł w latach 2014–2025 niemal 19 razy.

Administracja Trumpa była niechętna energetyce słonecznej, ograniczając o miliardy dolarów finansowanie przystępnych cenowo projektów i odmawiając, za pośrednictwem Departamentu Spraw Wewnętrznych, wydawania nowych pozwoleń. Jednak między innymi dzięki ulgom podatkowym oraz inwestycjom, które rozpoczęły się jeszcze przed zmianą lokatora w Białym Domu, energetyka słoneczna w USA nadal ma rozpęd, a jej bilans ekonomiczny pozostaje atrakcyjny. W maju tego roku udział Słońca w produkcji energii elektrycznej w USA po raz pierwszy w historii przewyższył udział węgla. Przyjrzymy się, w jaki sposób źródło energii, które niegdyś było niszowe, stało się globalną potęgą.

Stephanie Pappas jest niezależną dziennikarką naukową. Mieszka w Denver w stanie Kolorado.

Energetyka słoneczna dostarcza najtańszej energii w historii

KIEDY SAMPATH NA POCZĄTKU LAT 90. zaczynał pracę w tej branży, uważano powszechnie, że żaden panel słoneczny nigdy nie będzie w stanie uzyskać wystarczającej ilości słonecznej energii, by zrekompensować energię zużytą do jego wytworzenia. Dziś standardowa instalacja słoneczna odzyskuje energię wykorzystaną do jej produkcji w ciągu roku lub dwóch, a domowy system fotowoltaiczny kosztuje około 25 tys. dolarów, co czyni go znacznie bardziej praktycznym rozwiązaniem niż instalacja, którą Carter zamontował w Białym Domu.

Opłacalność energetyki słonecznej jest częściowo zasługą postępu technicznego, który zwiększył sprawność paneli. Najnowocześniejszy panel IBM z 1977 roku, wykorzystywany do badań laboratoryjnych, osiągał sprawność 22% – dziś taką wartość można uzyskać w najlepszych zestawach domowych. Standardowe systemy osiągają około 20%.

China News Service/Getty Images (*poprzednie strony*)

eprasa.pl 807975059e

Jednym z najważniejszych przełomów, który nastąpił pod koniec lat 80., było opracowanie rodzaju ogniwa słonecznego określanego skrótem PERC (passivated emitter and rear cell, ogniwo z pasywacją emitera i spodniej strony ogniwa). Zastosowano w nim dodatkową warstwę odbijającą z tyłu ogniwa, która pozwalała wychwytywać więcej światła, by przekształcać je w energię elektryczną, a jednocześnie blokowała fale o większej długości powodujące niepotrzebne dodatkowe nagrzewanie się ogniwa, prowadzące do zmniejszenia jego wydajności, a nawet degradacji. Od 2024 roku PERC ustępuje miejsca innej technologii – ogniwom typu TOPCon (tunnel oxide passivated contact, z pasywnym kontaktem wykorzystującym zjawisko tunelowania przez cienką warstwę tlenku). Wyprzedziły one ogniwa PERC dzięki większej sprawności i łatwości zwiększenia produkcji. „Wyższa sprawność oznacza stosunkowo mniejszy panel, mniej zajętego miejsca, mniej okablowania i mniej elementów konstrukcyjnych, na których montuje się panele – mówi Sampath. – Wszystkie te potrzeby maleją wraz ze wzrostem sprawności".

Na gwałtowny spadek cen w ciągu ostatniej dekady wpłynął również postęp po stronie produkcji: materiały są czystsze, a procesy wytwarzania precyzyjniejsze. Znaczenie miała także skala produkcji. Chiński przemysł fotowoltaiczny jest obecnie silnie zintegrowany i wydajny, a większe fabryki mogą produkować panele z niższym kosztem jednostkowym niż w czasach, gdy energetyka słoneczna była niszową gałęzią przemysłu z małymi liniami produkcyjnymi. Świat – na czele z Chinami – jest dziś w stanie w ciągu jednego roku wyprodukować moduły fotowoltaiczne o łącznej mocy 1405 GW.

Energia słoneczna to dziś najtańsze na Ziemi źródło prądu

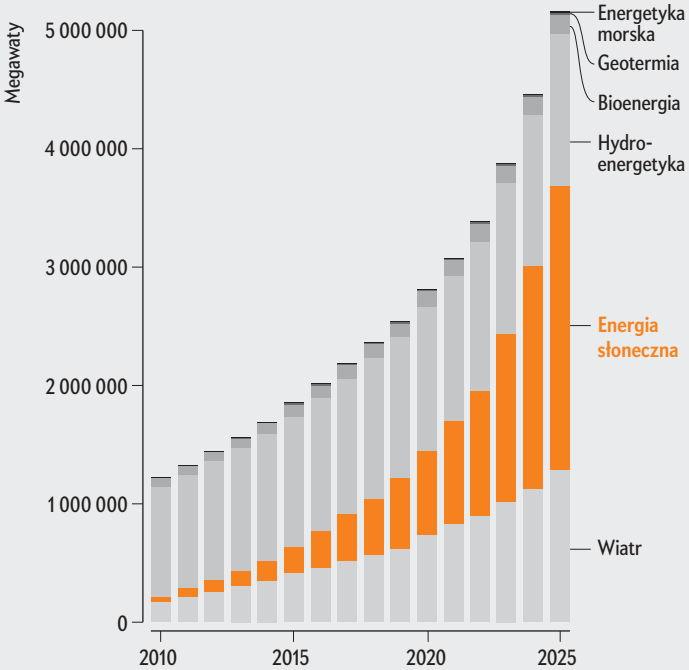
WALAJABAD S. SAMPATH,
COLORADO STATE UNIVERSITY

Wszystko to przekłada się na tanią energię elektryczną. W ubiegłym roku firma doradcza Lazard opublikowała raport, który wykazywał, że uśredniony koszt energii – czyli koszt instalacji podzielony przez ilość energii, jaką ma ona wyprodukować w ciągu całego okresu eksploatacji – wynosi dziś od 38 do 78 dolarów za megawatogodzinę (MWh) w przypadku nowych wielkoskalowych elektrowni słonecznych. Dla porównania, dla nowych elektrowni gazowych wartość ta waha się w przedziale 48–109 dolarów za MWh. IEA już w 2020 roku uznała, że energia z wielu instalacji fotowoltaicznych jest najtańszą formą energii w historii ludzkości. „Nawet tam, gdzie wsparcie rządowe jest słabe lub zostało ograniczone, jak w USA, energia słoneczna pozostanie konkurencyjna cenowo" – mówi Christopher Namovicz, analityk z U.S. Energy Information Administration. Energia słoneczna na dobre dołączyła więc do węgla i gazu ziemnego jako tani gracz na rynku energii.

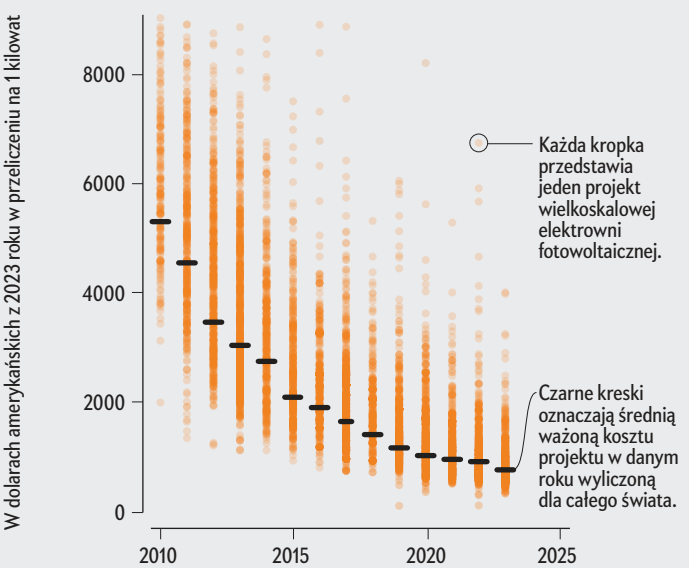
Rosnące moce, spadające koszty

Zaledwie 16 lat temu energetyka słoneczna dostarczała skromne 41 tys. MW mocy do światowego systemu elektroenergetycznego, a średni koszt budowy dużej elektrowni słonecznej wynosił około 5300 dolarów za kilowat. W 2023 roku koszty takich projektów spadły do 758 dolarów za kilowat, a obecna moc energetyki słonecznej wynosi około 2,4 mln MW. W rezultacie energia słoneczna stała się konkurencyjna cenowo w stosunku do nowych projektów opartych na paliwach kopalnych.

Skumulowana moc odnawialnych źródeł energii zainstalowanych na świecie



Średni koszt instalacji wielkoskalowego zestawu fotowoltaicznego na świecie



ŹRÓDŁO: International Renewable Energy Agency (*dane dotyczące mocy*); *Renewable Power Generation Costs in 2023*, International Renewable Energy Agency, Abu Zabi (*dane dotyczące kosztów*)

Grafika: Jen Christiansen

eprasa.pl 807975059e

Dwa kraje, choć niezamierzenie, doprowadziły do przełomu



Rzędy paneli słonecznych rozstawionych na pustyni Gobi w Wuzhong w Chinach. Władze tego kraju inicjują budowę wielkich elektrowni słonecznych na obszarach pustynnych, licząc m.in. na to, że takie projekty pomogą w walce z pustynnieniem i burzami pyłowymi.

VCG/Getty Images

CHOĆ TECHNOLOGIA stojąca za energetyką słoneczną istnieje od lat 50., jej rozwój w ostatnich dekadach można częściowo przypisać wydarzeniom, które rozegrały się w dwóch krajach na początku XXI wieku: Niemczech i Chinach. W tamtym czasie niemiecka Partia Zielonych wykorzystała układ sił w rządzie do wprowadzenia systemu subsydiów dla dachowych instalacji fotowoltaicznych, mówi Bill McKibben, działacz środowiskowy i pisarz zajmujący się kwestiami klimatycznymi. Równocześnie Chiny zwiększały na masową skalę swoje moce produkcyjne. Niemieckie subsydia pomogły stworzyć europejski rynek dla modułów i komponentów fotowoltaicznych, a chińskie firmy budowały fabryki, aby zaspokoić ten popyt.

Gdy po kryzysie gospodarczym w 2009 roku popyt na panele słoneczne spadł, chiński rząd wkroczył do akcji i wynegocjował z Unią Europejską minimalne ceny importowe, aby podtrzymać eksport, a także ustanowił krajowe cele rozwoju energetyki słonecznej, żeby pobudzić popyt wewnętrzny. „Chiny rozwinęły podaż, ale same miały niewielki rynek wewnętrzny, a ponieważ problem zanieczyszczeń atmosferycznych narastał, rozwój energetyki słonecznej pozwalał realizować kilka priorytetów jednocześnie” – mówi Lauri

eprasa.pl 807975059e

Myllyvirta, współzałożyciel organizacji Center for Research on Energy and Clean Air (CREA). Później Pekin zmusił firmy do konsolidacji, zapobiegając konkurencji, która mogłaby doprowadzić do upadku ich wszystkich. W efekcie powstał silnie zintegrowany i bardzo wydajny przemysł – mówi Michael Davidson, profesor polityki i inżynierii na University of California w San Diego. Chiński rząd zaczął również inwestować miliardy dolarów w badania i rozwój czystej energii.

Chiński przemysł fotowoltaiczny przyczynił się również do innowacji w produkcji, dzięki czemu przetwarzanie surowców stało się znacznie bardziej jednolite. W efekcie krzem wykorzystywany dziś w komercyjnych panelach ma czystość 99,9999999% – ocenia Sampath. Fakt, że Chiny wytwarzają dziś zdecydowaną większość instalacji fotowoltaicznych, daje im znaczną przewagę nad innymi krajami, ponieważ produkcja na tak olbrzymią skalę pozwala znacznie obniżyć koszty. „Skupili się na tym celu, konsekwentnie wprowadzali kolejne ulepszenia" – mówi Sampath. Dziś Chiny są nie tylko największym producentem, lecz także największym rynkiem.

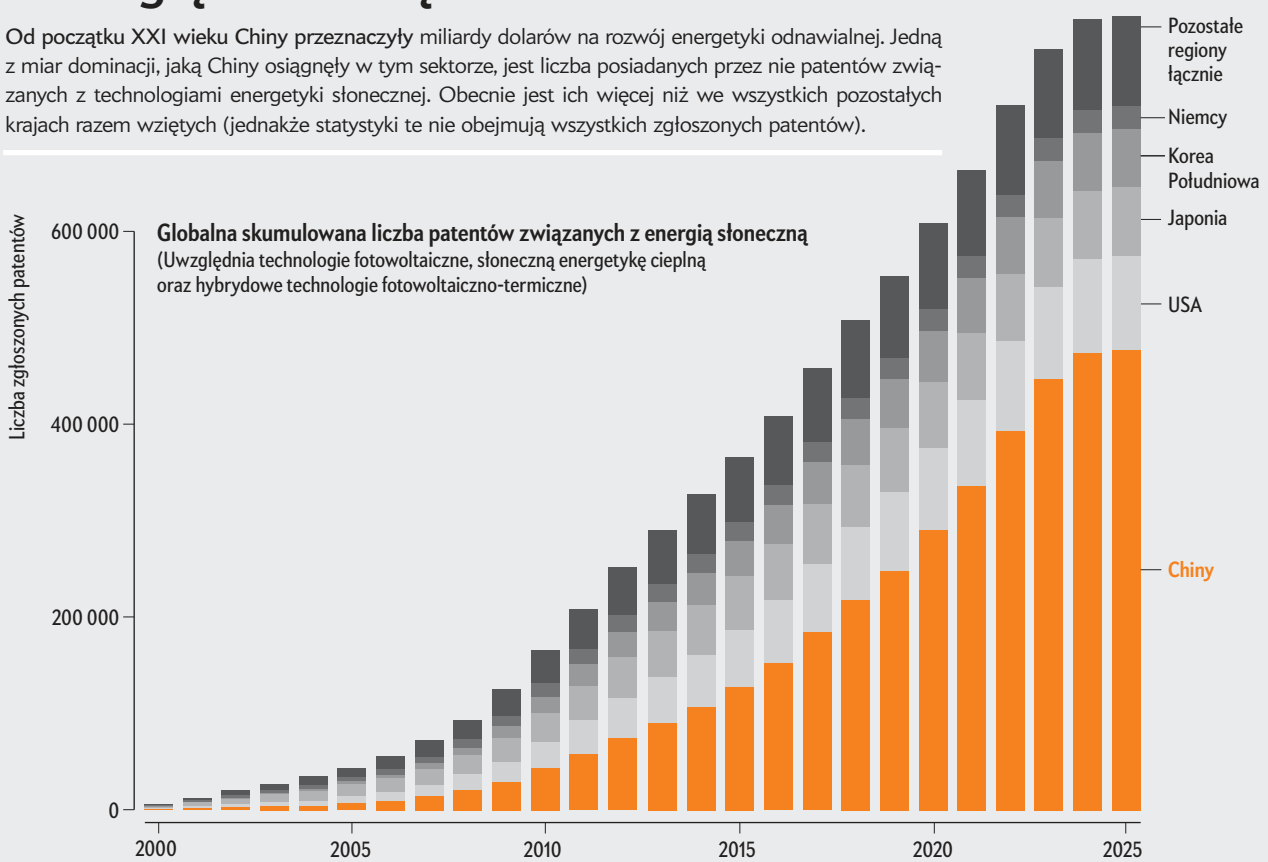
W 2024 roku Chiny odpowiadały za ponad 93% światowej produkcji krzemu polikrystalicznego, prawie 97% produkcji płytek krzemowych, około 92% produkcji ogniw fotowoltaicznych i około 86% produkcji modułów fotowoltaicznych, wynika z danych China Photovoltaic Industry Association. Obecnie fotowoltaika dostarcza 10% energii elektrycznej w Chinach, mówi Myllyvirta.

W 2025 roku odnawialne źródła energii pokryły cały wzrost zapotrzebowania Chin na energię elektryczną, co pozwoliło na ustabilizowanie emisji gazów cieplarnianych mimo wzrostu zapotrzebowania na prąd. Kraj produkuje dziś tak dużo urządzeń fotowoltaicznych, że pojawiły się trudności ze znalezieniem wystarczającej liczby nabywców, choć wojna w Iranie zwiększyła popyt. W marcu tego roku eksport chińskiego sektora solarnego osiągnął rekordowy poziom porównywalny z całkowitą mocą instalacji fotowoltaicznych w Hiszpanii.

Chiny intensywnie inwestują również w rozwój ogniw nowej generacji, mówi Davidson. Według niego kraj ten niemal na pewno jako pierwszy skomercjalizuje ogniwa tandemowe o wyższej sprawności, które często łączą krzem z perowskitami. Innymi słowy, chiński przemysł fotowoltaiczny zapewne jeszcze długo będzie dominował na świecie, przewiduje Davidson. „Chińskie firmy wciąż są o wiele bardziej zaawansowane i konkurencyjne aniżeli firmy z innych krajów" – mówi.

Chiny są liderem patentów związanych z energią słoneczną

Od początku XXI wieku Chiny przeznaczyły miliardy dolarów na rozwój energetyki odnawialnej. Jedną z miar dominacji, jaką Chiny osiągnęły w tym sektorze, jest liczba posiadanych przez nie patentów związanych z technologiami energetyki słonecznej. Obecnie jest ich więcej niż we wszystkich pozostałych krajach razem wziętych (jednakże statystyki te nie obejmują wszystkich zgłoszonych patentów).



ŹRÓDŁO: EPO PATSTAT, edycja jesień 2025 roku, z wykorzystaniem klasyfikacji Climate Change Mitigation Technologies (Y02) za pośrednictwem IRENA (2025) INSPIRE Platform, www.irena.org/INSPIRE (*dane*)

eprasa.pl 807975059e

Energetyka słoneczna pozwala krajom na całkowite uniezależnienie się od paliw kopalnych

W UGANDYJSKIEJ WIOSCE KIJUMBA, w pobliżu której przebiegają dwa rurociągi naftowe, mieszkańcy od lat palili trawę lub drewno, aby oświetlić domy. Około połowa Ugandyjczyków wciąż nie ma dostępu do elektryczności. Jednak w niektórych domach w Kijumbie pojawiło się już elektryczne światło. To efekt kampanii o nazwie REPower Afrika, w ramach której miejscowe kobiety uczą się samodzielnie instalować systemy solarne.

REPower ruszyła w 2024 roku, aby dostarczać energię słoneczną do wiosek, których mieszkańcy zostali przesiedleni w związku z budową rurociągu do transportu paliwa kopalnego. „Energię słoneczną można bardzo łatwo zdecentralizować" – podkreśla Rukiya Khamis, która w organizacji 350.org zajmującej się sprawiedliwością klimatyczną kieruje programem dla Afryki Wschodniej. „Każdy może z niej korzystać. Można umieścić panele na dachu i gotowe. Włączasz i od razu działa" – zauważa.

W 2025 roku w różnych krajach Afryki zainstalowano w energetyce słonecznej łącznie 4,5 GW nowej mocy – o 54% więcej niż w 2024 roku. To największy do tej pory wzrost mocy solarnych na kontynencie w jednym roku. „Rewolucja słoneczna w Afryce już się rozpoczęła"



ISAAC KASAMANI/Stringer/Getty Images

Robert Otala z wioski Alaki w Ugandzie, położonej około 300 km na północny wschód od stolicy kraju, sprawdza panele słoneczne, które wykorzystuje do celów domowych.

eprasa.pl 807975059e

Słoneczny szlak z Chin do Afryki

W ostatnich latach energetyka słoneczna szybko rozwija się w Afryce. Monitorowanie zjawiska, z wyjątkiem wielkoskalowych projektów, jest trudne, ale eksport paneli fotowoltaicznych z Chin, które odpowiadają za 80% ich światowej produkcji, pokazuje, jak bardzo wzrosło wykorzystanie energii słonecznej tylko w ciągu ostatnich dwóch lat.



– mówi Sonia Dunlop, dyrektor generalna Global Solar Council (GSC), organizacji reprezentującej sektor energii słonecznej. Z danych GSC wynika, że w ostatnich czterech latach udział scentralizowanych, wielkoskalowych projektów w imporcie paneli słonecznych wynosił średnio tylko 15%. Oznacza to, że za ekspansję energetyki słonecznej odpowiadają przede wszystkim małe instalacje umieszczane na dachach domów.

Tego rodzaju niezależność jest atrakcyjna nie tylko z perspektywy bezpieczeństwa energetycznego, ale też sprawiedliwości społecznej, mówi Khamis. Małoskalowe instalacje nie powodują większych szkód środowiskowych i nie prowadzą do wysiedlania ludzi, a prąd zaczyna płynąć od razu. „Jeśli ktoś mieszka w odległej wiosce w Afryce, może czekać ponad dekadę na podciągnięcie do niej linii energetycznej. Ale może kupić panel słoneczny i mieć prąd za miesiąc" – mówi Daan Walter, główny naukowiec w Ember.

Cena jest także kluczowym czynnikiem w przypadku większych projektów realizowanych w rozwijających się krajach, mówi Walter. Energia słoneczna przez długi czas wiązała się z wysokim kosztem początkowym, na który większości ludzi i przedsiębiorstw nie było stać, szczególnie w gospodarkach wschodzących, w których koszt kredytu może wynosić nawet ponad 20%. Aby projekt taki, jak mała fabryka zasilana energią słoneczną, był opłacalny, kredytobiorcy muszą odzyskać poniesione koszty w ciągu dwóch–trzech lat, mówi Walter. Kiedy nowe elektrownie węglowe i gazowe były tańsze od nowych instalacji fotowoltaicznych, inwestycja w energię słoneczną zwracała się zbyt długo, a paliwa kopalne pozostawały najtańszą opcją. Jednak niedrogie systemy produkowane w Chinach są dziś konkurencyjne cenowo w stosunku do nowych elektrowni węglowych i gazowych. „Konsumenci nie są już zmuszeni do wyboru paliw kopalnych tylko dlatego, że jest to jedyna opcja, na którą mogą sobie pozwolić w krótkim terminie. Teraz mogą wybrać także energetykę słoneczną" – mówi Walter.

Wzrost kosztów życia spowodowany zamknięciem cieśniny Ormuz sprawia, że panele słoneczne – a także elektryczne taksówki motocyklowe *boda boda* kursujące po ulicach miast Afryki Wschodniej – stają się jeszcze atrakcyjniejsze dla zwykłych ludzi. (Chociaż, jak zauważa Khamis, wzrost cen energii skłania niektóre afrykańskie rządy do rozwijania własnych zasobów paliw kopalnych, aby zmniejszyć zależność od importu.)

„Wyzwaniem jest zapewnienie finansowania i wsparcia ze strony władz, aby energia słoneczna trafiła do jeszcze większej liczby domów – mówi Edwin Mumbere, dyrektor Center for Citizens Conserving Environment and Management w Ugandzie. – Zwykli ludzie coraz częściej uświadamiają sobie, że energia odnawialna przynosi realne korzyści rozwojowe już teraz, a plany oparte na wielkoskalowych projektach paliw kopalnych wiążą się tylko z obietnicami".

ŹRÓDŁO: General Administration of Customs of the People's Republic of China (GACC), InfoLink Consulting, Ministry of Industry and Information Technology (MIIT), z wykorzystaniem metodologii China Solar Export Methodology opracowanej przez Ember (*dane*)

eprasa.pl 807975059e

Paliw kopalnych może zabraknąć, światła słonecznego – nie



Panele słoneczne na szczycie wzgórza w Szanghaju w Chinach. Ilość energii słonecznej produkowanej dziś w tym kraju zaspokoiłaby potrzeby całej Unii Europejskiej.

Yaorusheng/Getty Images

Pięć lat temu dachy domów w Lahore miały niemal zawsze brązowy kolor. Dziś na zdjęciach lotniczych niektórych dzielnic tego miasta, drugiego co do wielkości w Pakistanie, widać morze czerni. To panele instalowane dom po domu.

Ta zmiana nastąpiła w wyniku reakcji mieszkańców Pakistanu na kryzys: rosyjską inwazję na Ukrainę w 2022 roku, która doprowadziła do nałożenia przez USA i Europę sankcji na rosyjską ropę.

W latach 2022–2025 część Pakistańczyków zainwestowała w domowe instalacje fotowoltaiczne, korzystając z zachęt finansowych. W rezultacie kraj zwiększył roczną produkcję prądu ze Słońca z 7,7 TWh do 36,6 TWh. W ubiegłym roku energetyka słoneczna dostarczyła ponad 20% energii elektrycznej w Pakistanie, wskazują dane zgromadzone przez Ember. W niedalekim Bangladeszu udział ten wynosi mniej niż 2%.

Analiza CREA z 2026 roku wykazała, że od 2018 roku pakistańska rewolucja słoneczna pozwoliła uniknąć wydania 12 mld dolarów na import ropy i gazu. Tylko w obecnym roku Pakistan może zaoszczędzić ponad połowę tej kwoty, unikając wysokich kosztów paliw kopalnych spowodowanych przez konflikt USA z Iranem. „Światło słoneczne pokonuje 150 mln km w drodze do Ziemi, ale żaden z tych kilometrów nie znajduje się w cieśninie Ormuz” – mówi McKibben. Na przejściu na energetykę słoneczną i inne odnawialne źródła

eprasa.pl 807975059e

skorzystała również Hiszpania. Ambitne inwestycje z ostatnich lat uchroniły ten kraj przed wzrostem cen energii wynikającym z konfliktu z Iranem – pokazał czerwcowy raport Ember. W marcu tego roku ceny prądu w Hiszpanii były średnio trzykrotnie niższe niż we Włoszech, gdzie paliwa kopalne mają znacznie większy udział w miksie energetycznym.

Podobna do tej w Pakistanie rewolucja słoneczna napędzana kryzysem trwa na Kubie. Amerykańskie embargo na ropę sprawia, że mieszkańcy wyspy gotują na drewnie i zmagają się z powtarzającymi się przerwami w dostawach prądu. Dlatego kraj ten zwrócił się ku Chinom. W ubiegłym roku Kuba sprowadziła z Chin tyle paneli i ogniw słonecznych, że ich łączna moc wynosiła 1308,8 MW, w porównaniu z 19,4 MW w 2023 roku – wynika z danych Ember. Może to być jedna z najszybszych transformacji energetycznych w historii. Dla kraju wyspiarskiego, takiego jak Kuba, zdecentralizowana energetyka słoneczna może być również jedyną opcją zapewnienia dostaw prądu po przejściu silnego huraganu. Gdy w 2025 roku huragan Melissa zalał intensywnymi deszczami Kubę, wiele osób było przez długie tygodnie całkowicie lub przejściowo odciętych od prądu.

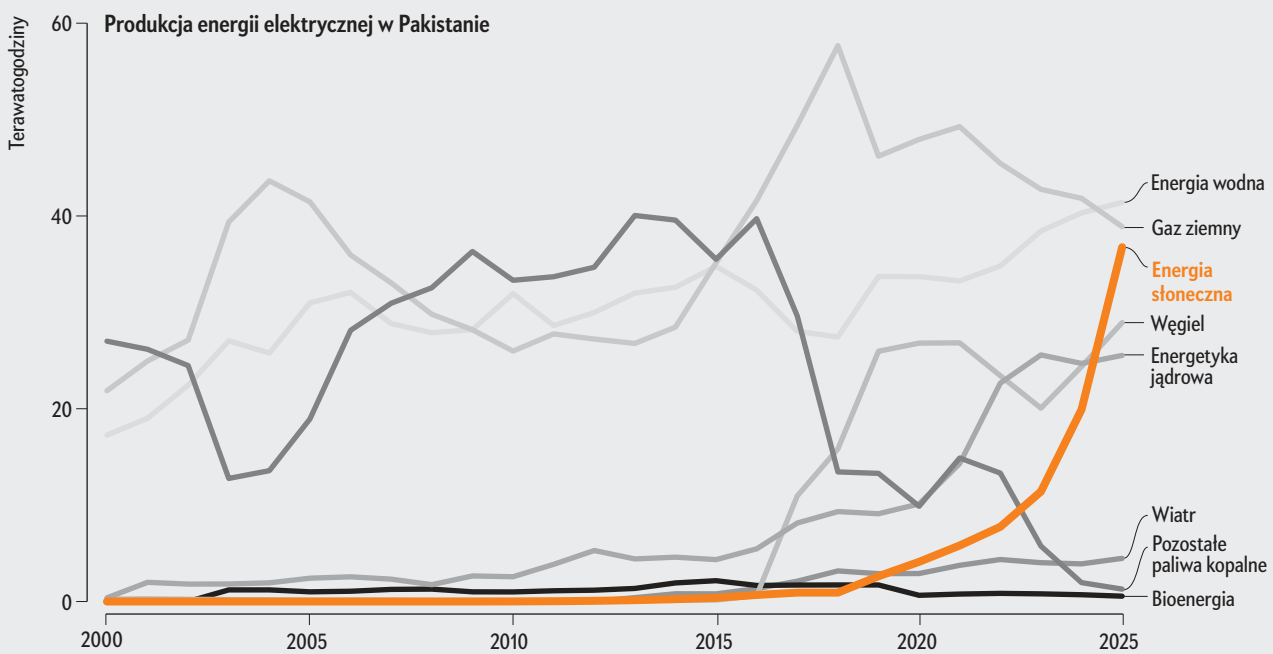
Energetyka słoneczna nie jest jednak całkowicie odporna na wstrząsy geopolityczne. Chiny produkują zdecydowaną większość ogniw fotowoltaicznych i akumulatorów i w razie konfliktu mogłyby odmówić eksportu tych produktów do niektórych krajów. Wiele państw chce również ograniczyć zależność od Chin nawet w sytuacji braku konfliktu. Indie i niektóre kraje Azji Południowo-Wschodniej produkują coraz więcej własnych paneli, choć to Chiny wciąż kontrolują dostawy takich surowców, jak krzem polikrystaliczny.

> „Światło słoneczne pokonuje 150 mln km w drodze do Ziemi, ale żaden z tych kilometrów nie znajduje się w cieśninie Ormuz”
>
> BILL MCKIBBEN

Gdyby jednak Chiny ograniczyły eksport, z tego powodu ucierpiałby jedynie dalszy przyrost mocy – uważa Walter. „Kiedy zainstalujesz panele, nikt nie będzie ci mógł powiedzieć, że nie masz prawa do pozyskiwania energii przenoszonej przez promienie słoneczne padające na twój dach” – mówi. ■

Rewolucja słoneczna w Pakistanie

Podczas gdy USA wprowadziły cła i inne środki mające ograniczyć import tanich chińskich paneli słonecznych, rząd Pakistanu obrał przeciwny kierunek. Brak ceł i opłat importowych na panele słoneczne umożliwił oddolną rewolucję, gdy po rosyjskiej inwazji na Ukrainę w 2022 roku gwałtownie wzrosły ceny ropy i gazu. Dzięki temu instalowanie systemów fotowoltaicznych w domach i przedsiębiorstwach stało się dla mieszkańców Pakistanu łatwe i opłacalne.



ŹRÓDŁO: U.S. Energy Information Administration za pośrednictwem Ember Electricity Data Explorer, ember-energy.org (*dane*)

eprasa.pl 807975059e

Święty Graal motoryzacji

Akumulatory ze stałym elektrolitem od dziesięcioleci dają nadzieję na lepsze samochody elektryczne. W branży zdominowanej przez Chiny dwie amerykańskie firmy starają się je w końcu wprowadzić do masowej produkcji

ALEX PASTERNACK

eprasa.pl 807975059e



W laboratorium badawczo-
-rozwojowym firmy Factorial
Energy w Massachusetts naukowcy
opracowują akumulatory ze stałym
elektrolitem, zaprojektowane tak,
by można je było produkować na
istniejących liniach do produkcji
ogniw litowo-jonowych.

807975059e

OD WIELU LAT TIM HOLME OBSERWUJE, jak mniej więcej raz w tygodniu powtarza się ten sam scenariusz. W prasie pojawia się nagłówek: jakieś laboratorium gdzieś na świecie rozwiązało problem, wynalazło baterię przyszłości, w artykule naukowym napisano, że kwestia, nad którą przemysł głowi się od dziesięcioleci, została rozwikłana. „I żadna z tych zapowiedzi się nie sprawdza” – mówi Holme, współzałożyciel i dyrektor ds. technicznych firmy QuantumScape z San Jose w Kalifornii, która od 15 lat próbuje zrealizować wiążącą się z największymi obietnicami, a zarazem najmniej urzeczywistnioną ideę w dziedzinie magazynowania energii. Ideę, która wygenerowała skumulowany deficyt ponad 3,9 mld dolarów: akumulator ze stałym elektrolitem.

Ostatnią przestrogą była historia Donut Lab, fińskiego start-upu, który wywołał mnóstwo entuzjazmu po zaprezentowaniu „wysokowydajnego ogniwa ze stałym elektrolitem, o gęstości energii około dwukrotnie większej niż w typowych akumulatorach litowo-jonowych, a przy tym niewymagającego metali ziem rzadkich i niegrożącego pożarem”. Firma nie opublikowała danych potwierdzających swoje najbardziej śmiałe twierdzenia. W czerwcu badacz akumulatorów i youtuber Ryan Hughes oraz niezależni eksperci przedstawili dowody, że ogniwo Donut to wysokowydajne ogniwo litowo-jonowe – z ciekłym elektrolitem wewnątrz. „Ludzie doświadczeni w branży akumulatorowej mają zdrową dawkę sceptycyzmu” – mówi Holme.

Jednak szum szumem, a wyścig przyspiesza. Z Chin, Japonii, Korei Południowej i Stanów Zjednoczonych napływają kolejne komunikaty, że producenci akumulatorów przenoszą się z laboratoriów do fabryk. Toyota, która ma najwięcej patentów w tej dziedzinie, twierdzi, że ogniwa ze stałym elektrolitem zaczną pojawiać się w jej samochodach w ciągu najbliższych dwóch lat. Chińskie firmy, które już produkują ponad 80% światowych akumulatorów litowo-jonowych, rozpoczęły sprzedaż ogniw półstałych.

W Stanach Zjednoczonych dwaj liderzy wyścigu podążają do tego samego celu odmiennymi drogami: wspierana przez Volkswagena firma QuantumScape, która obecnie produkuje ogniwa na bazie ceramiki na linii pilotażowej w Dolinie Krzemowej, oraz Factorial Energy z Billerica w stanie Massachusetts, kierowana przez założyciela i dyrektora generalnego Siyu Huanga, której ogniwa polimerowe są testowane w pojazdach przez Mercedes-Benz i Stellantis. Obie firmy deklarują gęstość energii znacznie wyższą niż w typowych stosowanych dziś ogniwach samochodów elektrycznych, czyli EV (electric Vehicles): do 301 watogodzin na kilogram (Wh/kg) w przypadku ogniwa QuantumScape i 391 Wh/kg w przypadku ogniwa Factorial – co mogłoby rozwiać obawy związane z zasięgiem. Pod względem objętości nieco lepiej wypada ogniwo QuantumScape: 844 watogodziny na litr (Wh/l) wobec 748.

QuantumScape opracowuje nową chemię akumulatora, która wymaga nowego procesu produkcyjnego; Factorial projektuje ogniwo, które może być wytwarzane z użyciem znacznej części istniejącej infrastruktury. Cel jest podobny: zamiast konkurować z Chinami na ich własnym polu, czyli w dziedzinie akumulatorów litowo-jonowych, trzeba przeskoczyć ten etap. Najważniejszym sprawdzianem pozostają samochody elektryczne. Jednak w obliczu słabnącej sprzedaży EV i obaw o łańcuchy dostaw obie firmy już patrzą dalej.

Technika leżąca u podstaw tych rozwiązań została w dużej mierze opracowana w Stanach Zjednoczonych. M. Stanley Whittingham stworzył pierwszą działającą akumulatorową baterię litową w latach 70., prowadząc badania w firmie Exxon; John Goodenough, którego fundamentalne prace nad ogniwami litowo-jonowymi zostały uhonorowane Nagrodą Nobla w dziedzinie chemii w 2019 roku (jeden z trzech laureatów), większą część swojej kariery spędził na University of Texas w Austin. Rozwiązanie skomercjalizowała japońska firma Sony, wykorzystując je w kamerze Handycam, a następnie zaczęto takie baterie produkować masowo w Korei i w coraz większym stopniu w Chinach. Jak zauważa Ilias Belharouak, kierownik działu elektryfikacji w Oak Ridge National Laboratory, akumulator, który zasila dziś większość samochodów i urządzeń elektrycznych, został wynaleziony w USA – i „niestety na dość długo zaniedbaliśmy jego produkcję na masową skalę”.

TRUDNO POWIEDZIEĆ, KTO WYGRYWA TEN WYŚCIG, częściowo dlatego, że samo określenie „solid state” nie jest bynajmniej jednoznaczne. Termin ten opisuje architekturę, a nie konkretny skład chemiczny – chodzi o konstrukcję, w której większość ciekłego elektrolitu lub cały ciekły elektrolit zastępuje się elektrolitem stałym. W konwencjonalnym akumulatorze litowo-jonowym ciekły elektrolit transportuje jony litu tam i z powrotem – do anody podczas ładowania telefonu i z powrotem do katody podczas jego używania. Ciekły elektrolit bardzo dobrze przewodzi prąd, ale jest łatwopalny, a pożary, które może powodować, charakteryzują się wysoką temperaturą i emisją toksycznych substancji.

Elektrolity stałe zastępują większość tego łatwopalnego płynu, a niekiedy cały jego wolumen, otwierając zarazem drogę do kolejnego przełomu: zastąpienia grafitowej anody czystym litem metalicznym. Ponieważ

Alex Pasternack jest redaktorem założycielem Motherboard – serwisu poświęconego kulturze technicznej należącego do Vice Media. Jest współpracownikiem magazynu „Fast Company”, w którym zajmuje się tematyką techniczną i naukową.

Factorial Energy (*poprzednia strona*)

eprasa.pl 807975059e

grafit magazynuje tylko jeden jon litu na każde sześć atomów węgla, typowe akumulatory wielokrotnego ładowania osiągają maksymalnie gęstość energii rzędu 250 Wh/kg. Lit metaliczny w ogóle nie potrzebuje takiego materiału-gospodarza, co zwiększa zdolność magazynowania nośników ładunku przez anodę około 10-krotnie.

Problem z czystym litem polega na tym, że jest on niezwykle reaktywny. Stąd właśnie potrzebny jest elektrolit stały. Umożliwiając przenikanie jonów, elektrolit stały pomaga fizycznie blokować „dendryty" – przypominające gałązki osady litu, które powodowały zwarcia i pożary we wczesnych akumulatorach litowo-metalowych. Rezygnacja z grafitu pozwala również zaoszczędzić miejsce i zmniejszyć masę, a ponadto eliminuje kluczowy składnik, którego łańcuch dostaw jest zdominowany przez Chiny. „Najlepszą chemią ogniwa litowego, jaką możemy uzyskać, jest wykorzystanie czystego litu metalicznego" – mówi Jeff Sakamoto, materiałoznawca z University of California w Santa Barbara, który pracował nad akumulatorami dla marsjańskich łazików NASA w 2003 roku, a obecnie kieruje ośrodkiem badawczym MUSIC, finansowanym przez amerykański Departament Energii i zajmującym się procesem transportu jonów. Jak mówi, elektrolit stały zapewnia stabilizację elektrody z litu metalicznego – fizyczną, a w idealnym przypadku również termodynamiczną. Akumulator „może działać wiecznie, jeśli jest stabilny termodynamicznie".

Jednak określenie „solid state" jest do pewnego stopnia również terminem marketingowym. „Pojawiają się określenia takie, jak »quasi-solid state«, »hybrid solid state«, »condensed state« – mówi Holme – wszelkiego rodzaju terminy, które nigdy nie są definiowane". W praktyce większość akumulatorów ze stałym elektrolitem zawiera pewną ilość cieczy – zwykle w obszarze katody – aby poprawić przewodnictwo, przez co w najlepszym razie są one półstałe. Celem są akumulatory z całkowicie stałym elektrolitem, ale na razie – argumentuje Holme – prawdziwym celem jest to, co taka architektura umożliwia: większa gęstość energii, szybsze ładowanie, większy zasięg, wyższy poziom bezpieczeństwa i ostatecznie niższy koszt.

Kluczowe znaczenie dla konstrukcji akumulatora ma wybór elektrolitu – zazwyczaj jest to ceramika, siarczek, polimer lub połączenie kilku takich materiałów. Polimer może być łatwiejszy w produkcji, ale wiążą się z nim problemy z przewodnictwem; siarczek przewodzi lepiej, lecz wymaga produkcji w specjalnych suchych pomieszczeniach (dry rooms); ceramiczny tlenek jest najtrudniejszy w obróbce przy niewielkiej grubości i produkcji na dużą skalę, ale – zdaniem Holme'a – może przynieść największe korzyści. „Postawiliśmy na materiał o najlepszych właściwościach – mówi. – Ale jest on kruchy i jego wytwarzanie jest bardzo, bardzo trudne".

QuantumScape zrezygnowała z dwóch z czterech elementów typowego akumulatora. Jej ceramiczny elektrolit umożliwia zastosowanie architektury „bez anody", w której anoda z litu metalicznego powstaje podczas pierwszego ładowania, a nie jest instalowana w akumulatorze. Factorial postawiła na zgodność z istniejącymi metodami produkcji. Jej elektrolit FEST (Factorial Electrolyte System Technology) – polimer z ultracienką warstwą litu metalicznego przy anodzie – został zaprojektowany z myślą o wykorzystaniu około 80% istniejących urządzeń stosowanych do produkcji akumulatorów litowo-jonowych.

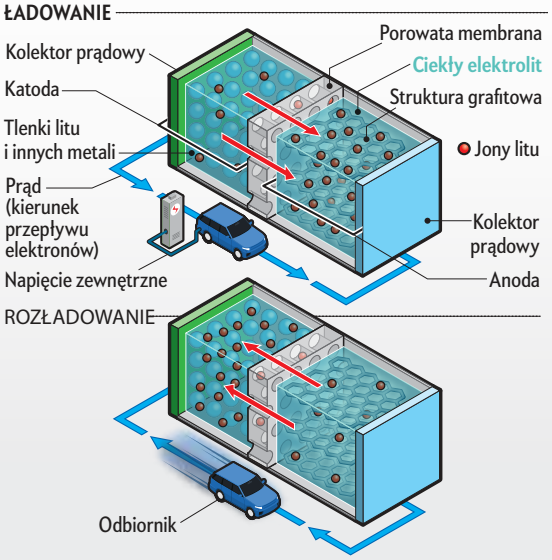
Obie firmy stanowczo twierdzą, że przeszły od etapu nauki do etapu inżynierii. Jednak część środowiska badawczego pozostaje sceptyczna. „Istnieje obecnie znaczna rozbieżność między tym, co

Rozwiązanie: stan stały

Przez 15 lat akumulator ze stałym elektrolitem pozostaje w tej dziedzinie Świętym Graalem: lżejszym i bezpieczniejszym ogniwem, które mogłoby położyć kres obawom o zasięg samochodów elektrycznych i umożliwić elektryfikację lotnictwa. Oto, jak rezygnacja z łatwopalnych cieczy i ciężkiej anody grafitowej pozwala upakować znacznie więcej energii w znacznie mniejszym i lżejszym ogniwie.

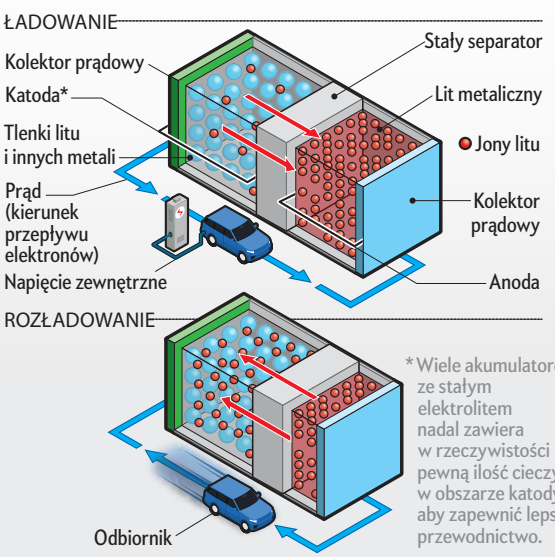
Sprawdzone rozwiązanie: akumulator litowo-jonowy

Podczas ładowania jony litu przemieszczają się z katody przez ciekły elektrolit do dużej anody grafitowej; podczas rozładowywania wracają, dostarczając energii. Ciekły elektrolit dobrze przewodzi prąd, ale jest łatwopalny, a ciężki grafit ogranicza ilość energii, jaką może zgromadzić ogniwo.



Wciąż w fazie rozwoju: akumulator ze stałym elektrolitem

Zastąpienie cieczy stałym separatorem pomaga zapobiegać zwarciom, które powodują pożary. Dzięki zastosowaniu solidniejszej bariery konstruktorzy mogą zrezygnować z grafitu i zastosować anodę z czystego litu, która w stosunku do swojej masy może zgromadzić znacznie więcej energii.



*Wiele akumulatorów ze stałym elektrolitem nadal zawiera w rzeczywistości pewną ilość cieczy w obszarze katody, aby zapewnić lepsze przewodnictwo.

Grafika Ben Gilliland

eprasa.pl 807975059e

jest możliwe, a tym, na jakim etapie naprawdę znajduje się ta technologia" – mówi Sakamoto. On i jego współpracownicy z MUSIC wykorzystują mikroskopię operando do obserwowania pracujących akumulatorów, mapując niewielkie defekty w elektrolicie, które akumulują się podczas kolejnego ładowania i rozładowywania. Badacze obawiają się, że rozdźwięk między oczekiwaniami społecznymi a rzeczywistą dojrzałością technologii może podkopać zaufanie opinii publicznej, jeśli komercyjne kamienie milowe znów nie zostaną osiągnięte w terminie.

Największym wyzwaniem jest granica faz – powierzchnia styku między stałym elektrolitem a elektrodami, gdzie zaczynają powstawać dendryty i pustki. Przemieszczanie jonów przez ciało stałe jest z natury trudniejsze niż ich transport przez ciecz. „To trochę tak jak z ludźmi" – mówi Belharouak. Wyobraźmy sobie migrację przez rozległy teren. Rzekę „można przepłynąć, ale na góry trzeba się jakoś wspiąć"

Drobne pustki, powstające wtedy, gdy lit odłącza się od elektrod, a następnie ponownie się na nich osadza, stają się przeszkodami i wąskimi gardłami. Gdy jony wybierają objazdy, lit zaczyna się gromadzić. Jest miękki jak toffi, ale gdy osiada na powierzchni styku, może „rozszczepić" nawet twardą ceramikę, tak jak korzenie drzew przebijają beton.

Elektrody rozszerzają się i kurczą przy każdym cyklu, przez co mają również tendencję do tracenia kontaktu z elektrolitem i tworzenia szczelin. Utrzymanie kontaktu często wymaga przyłożenia zewnętrznej siły mechanicznej. Zbyt duża może jednak spowodować pęknięcie kruchego elektrolitu albo przepchnięcie przez niego metalicznego litu, co doprowadzi do zwarcia. Obie firmy musiały zaprojektować pakiety akumulatorów wyposażone w mechanizmy, które „oddychają" wraz z ogniwami, co zwiększa masę i złożoność konstrukcji.



Cienki, elastyczny separator ceramiczny firmy QuantumScape został zaprojektowany tak, aby przepuszczać jony litu, a zapobiegać wewnętrznym zwarciom.

Holme na ogół niechętnie ujawnia szczegóły dotyczące tego, jak QuantumScape poradziła sobie z problemem powierzchni styku. Mówi, że firma wykorzystała teorię funkcjonału gęstości (Density Functional Theory) – symulacje kwantowo-chemiczne – aby opracować ceramikę kompatybilną z litem na powierzchni styku, bez konieczności stosowania dodatkowej folii litowej, która jest kosztowna i trudna w obróbce. „To był prawdziwy przełom, który – o ile mi wiadomo – nie został nigdzie indziej osiągnięty" – mówi. Potem pojawia się większe wyzwanie: „Trzeba opracować sposób wytwarzania – na dużą skalę i z zachowaniem wysokiej jakości – materiału, który zasymulowaliśmy *in silico*".

PRODUKCJA NA SKALĘ PRZEMYSŁU MOTORYZACYJNEGO – czyli przejście od 1000 ogniw dziennie na linii pilotażowej do ponad 100 tys. w gigafabryce – potęguje każde z wyzwań. Wymagania dotyczące jakości i uzysku produkcyjnego są niezwykle wyśrubowane; wada ceramicznego elementu, niewidoczna przy produkcji na małą skalę, w produkcji wielkoseryjnej może stać się przyczyną awarii. Od stycznia 2025 roku co najmniej 14 zachodnich start-upów zajmujących się akumulatorami upadło, próbując dokonać tego przeskoku.

QuantumScape próbuje uniknąć takiego losu dzięki Eagle Cobra – opracowanemu przez firmę procesowi obróbki cieplnej, służącemu do „wypiekania" ceramicznego elektrolitu, co skraca trwający wcześniej wiele godzin proces do zaledwie kilku minut. „Mieliśmy szczęście – mówi Holme. – Nie było gwarancji, że natura pozwoli nam znaleźć tak szybki proces, przy którym uda się zachować najlepsze właściwości materiału". Podobnie jak Factorial, firma wykorzystała sztuczną inteligencję do kontroli jakości, a do współpracy przy produkcji pozyskała firmy Corning i Murata.

Tyle że nie należy nazywać jej producentem akumulatorów. Po zmianie modelu biznesowego w 2024 roku QuantumScape jest obecnie licencjodawcą technologii i ma w planie zrobienie dla akumulatorów czegoś podobnego do tego, co Nvidia zrobiła dla układów scalonych: opracowanie architektury i powierzenie produkcji na dużą skalę partnerom. Obok partnerstwa z Hondą główną drogą do osiągnięcia produkcji liczonej w gigawatogodzinach jest PowerCo, spółka zależna Volkswagena zajmująca się produkcją akumulatorów, która w ciągu najbliższych dwóch lat może otrzymać do 131 mln dolarów finansowania uzależnionego od osiągania kolejnych kamieni milowych.

Umowy Factorial z Mercedesem, Stellantis, Hyundaiem i Kią są jeszcze na wcześniejszym etapie. W ubiegłym roku Mercedes EQS wyposażony w jej ogniwa przejechał bez zatrzymywania się około 1205 km, z niemieckiego Stuttgartu do szwedzkiego

QuantumScape

eprasa.pl 807975059e

Malmö. W czerwcu tego roku Stellantis rozpoczął testy drogowe tych ogniw w modelu Dodge Charger Daytona, co oznacza północnoamerykański debiut tej techniki.

Jednak droga do upowszechnienia samochodów elektrycznych jest długa i kręta. Czerwcowy raport Międzynarodowej Agencji Energetycznej wykazał, że w ubiegłym roku niemal 30% wszystkich nowych samochodów sprzedawanych na świecie stanowiły pojazdy elektryczne. W Stanach Zjednoczonych rynek stracił jednak impet. Odkąd administracja Trumpa w 2025 roku ograniczyła wymogi dotyczące emisji dwutlenku węgla i zachęty finansowe do zakupu pojazdów elektrycznych, sprzedaż EV gwałtownie wyhamowała, co skłoniło kilku partnerów QuantumScape i Factorial do anulowania planów dotyczących konkretnych modeli samochodów i fabryk.

SCHŁADZAJĄCY SIĘ RYNEK samochodów elektrycznych skłonił Holme'a i Huang do zwrócenia uwagi na centra danych AI, robotykę i lotnictwo – w tym elektryczne statki powietrzne pionowego startu i lądowania oraz drony wojskowe. QuantumScape powołała do swojej rady doświadczonego menedżera z koncernu zbrojeniowego Raytheon, a na stanowisku doradcy zatrudniła byłego głównego naukowca Sił Powietrznych USA. Factorial rozbudowuje linię produkcyjną z myślą o zastosowaniach lotniczych i niedawno ogłosiła kolejnego inwestora: In-Q-Tel, fundusz venture capital należący do amerykańskiej Centralnej Agencji Wywiadowczej. „Wszyscy chcą dronów, dronów, dronów" – mówi Halle Cheeseman, były dyrektor programowy ARPA-E. Patrzy jednak na sprawę z szerszej perspektywy: „Być może przegraliśmy bitwę o akumulatory do samochodów elektrycznych, ale wyścig o elektryfikację nieba dopiero się zaczyna".

Drony potrzebują dokładnie tego, co obiecują akumulatory ze stałym elektrolitem: wysokiej gęstości energii, małej masy i niezawodnego działania w skrajnych temperaturach. Są też bardziej wyrozumiałe niż samochody. Kierowcy samochodów elektrycznych oczekują szybkiego ładowania; operatorzy dronów zazwyczaj wymieniają akumulatory albo wykorzystują je tylko raz, dzięki czemu łatwiej radzić sobie z dendrytami. Mniejsze rozmiary i mniejsze wolumeny produkcji zmniejszają również obciążenie łańcuchów dostaw i procesów wytwarzania, a standardy certyfikacji sprawiają, że zintegrowanie akumulatora z dronem jest łatwiejsze niż zintegrowanie go z samolotem. Nabywcy z sektora obronnego są ponadto zwykle mniej wrażliwi na cenę.

Popyt na drony „zasadniczo zmienił trajektorię tej branży" – mówi Venkat Viswanathan, profesor inżynierii na University of Michigan, który zajmuje się akumulatorami nowej generacji dla lotnictwa. Uważa on, że dzięki dalszym postępom w dziedzinie akumulatorów elektryfikacja większości lotów krótkodystansowych w nadchodzących dekadach jest „jak najbardziej w zasięgu ręki".

Na polu walki, gdzie walczą drony, tak jak m.in. w Ukrainie, to się już dzieje. Pentagon zamierza obecnie produkować tysiące dronów miesięcznie w Stanach Zjednoczonych, ale – zauważa Huang – jeszcze w ubiegłym roku ponad 80% akumulatorów do dronów pochodziło z importu z Chin. Pekin ograniczył od tego czasu eksport dronowych akumulatorów o wysokiej gęstości energii, a Stany Zjednoczone podjęły kroki zmierzające do zakazu stosowania chińskich komponentów w amerykańskim sprzęcie obronnym, wpisując w czerwcu na czarną listę BYD, drugiego co do wielkości producenta akumulatorów na świecie. Huang za szczególnie rokujące zastosowanie uważa wykorzystanie nowych akumulatorów w szybkich dronach przechwytujących. Jeśli twój samochód ma dwa razy większy zasięg niż samochód konkurenta, to fajnie. „Ale jeśli twój dron ma dwa razy większy zasięg niż drony przeciwnika, to całkowicie zmienia reguły gry". Zaawansowana produkcja akumulatorów – mówi – „to dziedzina, na której zaniedbanie nie możemy sobie pozwolić".

Największą nagrodą wciąż pozostaje rynek samochodów elektrycznych, a dotarcie na niego będzie wymagało partnerstw równie globalnych, jak sam łańcuch dostaw akumulatorów. Huang, która dorastała w Chinach, studiowała w Szwecji, zrobiła doktorat na Cornell University, a swoją firmę założyła w Massachusetts, buduje więc międzynarodową sieć powiązań. Innowacji w dziedzinie akumulatorów – mówi – „nie da się osiągnąć w pojedynkę".

Pomogłaby również bardziej stabilna polityka. „Moja rada dla każdego decydenta jest taka, żeby usuwać bariery – zakończyć wojny celne, wprowadzić ulgi podatkowe, wspierać imigrację utalentowanych ludzi" – mówi Shirley Meng, materiałoznawczyni, która niedawno odeszła z kierowanego przez siebie ośrodka badawczego Departamentu Energii na University of Chicago i objęła wysokie stanowisko w Nanyang Technological University w Singapurze. Wcześniej mówiła, że zmiany w polityce USA przyczyniły się do jej wyjazdu za granicę. Dla kraju próbującego odbudować własny przemysł akumulatorowy jej decyzja jest dodatkowym ostrzeżeniem. „Jeśli Stany Zjednoczone pozostaną otwarte na uczciwą globalną współpracę, zarówno w dziedzinie badań i rozwoju, jak i handlu – mówi – to jest możliwe, że za kilka lat branża akumulatorów wyjdzie z tego silniejsza".

Mimo obaw dotyczących łańcuchów dostaw amerykański przemysł może na razie zależeć od chińskiej wiedzy i doświadczenia. Cheeseman nazywa to podejściem „kukułczym": zachęcić producentów – w tym BYD – do budowania fabryk w USA i jednocześnie rozwijać krajowe kompetencje w dziedzinie technologii produkcji, żebyśmy nauczyli się wytwarzać te urządzenia sami. Chiński gigant branży akumulatorowej CATL zazwyczaj wykorzystuje na linii produkcyjnej ponad 3000 czujników. „Nie jestem pewien, czy wiedzielibyśmy, gdzie umieścić 300" – mówi Cheeseman.

W miarę rozkręcania produkcji w nowych fabrykach prototypy będą musiały wciąż dowodzić swojej wartości. Korzyści w zakresie bezpieczeństwa nadal nie są do końca jasne; inżynierowie potrzebują bardziej rygorystycznych testów odporności na uszkodzenia i ekstremalne warunki dla ogniw wielkoformatowych. Nie wiadomo również, czy ta technika okaże się konkurencyjna cenowo: Cheeseman szacuje, że pierwsze akumulatory ze stałym elektrolitem kosztują od dwóch do trzech razy więcej niż ogniwa z ciekłym elektrolitem.

A cel wciąż się przesuwa. Producenci samochodów elektrycznych coraz większy nacisk kładą obecnie na koszty i materiały, a nie na osiągi, co prowadzi do ogólnobranżowego odejścia od ogniw niklowo-manganowo-kobaltowych na rzecz mniej wydajnych energetycznie, ale tańszych ogniw litowo-żelazowo-fosforanowych. A w wymagających zastosowaniach, takich jak drony, akumulatory litowo-jonowe z anodą krzemową już dziś mogą osiągać 400 Wh/kg. „Jeśli wszyscy ciągną jak muchy do miodu do poziomu 400 – mówi Cheeseman – to trzeba celować w 600, 800 albo 1000".

Ale po dziesięcioleciach obietnic nie jest już kwestią, czy akumulatory z stałym elektrolitem się pojawią „Wierzę, że to nieuniknione" – mówi Cheeseman, wskazując na korzyści wynikające z prostszej konstrukcji i większego bezpieczeństwa. Jego zdaniem ogniwa ze stałym elektrolitem ostatecznie trafią do masowo produkowanych samochodów elektrycznych na początku lat 30. Tylko nie proście go, żeby się o to założył. ■

eprasa.pl 807975059e





Widok z lotu ptaka na projekt magazynowania energii sprężonego powietrza w kawernach solnych Guoxin w mieście Huai'an w Chinach.

CFOTO/Future Publishing via Getty Images

CZYSTA ENERGIA

GRA W ZIELONE

Śmiałe pomysły na rozwiązanie problemów czystej energii

DWIE DEKADY TEMU ENERGIA ODNAWIALNA odgrywała na światowej scenie zaledwie drugoplanową rolę. Dziś odnawialne źródła energii odpowiadają za niemal połowę wszystkich mocy wytwórczych energii elektrycznej na świecie, jak wynika z danych Międzynarodowej Agencji Energii Odnawialnej, a w przygotowaniu jest jeszcze znacznie więcej nowych mocy. To oszałamiający wzrost, pokazujący, że rewolucja w dziedzinie odnawialnych źródeł energii wydaje się nie do zatrzymania. Czysta energia wciąż jednak napotyka poważne problemy. Aby je rozwiązać, państwa i firmy podejmują śmiałe próby pchnięcia tej rewolucji w nową fazę – realizują ambitne projekty, które mogą zakończyć się sukcesem, ale równie dobrze mogą nie dać oczekiwanych rezultatów.

Jednym z najpoważniejszych problemów jest to, że energia słoneczna i wiatrowa są źródłami niestabilnymi, a dostępne obecnie akumulatory litowo-jonowe nie są w stanie przechowywać wystarczającej ilości energii ze źródeł odnawialnych, by niezawodnie zaspokajać zapotrzebowanie. Aby maksymalnie wykorzystać energię słoneczną i wiatrową, potrzebujemy magazynów energii zdolnych do jej przechowywania przez dłuższy czas. To skłania niektórych przedstawicieli branży – zwłaszcza w Chinach – do sięgnięcia po technologię, którą przez dziesięciolecia odkładano na półkę. Chińskie firmy przesuwają również granice rozmiarów turbin i odległości od brzegu, na jakich można je instalować, aby wykorzystywać silniejsze i stabilniejsze wiatry. Inne przedsięwzięcia mają na celu zwiększenie atrakcyjności energii geotermalnej oraz rozwiązanie problemu wykorzystania energii pływów – jednego z największych niewykorzystanych źródeł energii na naszej planecie. Oto niektóre z najbardziej odważnych projektów tego rodzaju. *Andrea Thompson*

Andrea Thompson jest starszą redaktorką „Scientific American". Specjalizuje się w naukach o Ziemi i ekologii.

eprasa.pl 807975059e

Dostępna (niemal) wszędzie energia geotermalna

Pozyskiwanie ciepła z wnętrza Ziemi bez konieczności występowania idealnych warunków geologicznych

NAZWA PROJEKTU: Cape Station firmy Fervo Energy

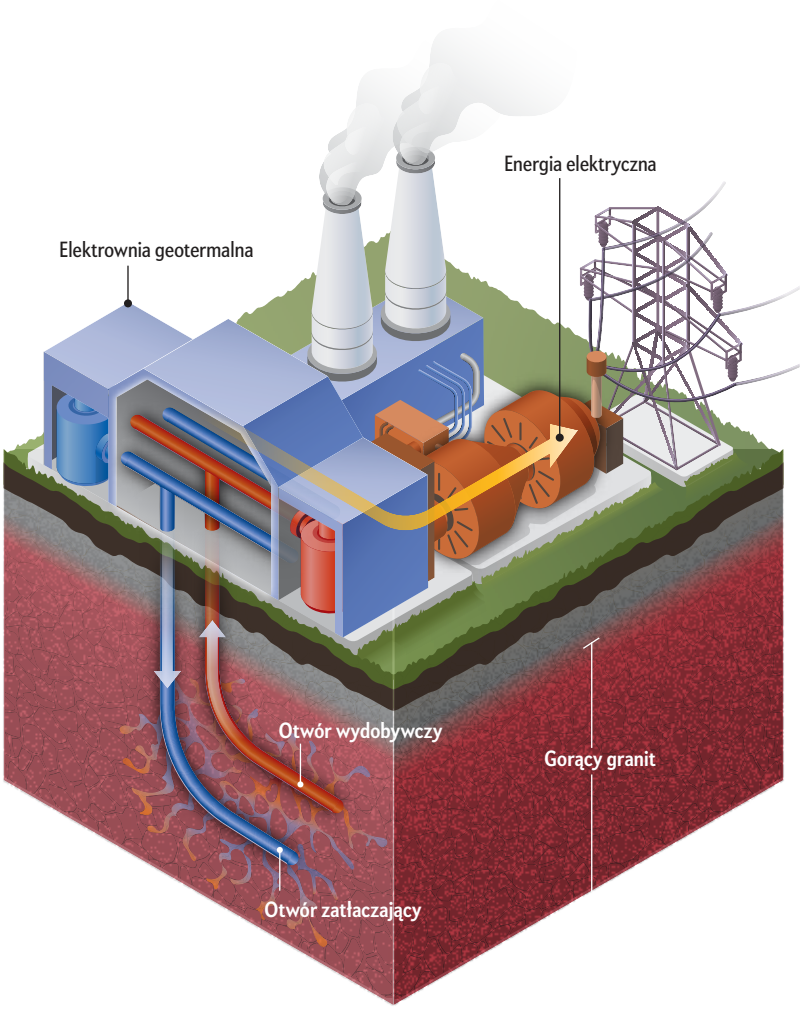
LOKALIZACJA: Utah

TECHNIKA: ulepszone systemy geotermalne (enhanced geothermal systems, EGS)

MOC ZAINSTALOWANA: 100 MW na początku 2027 roku, docelowo 500 MW

ZASADA DZIAŁANIA: Fervo wykonuje odwiert pionowo w dół, a następnie zmienia jego kierunek na poziomy, tworząc w skale sieć długich szczelin na głębokości sięgającej prawie 2750 m (w przyszłości głębokość może być inna); następnie wtłacza wodę w te szczeliny, aby odbierała ciepło z wnętrza Ziemi. Rozległa sieć szczelin umożliwia kontakt znacznie większej ilości wody ze znacznie większą powierzchnią gorącej skały niż w przypadku wykorzystujących pojedyncze rury instalacji geotermalnych, zwiększając ich wydajność.

Aby zrealizować ten projekt, Fervo przeniosło technologię hydraulicznego szczelinowania stosowaną w przemyśle naftowym i gazowym – polegającą na wtłaczaniu cieczy pod ciśnieniem – z miększych osadowych skał łupkowych w gorętsze i twardsze skały magmowe. (Eksperci twierdzą, że monitoring sejsmiczny jest tak zaawansowany, że prace można wstrzymać, jeśli ryzyko wystąpienia wstrząsów o magnitudzie odczuwalnej przez ludzi stanie się zbyt duże). W obiekcie demonstracyjnym o nazwie Project Red Fervo połączyło odwierty testowe z istniejącą elektrownią, której moc zainstalowana od końca 2023 roku wynosi 3 MW.



ZALETY: W przeciwieństwie do energii słonecznej i wiatrowej energia geotermalna może być wykorzystywana przez całą dobę siedem dni w tygodniu. Aby jednak była opłacalna, tradycyjna energetyka geotermalna wymaga idealnych warunków geologicznych: gorącej skały, przez którą w naturalny sposób przepływa woda, oraz niezawodnego źródła wody, które zapewnia stały dopływ ciepła. Wymóg ten ograniczył jej zastosowanie do zaledwie kilku lokalizacji na Ziemi. Tworząc dodatkowe szczeliny, EGS zwiększa liczbę miejsc, w których wykorzystanie energii geotermalnej może być opłacalne ekonomicznie. Inne firmy postawiły na odmienne strategie pozyskiwania energii geotermalnej, a sama geotermia spotkała się z falą entuzjazmu ze strony rządu USA i amerykańskich ustawodawców.

OPINIA EKSPERTÓW: Jefferson Tester, profesor inżynierii na Cornell University, mówi, że z entuzjazmem obserwuje działania Fervo, ale obawia się, że firma mogła zbyt wiele obiecać swoim inwestorom i to zbyt wcześnie. „Trzeba udowodnić, że to rozwiązanie rzeczywiście działa przez odpowiednio długi czas i pozwala na zrównoważoną produkcję energii – mówi. – Dowody pojawią się dopiero wtedy, gdy zobaczymy, co uda się osiągnąć w rzeczywistych warunkach.” (Fervo Energy nie odpowiedziało na prośby o wywiad). *Meghan Bartels*

Meghan Bartels jest niezależną dziennikarka naukową z Nowego Jorku.

Grafiki Nick Bockelman

eprasa.pl 807975059e

Potęga pływów

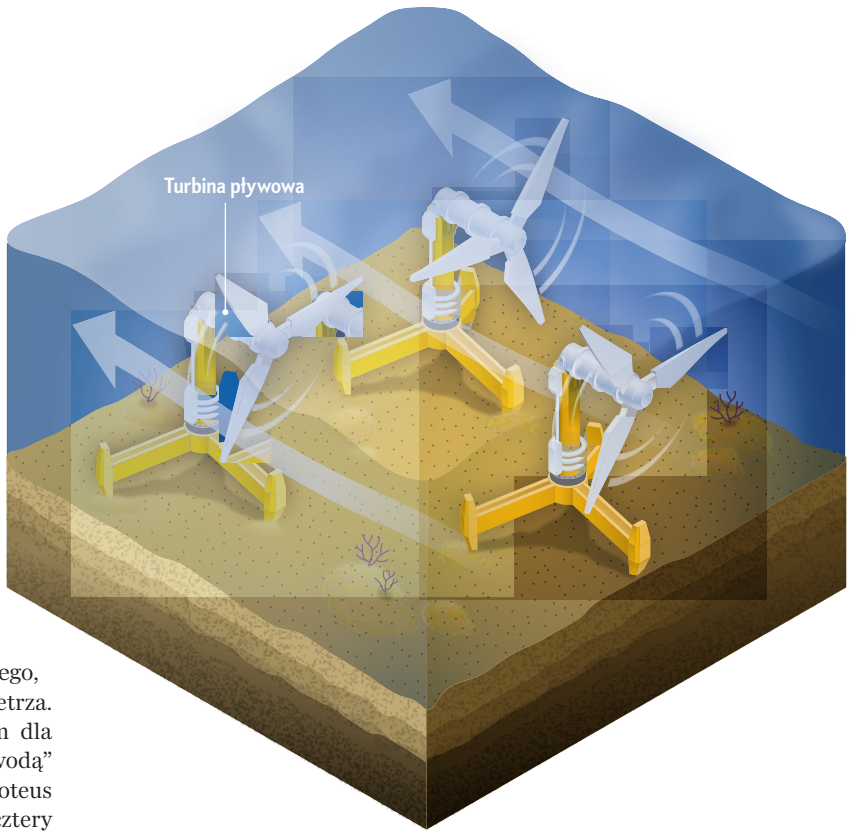
Niezawodnej, odnawialnej energii mogą dostarczać przewidywalne ruchy oceanu

NAZWA PROJEKTU: MeyGen

LOKALIZACJA: Szkocja

TECHNIKA: wykorzystanie energii prądów pływowych

MOC ZAINSTALOWANA: 6 MW (zwiększenie do 65 MW do 2031 roku)



ZASADA DZIAŁANIA: Od 2016 roku MeyGen, położony między kontynentalną częścią Szkocji a Orkadami, jest największym na świecie projektem wykorzystującym energię prądów pływowych. Przypływy i odpływy występujące wzdłuż wybrzeży naszej planety niosą ze sobą ogromne ilości energii; szacuje się, że możliwy do wykorzystania potencjał wynosi 1200 terawatogodzin rocznie, czyli ponad jedną czwartą rocznej produkcji energii elektrycznej w USA. Energię tę można pozyskiwać w sposób bardzo podobny do tego, w jaki farmy wiatrowe wykorzystują ruch powietrza. „Mówiąc bardzo prosto, językiem zrozumiałym dla każdego, umieszczamy turbinę wiatrową pod wodą” – mówi Drew Blaxland, dyrektor generalny Proteus Marine Renewables, firmy, która opracowała cztery turbiny MeyGen o mocy 1,5 MW każda. Łopaty turbin obracają się wraz z każdym przypływem i odpływem, przechwytując energię kinetyczną oceanu i napędzając generator wytwarzający energię elektryczną.

ZALETY: W przeciwieństwie do innych odnawialnych źródeł energii pływy są niezwykle przewidywalne. „W każdej chwili każdego dnia możemy dokładnie określić, ile energii produkujemy – mówi Blaxland. – Tego nie można powiedzieć o energii wiatrowej czy słonecznej”. Pływy są jednak równie gwałtowne, jak niezawodne; korozja powodowana przez słoną wodę, morskie odpady oraz ogromna siła płynącej wody często prowadzą do awarii turbin. Jedna z turbin MeyGen osiągnęła jednak ważny kamień milowy pod względem niezawodności – działa już ponad siedem lat bez konieczności przeprowadzania nieplanowanych prac konserwacyjnych. Turbiny, osadzone na potężnych fundamentach i wyposażone w łopaty, które dostosowują swoje ustawienie do kierunku prądu pływowego, zaprojektowano tak, aby wytrzymywały ekstremalne, szybko płynące prądy morskie. MeyGen planuje do 2031 roku dodać 20 turbin, zwiększając moc instalacji do 65 MW. Według firmy Ampeak Energy, która jest właścicielem projektu, docelowo instalacja może osiągnąć moc niemal 400 MW.

OPINIA EKSPERTÓW: Choć wykorzystanie energii pływów będzie zawsze ograniczone przez uwarunkowania geograficzne i w najbliższym czasie raczej nie dorówna energii wiatrowej i słonecznej, może pokrywać 10% zapotrzebowania energetycznego Wielkiej Brytanii, mówi Blaxland. „Mają świetne osiągnięcia w zakresie długotrwałego wytwarzania energii przez wiele dużych urządzeń – stwierdza Brian Polagye, inżynier mechanik z University of Washington specjalizujący się w energetyce morskiej. – Hiperbole są tu w pełni uzasadnione”.

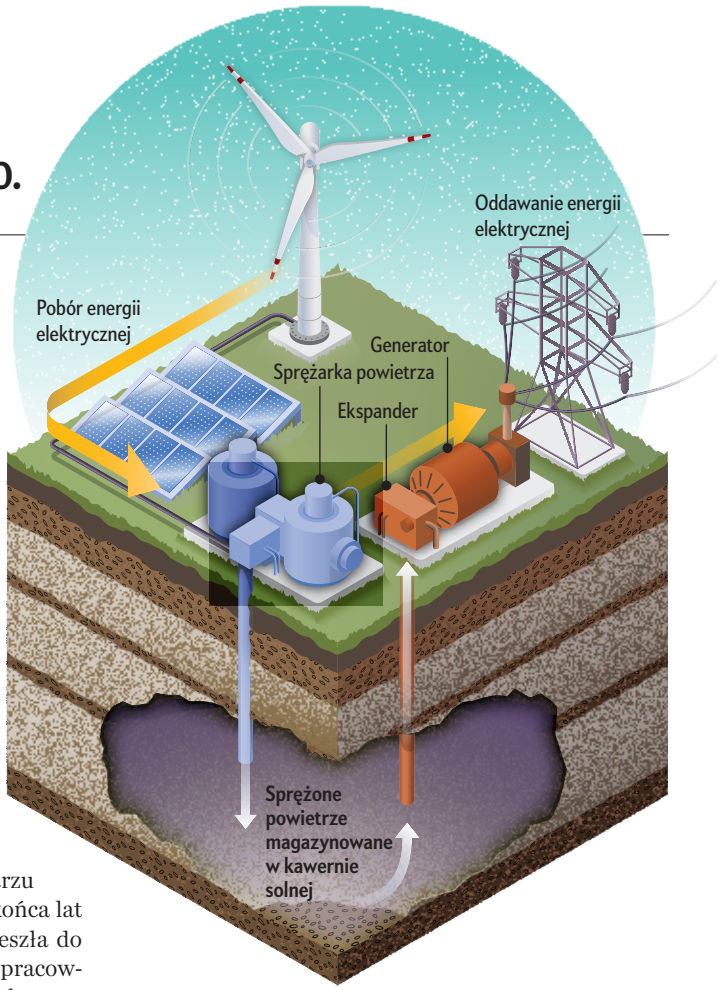
Cody Cottier

Cody Cottier jest niezależnym dziennikarzem mieszkającym w Fort Collins w stanie Kolorado; często pisze o ewolucji i środowisku.

eprasa.pl 807975059e

Powietrzny magazyn

W obliczu rosnącego zapotrzebowania na długoterminowe magazynowanie energii, do łask wracają pomysły z lat 70.



NAZWA PROJEKTU: Huai'an Salt Cavern

LOKALIZACJA: Chiny

TECHNIKA: Magazynowanie energii w sprężonym powietrzu

MOC ZAINSTALOWANA: 600 MW

ZASADA DZIAŁANIA: Gdy zapotrzebowanie na energię elektryczną jest niskie, nadwyżkę energii wytworzonej przez farmy słoneczne i wiatrowe można wykorzystać do zasilania sprężarek, które wtłaczają powietrze pod wysokim ciśnieniem do podziemnych kawern. Kiedy zapotrzebowanie rośnie, sprężone powietrze można uwolnić i wykorzystać do wytwarzania energii elektrycznej. Technologia ta, znana jako magazynowanie energii w sprężonym powietrzu (compressed air energy storage, CAES), sięga końca lat 70. XX wieku, ale „nigdy tak naprawdę nie weszła do głównego nurtu", mówi Paul Denholm, starszy pracownik naukowy w National Renewable Energy Laboratory (NREL).

W ostatnich latach Chiny uruchomiły jednak kilka instalacji CAES, w tym największą na świecie: projekt Huai'an Salt Cavern, który ma dostarczać energię dla około 600 tys. gospodarstw domowych. Kawerny solne szczególnie dobrze nadają się do tego celu: sól kamienna jest w zasadzie nieprzepuszczalna i odkształca się w taki sposób, że samoczynnie uszczelnia powstające pęknięcia, zapobiegając ucieczce zmagazynowanego powietrza.

Ten rodzaj magazynowania energii ma jednak potencjalną wadę: sprężone powietrze ochładza się podczas rozprężania, dlatego przed wykorzystaniem go do efektywnego napędzania turbiny trzeba je ponownie ogrzać. Projekt ma rozwiązać ten problem dzięki magazynowaniu energii cieplnej w stopionej soli i wodzie, które posłużą do ponownego ogrzania powietrza.

ZALETY: Powodzenie energetyki odnawialnej zależy od możliwości magazynowania energii na czas, gdy słońce nie świeci, a wiatr nie wieje. Obecnie rynek magazynowania energii jest zdominowany przez akumulatory litowo-jonowe, ale zdaniem Denholma są one opłacalne ekonomicznie tylko przy magazynowaniu energii przez kilka godzin. Uważa on, że CAES, choć wymaga dużych nakładów początkowych, łatwiej skalować i może magazynować oraz dostarczać energię przez dobę lub dłużej, zależnie od wielkości kawerny. „Powietrze jest za darmo – mówi Denholm – a dziura w ziemi jest potencjalnie tania".

OPINIA EKSPERTÓW: Zdaniem Pirouza Kavehpoura, inżyniera mechanika z University of California w Los Angeles, technologia jest już dojrzała, ale jej potencjał ograniczają warunki geologiczne. Poza Chinami na świecie działają tylko dwie duże instalacje CAES – w Niemczech i Alabamie – i obie wykorzystują kawerny solne. Niedawno zatwierdzony projekt w Kalifornii ma jednak wykorzystywać kawerny wydrążone w litej skale, co może poszerzyć możliwości zastosowania tej techniki. „Minęło 30 lat, odkąd zbudowaliśmy w tym kraju taką instalację" – mówi Denholm, ale pozostaje ostrożnym optymistą. *Cody Cottier*

eprasa.pl 807975059e

Głębokomorskie farmy wiatrowe

Największa na świecie pojedyncza pływająca turbina wiatrowa potrafi przetrwać supertajfuny

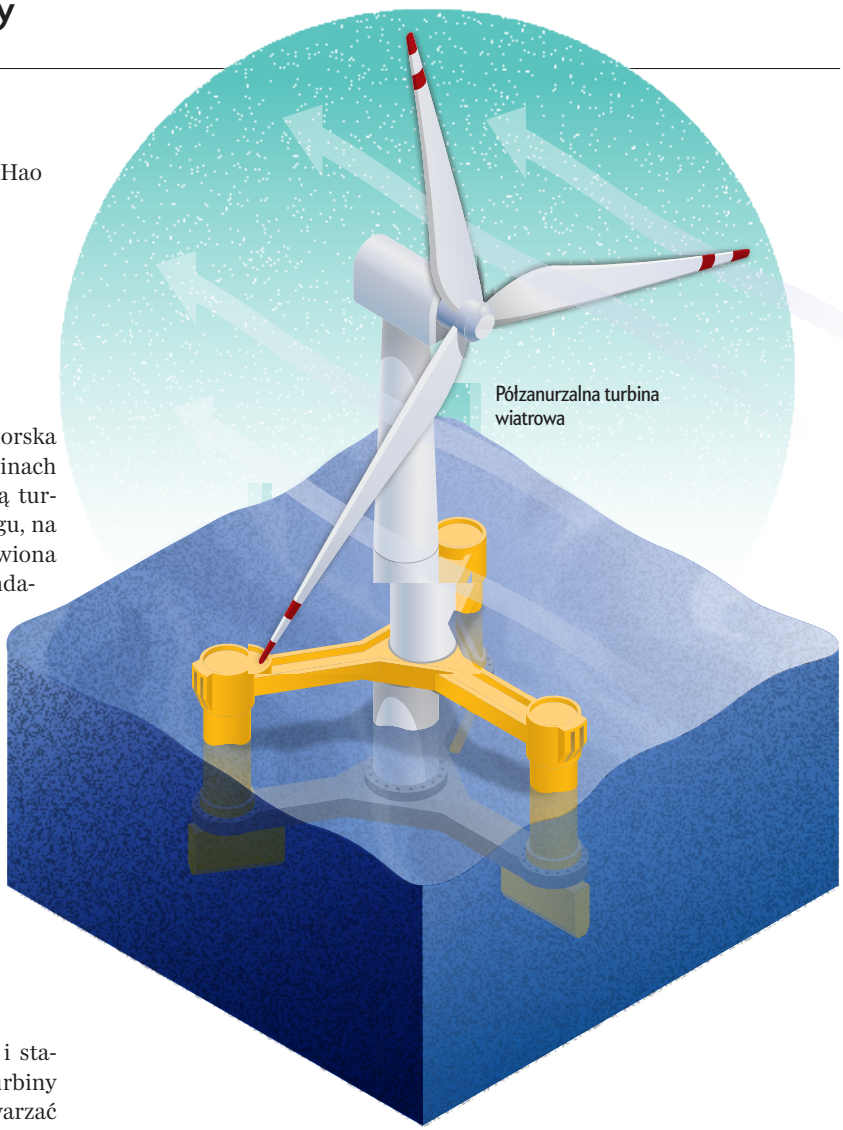
NAZWA PROJEKTU: platforma Sanxia Linghang Hao (Three Gorges Pilot)

LOKALIZACJA: Chiny

TECHNIKA: pływająca morska turbina wiatrowa

MOC ZAINSTALOWANA: 16 MW

ZASADA DZIAŁANIA: Zainstalowana w maju morska turbina wiatrowa Sanxia Linghang Hao w Chinach jest największą na świecie pojedynczą pływającą turbiną wiatrową. Znajduje się około 70 km od brzegu, na wodach o głębokości ponad 50 m i jest posadowiona na częściowo zanurzonej platformie, a nie na fundamencie palowym osadzonym w dnie morskim, jak większość morskich turbin wiatrowych. Przy tak dużej głębokości wód zastosowanie fundamentu palowego byłoby zbyt kosztowne. W systemie cumowniczym liny poliestrowe i łańcuchy kotwiczne działają jak sprężyny, pomagając amortyzować siłę fal i wiatru. Łopaty turbiny, której maksymalna wysokość wraz z łopatą wynosi 270 m, są przystosowane do wytrzymywania wiatru o prędkości do 264 km/h – większej niż prędkość wiatru podczas najsilniejszych tajfunów, podaje Three Gorges Corporation. (Firma nie odpowiedziała na prośby o wywiad).



ZALETY: Wiatry wiejące na morzu są silniejsze i stabilniejsze niż wiatry w pobliżu brzegu, dlatego turbiny zlokalizowane daleko od wybrzeża mogą wytwarzać więcej energii i zapewniać jej dostawy bardziej niezawodnie niż turbiny przybrzeżne. Szacuje się, że około 80% potencjału morskiej energetyki wiatrowej znajduje się na głębokich wodach, gdzie konieczne jest zastosowanie zakotwiczonych turbin pływających. Turbiny zlokalizowane daleko od brzegu pozwalają również uniknąć skarg mieszkańców dotyczących psucia krajobrazu, które są częstym problemem w przypadku przybrzeżnych farm wiatrowych. Ponieważ Stany Zjednoczone wstrzymały wydawanie koncesji i pozwoleń na morskie farmy wiatrowe, technika ta rozwija się obecnie w Azji i Europie: w samych Włoszech około 90 dalekomorskich farm wiatrowych zlokalizowanych daleko od brzegu przechodzi obecnie ocenę oddziaływania na środowisko.

OPINIA EKSPERTÓW: Pływające morskie farmy wiatrowe są pod względem technicznym dojrzałym rozwiązaniem i mają „zupełnie oczywisty” potencjał wytwarzania taniej energii, mówi Roberto Danovaro, biolog morski z Università Politecnica delle Marche we Włoszech. Jego zdaniem jedyną rzeczywistą kwestią pozostaje ich wpływ na środowisko. „Jeśli zostanie on odpowiednio oceniony, a instalacje właściwie zlokalizowane oraz zastosowane zostaną odpowiednie środki ograniczające ten wpływ, ich oddziaływanie ekologiczne i środowiskowe może być znikome, a korzyści – ogromne” – mówi Danovaro. *Dan Vergano*

Dan Vergano jest niezależnym dziennikarzem z Waszyngtonu.

eprasa.pl 807975059e



Dwie trzecie lasów Tonto National Forest w Arizonie – obszaru o powierzchni 800 tys. ha – miałoby trafić do sprzedaży, gdyby w życie weszła odrzucona poprawka do ustawy „One Big Beautiful Bill” zaproponowana przez prezydenta Trumpa.



OCHRONA PRZYRODY

Walka o ziemię

Analizy społeczno-ekologiczne pokazują, kto zyskałby, a kto stracił na dążeniu do przekazywania gruntów federalnych w ręce prywatne

KYLE MANLEY

KAŻDEGO ROKU PONAD 12 MLN OSÓB ODWIEDZA White River National Forest w środkowej części stanu Kolorado, aby jeździć na nartach, wędrować, uprawiać kolarstwo, łowić ryby, biwakować i na inne sposoby korzystać z tego wspaniałego obszaru leśnego o powierzchni blisko miliona hektarów. Jako część systemu terenów publicznych stanowi on własność narodu amerykańskiego i jest zarządzany w jego imieniu przez rząd federalny. Republikanie w Senacie próbowali tak zmienić prawo, by możliwe stało się sprzedanie połowy tego obszaru.

Próba została podjęta w czerwcu ubiegłego roku, kiedy senator Mike Lee ze stanu Utah zaproponował włączenie do projektu prezydenckiej ustawy „One Big Beautiful Bill" poprawki przewidującej wystawienie na aukcję milionów hektarów ziem publicznych w zachodnich stanach USA. Formalnie chodziło o to, by zmniejszyć zadłużenie Amerykanów i wesprzeć budownictwo mieszkaniowe, lecz w praktyce byłaby to największa dotąd wyprzedaż gruntów federalnych. Ostatecznie zapis usunięto jeszcze przed uchwaleniem ustawy. Z pewnością nie będzie to jednak ostatnia próba demontażu systemu terenów publicznych i przekazania ich w prywatne ręce. We wrześniu 2025 roku Center for American Progress opublikowało analizę wskazującą, że administracja Trumpa rozpoczęła działania, które mogłyby znieść lub osłabić ochronę łącznie ponad 70 mln hektarów ziemi. Wobec narastającej na tak ogromną skalę presji prywatyzacyjnej warto przyjrzeć się temu, co te obszary faktycznie zapewniają ludziom, a jak mogłyby na nich skorzystać korporacje.

Jako naukowiec zajmujący się ochroną środowiska, badający złożone współzależności między człowiekiem a przyrodą, postanowiłem przeanalizować koszty i korzyści wyprzedaży gruntów publicznych, traktując tę nieudaną poprawkę jako przykład nowego trendu. Wykorzystałem uznane metody analizy, aby ocenić publicznie dostępne zbiory danych, wcześniej opublikowane w recenzowanych czasopismach naukowych, oraz zsyntetyzować te informacje w celu ukazania szerszych konsekwencji takich działań politycznych. Wyniki jasno wskazują, że tereny te nie nadają się do zabudowy przeznaczonej na przystępne cenowo mieszkania. Co więcej, ich sprywatyzowanie oznaczałoby utratę kluczowych korzyści ekologicznych – od podtrzymywania populacji zapylaczy, które stanowią podstawę systemu produkcji żywności, po oczyszczanie powietrza, którym oddychamy – świadczonych nam przez ekosystemy bez bezpośrednich kosztów i wysiłku z naszej strony.

Spory o tereny publiczne w Stanach Zjednoczonych mają głębokie korzenie. W latach 70. XX wieku hodowcy bydła, przedstawiciele branży wydobywczej, urzędnicy hrabstw oraz sprzymierzeni politycy – później poparci przez prezydenta Ronalda Reagana – zainicjowali tzw. Sagebrush Rebellion, której celem było odebranie władzom federalnym kontroli nad setkami milionów hektarów ziemi. W 2016 roku Partia Republikańska otwarcie wzywała do przekazania gruntów federalnych poszczególnym stanom i wprowadzenia ułatwień w eksploatacji drewna, minerałów, węgla, ropy i innych zasobów naturalnych z tych terenów.

Plan Heritage Foundation o nazwie „Project 2025" idzie jeszcze dalej w dążeniu do przejęcia kontroli nad terenami publicznymi i eksploatacji ich zasobów naturalnych. Przewiduje wycofanie się z inicjatywy 30×30 podjętej w ramach Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework. Zakłada ona objęcie ochroną 30% lądów, wód śródlądowych i oceanów świata do 2030 roku (Trump już uchylił zobowiązania USA dotyczące 30×30). Plan zakłada także osłabienie Land and Water Conservation Fund – federalnego programu, który od 1965 roku finansuje wykup gruntów i udziałów w gruntach w celu ochrony obszarów przyrodniczych, zasobów wodnych i dziedzictwa kulturowego oraz zapewniania możliwości rekreacji. Project 2025 zmierza też do osłabienia ustawy Antiquities Act z 1906 roku, która pozwala prezydentom chronić federalne tereny o znaczeniu naukowym, historycznym lub kulturowym poprzez nadawanie im statusu pomników

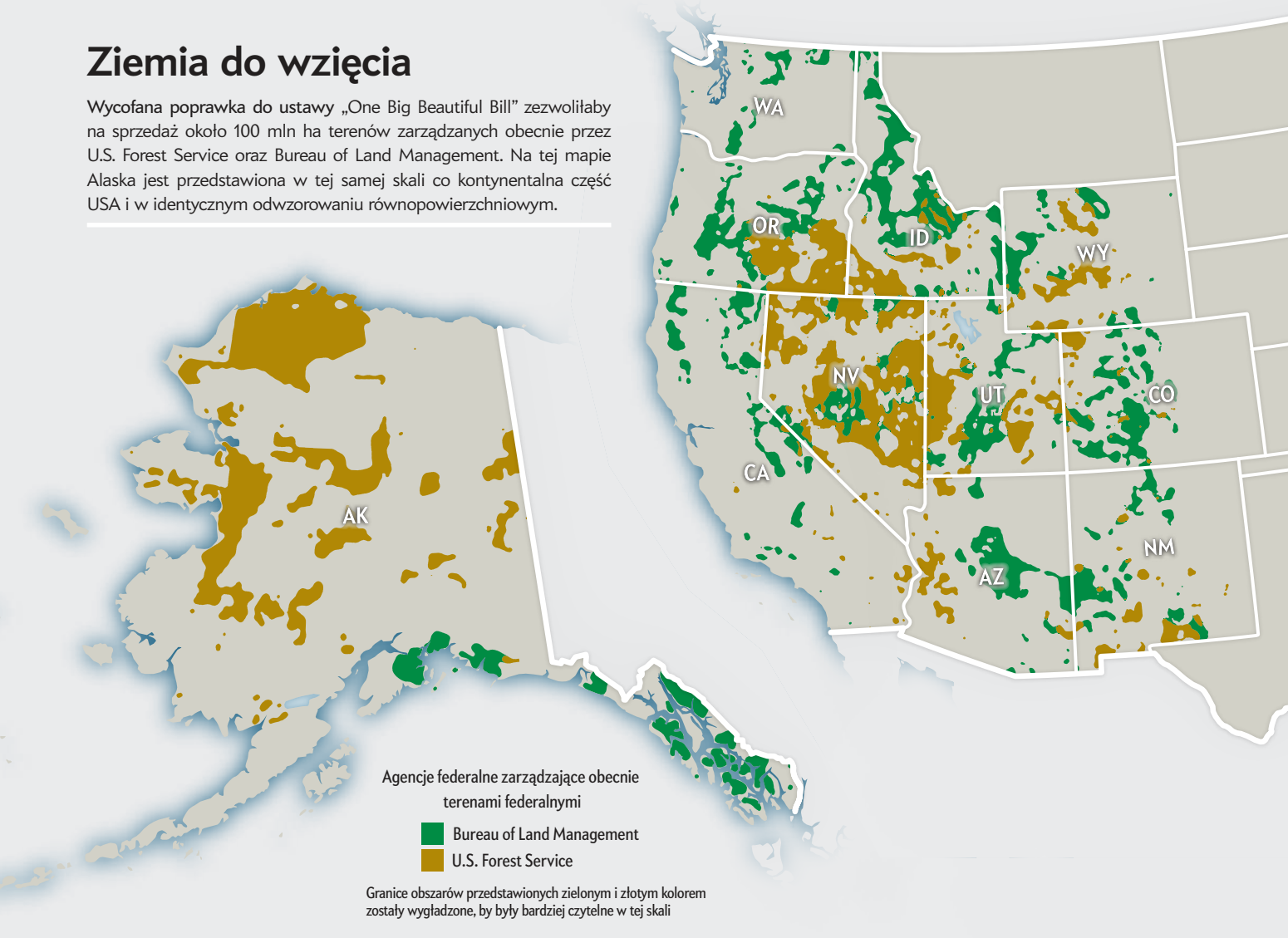
Kyle Manley odbywa staż podoktorski w Earth Lab na University of Colorado w Boulder. Jako naukowiec zajmujący się ochroną środowiska zajmuje się takimi kwestiami, jak usługi ekosystemowe, relacje między człowiekiem a przyrodą oraz wpływ zmian i zaburzeń klimatycznych na systemy społeczno-ekologiczne.

Witold Skrypczak/Alamy *(poprzednie strony)*

eprasa.pl 807975059e

Ziemia do wzięcia

Wycofana poprawka do ustawy „One Big Beautiful Bill” zezwoliłaby na sprzedaż około 100 mln ha terenów zarządzanych obecnie przez U.S. Forest Service oraz Bureau of Land Management. Na tej mapie Alaska jest przedstawiona w tej samej skali co kontynentalna część USA i w identycznym odwzorowaniu równopowierzchniowym.



narodowych. Departament Sprawiedliwości uznał niedawno, że prezydent ma uprawnienia do uchylania statusu pomników narodowych, a Departament Spraw Wewnętrznych rozpoczął przegląd takich obszarów z myślą o rozwoju przemysłu wydobywczego.

Obecnie już wycofany zapis o wyprzedaży terenów publicznych, który znalazł się w projekcie ustawy Donalda Trumpa dotyczącej uzgodnień budżetowych, uczyniłby ponad 100 mln ha ziem należących do U.S. Forest Service oraz do Bureau of Land Management w 11 stanach zachodniej części USA kwalifikującymi się do sprzedaży oraz nakazywałby sprzedanie około miliona hektarów tych terenów w ciągu pięciu lat. Zapis wymagał, aby każdy sprzedany teren został przeznaczony pod zabudowę mieszkaniową i powiązaną z nią infrastrukturę, przy czym ograniczenie to wygasałoby po 10 latach.

Zwolennicy przedstawiali sprzedaż jako rozwiązanie kryzysu dostępności mieszkań w Ameryce, choć zapis nie zawierał żadnych wymogów dotyczących przystępności cenowej ani też nie określał, kto mógłby nabywać te grunty. Czy sprzedaż terenów federalnych rzeczywiście mogłaby rozwiązać problem dostępnych cenowo mieszkań? I jakie byłyby ekologiczne koszty przekształcenia milionów hektarów ziem publicznych pod zabudowę? Ta kwestia wymaga omówienia. Spójrzmy na dane.

ABY ZWERYFIKOWAĆ TEZĘ, że inicjatywa Trumpa rozwiązałaby kryzys mieszkaniowy, oceniłem, czy tereny te w ogóle nadają się do zabudowy, koncentrując się na ich dostępności oraz ryzyku pożarów lasów. Przeanalizowałem w szczególności, jak oba te kryteria nakładają się na siebie na terenach kwalifikujących się do potencjalnej sprzedaży. Opierałem się na publikowanych wcześniej zbiorach danych dotyczących dostępności, w których obliczony został czas dojazdu do ośrodków miejskich i infrastruktury, oraz określających ryzyko pożarowe.

Spodziewałem się, że będą to tereny odległe i narażone na pożary, ale skala ich niedostępności i zagrożenia ogniem mnie zaskoczyła. Nawet jeśli deweloperowi udałoby się znaleźć ubezpieczyciela gotowego objąć taki projekt ochroną, domy wciąż pozostawałyby

ŹRÓDŁO: Outdoor Alliance: Senate Reconciliation—National Public Lands Available for Sale. Pozyskane w grudniu 2025 r. ze strony https://outdooralliance.maps.arcgis.com/apps/instant/basic/index.html?appid=f79f69f11f1844dd2be659da8ce0f4b9e (*dane*)

Mapa Daniel P. Huffman

eprasa.pl 807975059e

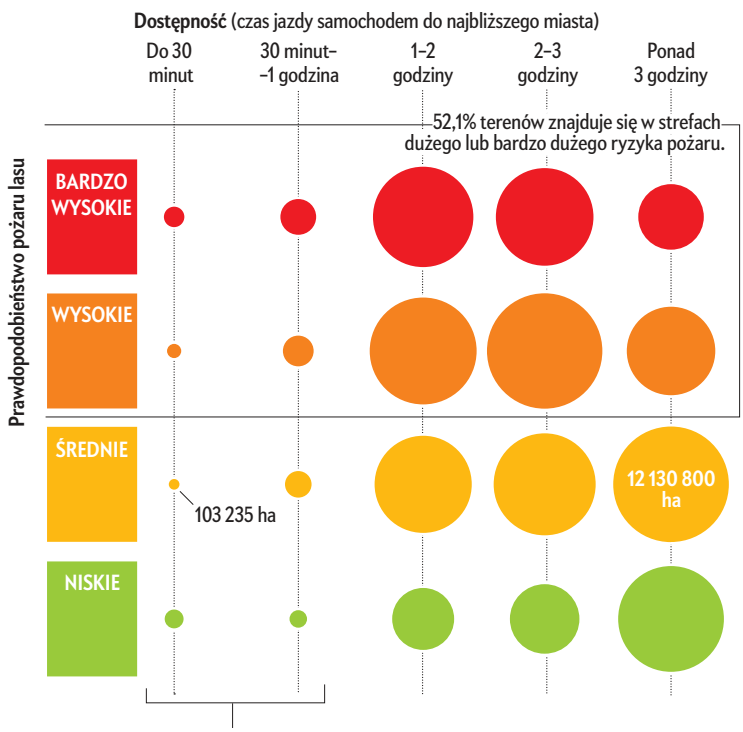
poza zasięgiem rodzin pracujących, które najbardziej potrzebują przystępnych cenowo mieszkań, ponieważ większość takich gruntów znajduje się z dala od infrastruktury umożliwiającej tanie budownictwo i z dala od ośrodków z dużą liczbą miejsc pracy, w których zatrudniona jest większość Amerykanów.

Tylko 3,5% tych terenów znajduje się w odległości godziny jazdy od miasta, jedynie 0,7% leży w odległości 30 min; do 30,5% trzeba byłoby jechać od jednej do trzech godzin; w przypadku 33,4% taka jazda do większego ośrodka miejskiego trwałaby od trzech do sześciu godzin; a w przypadku 32,6% – ponad sześć. Jeśli chodzi o ryzyko pożaru, to 18% analizowanych obszarów leży w strefie niskiego prawdopodobieństwa takiego zdarzenia i niemal wyłącznie dotyczy to Alaski. Ponad 52% jest położonych w strefach wysokiego lub bardzo wysokiego ryzyka pożarowego.

Pewna część tych terenów istotnie znajduje się w strefach niskiego ryzyka pożarowego – może więc one nadawałyby się pod zabudowę mieszkaniową?

Prawdopodobieństwo pożaru i dostępność terenów publicznych wskazanych do sprzedaży w odrzuconej poprawce

Rozmiar kółka odpowiada powierzchni terenów należących do danej kategorii



Tylko 3,5% terenów znajduje się w odległości godziny lub mniej jazdy samochodem do miasta.

Nie. Tylko 0,3% ziem potencjalnie przeznaczonych do sprzedaży spełnia równocześnie dwa kryteria: niskiego ryzyka pożaru naturalnego i krótszego niż 30 min czasu dojazdu do miasta, przy czym 81% tego znikomego odsetka znajduje się na Alasce, gdzie akurat ziemi pod zabudowę nie brakuje. Spośród 18% uwzględnionych w analizie terenów zaklasyfikowanych jako strefy niskiego ryzyka pożaru, ponad połowa (55%) znajduje się w odległości ponad sześciu godzin jazdy od najbliższego miasta; 24% – w odległości od trzech do sześciu godzin; a 19% – w odległości od jednej do trzech godzin.

Następnie postanowiłem oszacować ekologiczne koszty prywatyzacji. Aby to zrobić, musimy wiedzieć, jakie ekosystemy występują na terenach publicznych kwalifikujących się do sprzedaży, i przyjrzeć się usługom ekosystemowym, jakie nam świadczą. Analiza pokrycia terenu oparta na bazie National Land Cover Database wykazała, że 55 mln hektarów, czyli 53,8%, porośnięta jest roślinnością krzewiastą; 26 mln ha, czyli 25,3%, stanowią lasy iglaste; natomiast 11 mln ha, czyli około 10,5%, to łąki i zbiorowiska trawiaste. Te trzy typy ekosystemów obejmują niemal 90% terenów kwalifikujących się do sprzedaży.

Opierając się na wartościach usług ekosystemowych oszacowanych na podstawie ponad 1500 badań wyceniających biomy z całego świata, wyliczyłem szacunkową wartość korzyści płynących z lasów, obszarów krzewiastych i zarośli oraz łąk i zbiorowisk trawiastych. Łącznie ekosystemy na terenach zakwalifikowanych do sprzedaży generują rocznie 507,4 mld dolarów korzyści dla społeczeństwa.

Samo zapylanie przez owady oszacowane zostało na 236,2 mld dolarów rocznie. Usługa ta ma fundamentalne znaczenie dla rolnictwa i naturalnych ekosystemów. Około 35% światowej produkcji roślinnej, w tym 87 z 115 głównych upraw, zależy od zapylaczy. Polega na nich również prawie 90% dzikich roślin kwitnących. Tereny publiczne w zachodniej części USA, będące azylem różnorodności gatunkowej zapylaczy, są niezwykle cenne dla społeczeństwa.

Zapylanie jest stosunkowo łatwe do wyobrażenia jako korzyść, ponieważ dostarcza nam żywności, która trafia na rynki. Jednak ekosystemy oferują znacznie więcej niż wartość rynkową. Przykładem jest wartość związana z samym ich istnieniem – obecnie i w przyszłości. Ludzie czerpią korzyść z samej świadomości tego faktu. Oszacowałem ją dla terenów przeznaczonych do sprzedaży na kwotę 46,5 mld dolarów rocznie.

Powyższa korzyść jest częściowo powiązana z inną usługą ekosystemową: podtrzymaniem różnorodności genetycznej. Najprościej mówiąc, ekosystemy wspierają bioróżnorodność. Analiza danych dotyczących bogactwa gatunkowego gromadzonych przez International Union for Conservation of Nature pokazuje, że tereny kwalifikujące się do sprzedaży w ramach poprawki do „Big Beautiful Bill" wspierają średnio 261 gatunków płazów, ptaków, ssaków i gadów na każde 3000 ha. W tym jest pięć gatunków zagrożonych. Wyliczyłem, że podtrzymywanie różnorodności gatunkowej na tych terenach warte jest 9,7 mld dolarów rocznie.

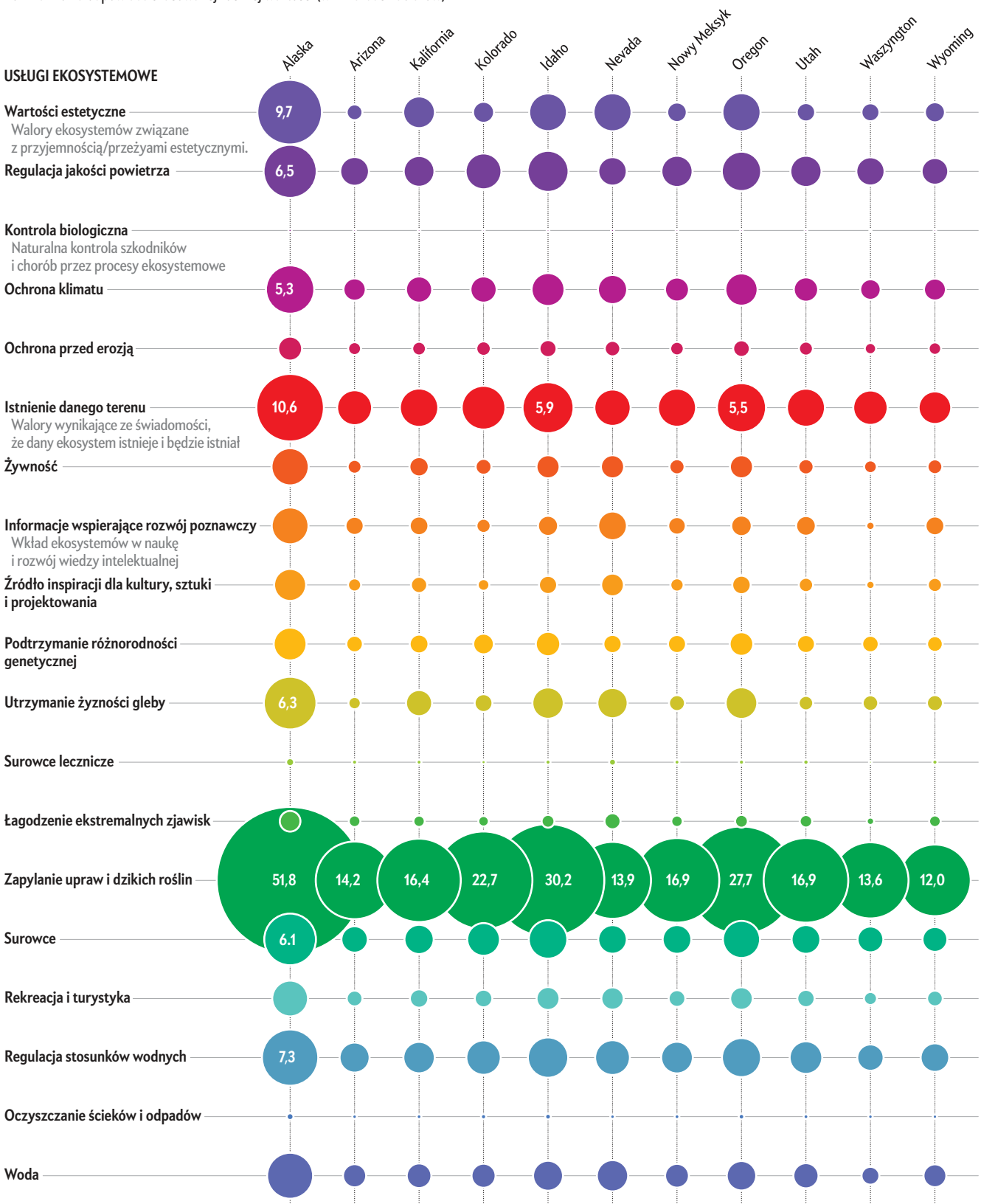
Regulacja stosunków wodnych to kolejna istotna, choć niewidoczna, usługa, jaką pełnią ekosystemy na terenach publicznych, wyceniona w tej analizie na 31,4 mld dolarów rocznie. Poprzez magazynowanie opadów i topniejącego śniegu, łagodzenie powodzi, utrzymywanie przepływów, zasilanie warstw wodonośnych i regulację jakości wody, ekosystemy podtrzymują życie w rzekach. Wstępna analiza danych z National

Infografiki: Kyle Manley, Jen Christiansen

eprasa.pl 807975059e

Wartość usług ekosystemowych świadczonych przez tereny zakwalifikowane do sprzedaży w odrzuconej poprawce

Rozmiar kółka odpowiada szacowanej rocznej wartości (w miliardach dolarów)



eprasa.pl 807975059e



Ronny Karpel/Alamy

Watershed Boundary Dataset, w szczególności liczby ludności zamieszkujących zlewnie (bez Alaski z powodu ograniczeń w udostępnianiu danych), pokazuje, że na tych terenach znajduje się ponad 21 tys. zlewni – od każdej z nich jest uzależnionych średnio 6 tys. osób. Największą zależność widać w Arizonie (16 400 osób na zlewnię), Kalifornii (15 600 osób na zlewnię) i Nevadzie (4500 osób na zlewnię). Tak znaczne uzależnienie nie dziwi, jeśli wziąć pod uwagę, że w zachodniej części USA kluczowe znaczenie w zaopatrzeniu w wodę odgrywają wysokogórskie źródła zasilane topniejącym śniegiem, szczególnie jest to widoczne w Górach Skalistych.

Nasze ekosystemy odfiltrowują również zanieczyszczenia, takie jak pył zawieszony, tlenek węgla i ozon, oczyszczając atmosferę i zapewniając czyste powietrze miliardom ludzi na świecie. Usługa ta jest szczególnie istotna w sytuacji, gdy – jak się szacuje – same tylko zanieczyszczenia atmosferyczne pochodzące ze spalania paliw kopalnych odpowiadają na świecie za ponad 8 mln przedwczesnych zgonów rocznie. Regulacja jakości powietrza przez tereny federalne zakwalifikowane do sprzedaży warta jest 29,5 mld dolarów rocznie.

Ponadto tereny te oferują społeczeństwu możliwość rekreacji i turystyki, co warte jest ponad 11,6 mld dolarów rocznie w przypadku ziem proponowanych do sprzedaży, a jeżeli uwzględnimy również ich walory estetyczne, wówczas wartość tę należy powiększyć o dodatkowe 25,7 mld dolarów. Wśród tych terenów są niektóre najbardziej popularne, i można powiedzieć, kultowe lasy Ameryki oraz obszary znajdujące się pod zarządem Bureau of Land Management, w tym Nine Mile Canyon, Behind the Rocks Wilderness Study Area, White River National Forest, Deschutes National Forest, Tahoe National Forest oraz Angeles National Forest.

Analiza krajowych baz danych na temat szlaków i infrastruktury turystycznej pokazuje, że na tych terenach poprowadzono blisko 91 tys. km szlaków, wzniesiono prawie 2 tys. obiektów rekreacyjnych oraz wyznaczono ponad 300 obszarów rekreacyjnych. Łącznie dostarczają 10 tys. możliwości rekreacyjnych

eprasa.pl 807975059e



Blisko 67% powierzchni Chugach National Forest na Alasce, w tym Jezioro Ptarmigan, mogłoby trafić do sprzedaży zgodnie z poprawką wycofaną w Kongresie.

obejmujących 93 rodzaje aktywności, w tym wędrówki, biwakowanie, wędkowanie i polowanie. Te przestrzenie służące do uprawiania sportu, rozwijania pasji i kreatywności są cenione zarówno przez mieszkańców USA, jak i zagranicznych gości. Przyczyniają się do poprawy zdrowia i dobrostanu ludzi oraz wspierają wiele małych miejscowości żyjących z turystyki.

Taka prosta, bazująca na analizie danych ocena ujawnia prawdziwe intencje zwolenników sprzedaży ziem – i wskazuje potencjalne ofiary tego kroku. Rząd federalny chce sprzedać nasze tereny korporacjom dla zysku. Uzyskane dochody miałyby sfinansować ulgi podatkowe, z których skorzystaliby głównie najbogatsi. Dla przeciętnego obywatela byłaby to fatalna transakcja. Setki milionów hektarów gruntów publicznych nie są ani tak dostępne, ani też wystarczająco bezpieczne, aby mogły pomóc w rozwiązaniu kryzysu przystępnych cenowo mieszkań: większość działek znajduje się w odległości wielu godzin jazdy od większego miasta, a zagrożenie pożarami lasów jest na nich olbrzymie. Jeśli powstałaby tam jakakolwiek zabudowa, to nie zapewniłaby ona mieszkań zwykłym rodzinom, ale napędziłaby zyski korporacjom i spekulantom. To, co może zniknąć, to nie „jałowe pustkowie", jak często określają takie obszary zwolennicy ich sprzedaży, ale tętniące życiem ekosystemy, które dostarczają społeczeństwu korzyści wartych setki miliardów dolarów rocznie. Zamiast rozwiązać problem niedoboru mieszkań, plan ten pogłębiłby nierówności społeczne i zniszczył cenne ekosystemy, od których zależy nasze życie.

Wartość to pojęcie niejednoznaczne. Dla korporacji i polityków popierających tę wyprzedaż sprowadza się do wszystkiego, co podniesie produkt krajowy brutto w kolejnym kwartale. Dla reszty ma znacznie szersze znaczenie. Obejmuje czystą wodę, obfitość żywności, stabilność ekologiczną, dziedzictwo kulturowe, szanse dla przyszłych pokoleń, a także możliwość zachwycania się wspaniałymi krajobrazami. ■

Z ARCHIWUM

„How Conserving 30 Percent of U.S. Land by 2030 Could Work". Andrea Thompson; ScientificAmerican.com, 22 kwietnia, 2022.

eprasa.pl 807975059e

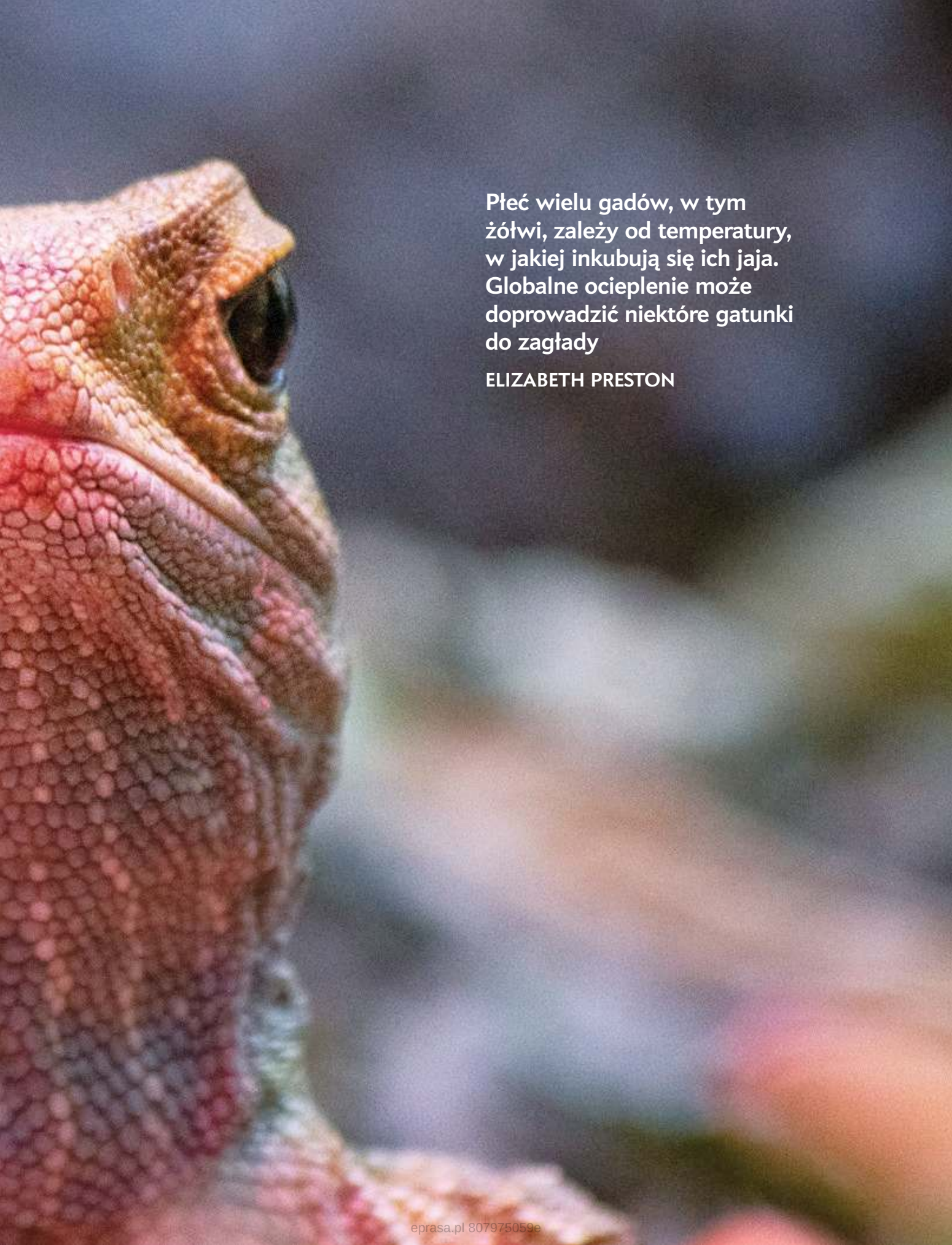


BIOLOGIA

Gadzia seksmisja

Hatteria, gad występujący wyłącznie na małych wyspach Nowej Zelandii, jest zagrożona wyginięciem z powodu zanikania jej siedlisk oraz zaburzonej proporcji płci w populacji.

epi-ass-pl-807975059e



Płeć wielu gadów, w tym żółwi, zależy od temperatury, w jakiej inkubują się ich jaja. Globalne ocieplenie może doprowadzić niektóre gatunki do zagłady

ELIZABETH PRESTON

eprasa.pl 807975059e

W **CIEMNOŚCI ROZŚWIETLANEJ JEDYNIE GWIAZDAMI** samica żółwia zielonego (*Chelonia mydas*) wyłania się z fal i wdrapuje na znajomy piasek plaży Alagadi na północnym wybrzeżu Cypru. Nie dostrzega żadnych drapieżników, gdy posuwa się w głąb lądu. To jest dla niej szczególna noc.

Kiedy żółwica znajduje odpowiednie miejsce, usadawia się w ciepłym piasku i zaczyna kopać głęboki dół. Nic jej nie rozprasza, jest jak w transie. Składa do jamy sto mokrych, skórzastych jaj. Nie poruszy się, dopóki nie ukończy zadania, nawet wtedy, gdy ludzie podejdą blisko, aby zmierzyć jej pancerz i umieścić między jajami rejestrator temperatury. Sama czynność składania jaj trwa około 20 min, ale to jeszcze nie koniec zadania. Wciąż skupiona mozolnie zagarnia piasek na jaja przez kolejne kilka godzin. Potem wraca do oceanu.

Za około dwa miesiące z jaj wyklują się młode i popędzą rozpaczliwie ku wodzie. Będą musiały radzić sobie same – matka już się nimi nie zajmie. Nigdy też nie dowie się o osobliwej cesze swojego potomstwa: niemal wszystkie wyklute młode będą samicami.

Wiele gadów różni się od typowych kręgowców tym, że ich płeć nie jest określana przez geny. Nie mają chromosomów płciowych, takich jak X i Y obecne w ludzkich komórkach. O tym, czy rozwiną się w samca czy samicę, decyduje temperatura gniazda.

U żółwi zielonych temperatura wynosząca około 29°C w krytycznej środkowej fazie inkubacji sprawia, że młode wykluwają się mniej więcej po połowie jako samice i samce. Jednak im wyższa temperatura w gnieździe, tym przewaga samic rośnie. W ciemnym, nagrzanym piasku plaży Alagadi jaja inkubują się w 33–34°C, co prowadzi do lęgów niemal zdominowanych przez samice.

Gady, u których płeć zależy od temperatury – jest w tej grupie większość żółwi, wszystkie gady z rzędu krokodyli (krokodyle, aligatory i ich krewni), a także niektóre jaszczurki i pewne unikatowe stworzenie z Nowej Zelandii zwane hatterią – należą do linii ewolucyjnych, które przetrwały klimatyczne wzloty i upadki Ziemi przez miliony, a nawet setki milionów lat. Współczesność niesie jednak nagromadzenie problemów, z jakimi nigdy wcześniej się nie mierzyły, takich jak utrata siedlisk spowodowana działalnością człowieka oraz szalejący planetarny termostat.

Globalne ocieplenie wpływa na różne gatunki gadów w odmienny sposób. O ile wyższe temperatury powodują u żółwi rozwój samic, o tyle u krokodylowatych efekt jest odwrotny – rodzi się więcej samców. Naukowcy przewidują pojawienie się do 2100 roku niemal jednopłciowych pokoleń aligatorów.

Jeśli wzrost temperatur sprawi, że całe pokolenia rozmnażających się płciowo gadów zostaną silnie zdominowane przez samce lub samice, może to doprowadzić do wymarcia pewnych gatunków: możliwości kojarzenia się osobników zmaleją, a w populacjach zacznie przeważać chów wsobny. Osobniki należące do gatunku już wcześniej kurczącego się pod wpływem innych presji mogą nie znaleźć partnera, z którym mogłyby mieć potomstwo. Wydaje się, że niektóre gady już teraz próbują się przystosowywać do zmieniających się warunków, modyfikując zachowania związane z zakładaniem gniazd. Jednak ich dalsze przetrwanie może zależeć od tego, czy zdołają nadążyć za coraz szybszym tempem zmian klimatu.

TEMPERATURA JAKO CZYNNIK determinujący płeć jest bez wątpienia dziwnym zjawiskiem – i takim, które naukowcom trudno wyjaśnić. Weźmy amerykańskiego aligatora. W okolicy przesilenia letniego samica buduje z roślinności porastającej jej mokradłowe siedlisko kopiec będący gniazdem. Następnie składa jaja w tej „doskonałej pryzmie kompostowej", jak określa ją Benjamin Parrott, ekolog z University of Georgia. Jaja ogrzewane są przez rozkładającą się powoli biomasę. Gdy temperatura zatrzyma się nieco poniżej 32°C, wówczas wykluwa się z nich mniej więcej tyle samo samców, ile samic. Kiedy przekroczy tę granicę, wtedy na świat przychodzi więcej samców, choć przy jeszcze wyższych temperaturach przewagę znów zyskują samice. „Te parę stopni Celsjusza zmienia wszystko" – mówi Parrott.

Elizabeth Preston jest niezależną dziennikarką i redaktorką naukową. Jej najnowsza książka to *The Creatures' Guide to Caring* (wyd. Viking).

Melinda Mackenzie/iStock/Getty Images Plus (*poprzednie strony*)

eprasa.pl 807975059e



Świeżo wyklute żółwie zielone pokonują piaszczystą plażę Alagadi na Cyprze. Zmierzają ku morzu. Wysoka temperatura w gniazdach sprawia, że lęgi składają się niemal wyłącznie z samic.

Laura Boushnak/AFP za pośrednictwem Getty Images

W jaki sposób gady zaczęły bazować na temperaturze jako czynniku determinującym płeć potomstwa, pozostaje w dużej mierze tajemnicą. Niektóre z badań Parrotta sugerują, że taki system może wyewoluować u danego gatunku wtedy, gdy jedna z płci częściej przeżywa w wyższych temperaturach. Również u niektórych ryb rozwinęła się się taka zależność od temperatury.

To oczywiste, że rodzice wykorzystują informacje o środowisku, aby zapewnić potomstwu przewagę. Jednak w przeciwieństwie choćby do menidii (*Menidia menidia*) – zamieszkującej atlantyckie wybrzeże USA ryby cechującej się determinacją płci zależną od temperatury, której potomstwo dojrzewa w ciągu roku – gady takie, jak aligatory czy żółwie, rozwijają się bardzo wolno. Aligatory z Karoliny Południowej zaczynają składać jaja dopiero około 16. roku życia. Żółwie morskie mogą dojrzewać nawet 40 lat. Dlaczego jedno gorące lato miałoby decydować o losie potomstwa, skoro będzie musiało przetrwać jeszcze co najmniej 16 kolejnych lat, zanim samo zacznie się rozmnażać? „Trudno to w pełni zrozumieć" – przyznaje Rachel Bowden, ekolożka z Illinois State University prowadząca badania nad żółwiami słodkowodnymi.

Badacze nie rozumieją też, dlaczego inkubacja jaj odbywająca się w temperaturze progowej prowadzi do pojawienia się względnie wyrównanej proporcji samców i samic, skoro wszystkie jaja rozwijały się w tych samych warunkach. Bowden bada hormony i inne związki, które w zależności od temperatury mogą sprawić, czy dojdzie do rozwoju jajników, czy jąder.

Dodatkowa trudność polega na tym, że nawet eksperci nie zawsze potrafią określić, czy młody aligator albo żółw jest samcem, czy samicą. „Nie ma łatwego sposobu, by to ustalić" – mówi Parrott. Różnice w wyglądzie zewnętrznych narządów płciowych aligatora pojawiają się dopiero po około sześciu miesiącach. W laboratoriach naukowcy usypiali świeżo wyklute młode i badali je, aby ustalić, czy określone stałe temperatury inkubacji odpowiadają konkretnym proporcjom samic i samców. Zazwyczaj jednak muszą szacować stosunek płci wśród młodych wykluwających się w naturze w zmiennych warunkach temperatury.

Jeszcze bardziej złożona sytuacja występuje u jaszczurek. Wśród kilku tysięcy gatunków jaszczurek żyjących na Ziemi nie ma jednego modelu – u jednych o płci decydują temperatury, podczas gdy inne polegają na genach. Jednak nawet u tych gatunków, które mają chromosomy płciowe, temperatura może wpływać na to, czy potomstwo będzie samcem, czy samicą. U scynek z rodzaju *Carinascincus* – niewielkich miedzianych jaszczurek żyjących na Tasmanii i rodzących żywe młode – populacje z dużych wysokości bezwzględnych mają genetycznie określaną płeć, podczas gdy u populacji z niżej położonych terenów o proporcji płci decyduje temperatura. U agamy brodatej (*Pogona vitticeps*) wysokie temperatury mogą zmieniać genetycznie męskie jaszczurki w samice.

Na tle tych wszystkich niewiadomych badacze próbują ustalić, jak elastyczne mogą być gady w swoich zachowaniach lęgowych. W ciągu milionów lat przetrwały one niejedną dramatyczną zmianę klimatu – od epok lodowych po skrajne gorąco. Aligatory i ich krewniacy radzili sobie m.in. dzięki przeprowadzkom do bardziej sprzyjających stref klimatycznych:

eprasa.pl 807975059e



Młode amerykańskie aligatory wygrzewają się w Big Cypress National Preserve na Florydzie. Naukowcy przewidują, że do 2100 roku nowe pokolenia aligatorów mogą być niemal w całości jednopłciowe.

przesuwały się ku równikowi, gdy było chłodniej, i ku biegunom, gdy robiło się cieplej. W pewnym momencie przedstawiciele rzędu krokodyli żyli nawet na Alasce. Jednak w świecie zdominowanym przez ludzi taka migracja może nie być realnym rozwiązaniem. „Nie sądzę, żeby mieszkańcy Waszyngtonu zaakceptowali aligatory w Potomaku" — mówi Parrott.

Teoretycznie współczesne gady mogłyby utrzymywać jaja w chłodniejszej temperaturze i w ten sposób uzyskiwać stabilniejsze proporcje płci poprzez zakładanie gniazd wcześniej w roku, albo poprzez lokalizowanie ich w bardziej zacienionych miejscach lub też kopanie głębszych jam. To jednak wymagałoby od nich dostrzeżenia zmiany temperatury, a następnie dostosowania do tej zmiany własnych zachowań.

W CZASIE LETNIEGO SEZONU lęgowego Sophie Davey zaczyna prowadzić nocny tryb życia. Kieruje projektem monitorowania żółwi morskich realizowanym przez Society for the Protection of Turtles. Niemal codziennie około 19:30 pojawia się na plaży Alagadi. Co 10 min jeden z członków jej zespołu przechadza się wzdłuż plaży, wypatrując żółwi składających jaja. Gniazdują tu zarówno karetty, jak i żółwie zielone, a zeszłego lata – jak mówi Davey – „pojawiły się tłumnie", zwłaszcza żółwie zielone.

Aby nie niepokoić samic składających jaja, członkowie zespołu wykonują większość pracy po ciemku. Czerwonego światła używają tylko wtedy, gdy jest to konieczne, na przykład przy wpisywaniu danych do formularzy. W pozostałych sytuacjach nauczyli się polegać na innych zmysłach.

Woń świeżo rozkopanego piasku jest często pierwszą wskazówką, że żółw zielony właśnie wyszedł na plażę. „Gdy tylko wiatr przynosi zapach ziemi, wiadomo, że gdzieś na plaży jest żółw" – mówi Davey. Karetty natomiast pachną glonami.

Także dźwięki zdradzają, co dzieje się w ciemności. Głuche plaśnięcia oznaczają, że żółw używa dużych przednich płetw do wykopania zagłębienia dla siebie, natomiast delikatniejsze odgłosy wskazują, że tylnymi płetwami wykopuje komorę lęgową.

W czasie, gdy samice składają jaja, członkowie zespołu zbierają dane. Mierzą zwierzęta, zakładają im identyfikatory i mikroczipy oraz pobierają próbki tkanek, które wykorzystują w analizach genetycznych, a także do ustalenia, skąd pochodzą zwierzęta i czym się żywią. Na koniec badacze zabezpieczają gniazdo kratką chroniącą przed drapieżnikami.

Jednym z celów projektu jest poszukiwanie odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób żółwie mogą się przystosować do coraz cieplejszego świata. Od lat 90. żółwie zielone zaczynają okres lęgowy na plaży Alagadi niemal o jeden dzień wcześniej każdego roku. Biolożka Annette Broderick z University of Exeter w Anglii, jedna z naukowych doradczyń programu monitorowania żółwi na Cyprze, mówi, że trend ten napędzają starsze i bardziej doświadczone samice, które odbywają kilka lęgów w sezonie. Gniazda założone wcześniej pozostają chłodniejsze przez cały okres inkubacji. Podobne zjawisko obserwuje się u karett: doświadczone samice przybywają średnio o pół dnia wcześniej każdego roku.

A zatem żółwie morskie wydają się dostosowywać swoje zachowania do zmiany klimatu. „Ale to działa tylko do pewnego momentu" – mówi Broderick. Trawa morska, którą żółwie żywią się w miejscach odległych o setki kilometrów, może nie być dostępna wystarczająco wcześnie w roku, aby zdążyły zgromadzić zapasy przed wyruszeniem na plaże lęgowe.

Same plaże również mogą narzucać żółwiom ograniczenia. Mimo że samice gniazdujące na Alagadi przybywają coraz wcześniej, ich potomstwo wciąż składa się niemal wyłącznie z samic. Ciemny, gorący piasek (oraz, jak zauważa Davey, stały napływ plastikowych śmieci potencjalnie zatrzymujących ciepło) sprawia, że plaża może po prostu nie utrzymać temperatur tak niskich, aby rodziły się samce, niezależnie od tego, jak wcześnie matki złożą jaja. W innych miejscach Cypru znajdują się czystsze plaże z głębokim, jasnym piaskiem, gdzie wykluwa się trochę więcej samców. Wciąż jednak wszystkie plaże na wyspie są silnie sfeminizowane.

Co istotne, nie chodzi o to, by uzyskać idealną proporcję płci wynoszącą 50:50. Jak mówi Broderick, u żółwi morskich pewna przewaga samic wśród wykluwających się osobników może mieć swoje naturalne uzasadnienie. W populacji to się bilansuje, ponieważ samice składają

Troy Harrison/Getty Images

eprasa.pl 807975059e

jaja co dwa–cztery lata, podczas gdy samce mogą parzyć się co roku. Zatem wyższa temperatura podczas inkubacji przyczyniająca się do pojawienia się większej liczby samic może wręcz pomagać żółwiom w zwiększaniu liczebności.

„Bez wątpienia będą też pewne pozytywne skutki – mówi Broderick. – Ale będą też negatywne." Wyższe temperatury, oprócz zwiększania liczby samic, przyspieszają też wzrost gadów – więc te samice mogą wcześniej osiągać dojrzałość rozrodczą. Jednakże zbyt wysokie temperatury inkubacji mogą nie tylko pozbawić samice potencjalnych partnerów, ale też sprawić, że całe lęgi przestaną się wykluwać.

Żółwie morskie nie są jedynymi zwierzętami zmieniającymi zachowanie wraz z ociepleniem klimatu. Również samice żółwi słodkowodnych wydają się dostosowywać swoje zwyczaje. Niektóre populacje co najmniej kilku gatunków z Ameryki Północnej zaczęły zakładać gniazda wcześniej niż w poprzednich dekadach. Damice żółwia czerwonolicego (*Trachemys scripta elegans*) zamieszkującego stan Illinois składają jaja ponad trzy tygodnie wcześniej niż w latach 90.

W jednym z badań Jeanine Refsnider, ekolog ewolucyjna z University of Toledo, przeniosła dziko żyjące żółwie malowan (*Chrysemys picta*) e ze stanów Nowy Meksyk, Illinois, Nebraska, Iowa i Waszyngton do stawów badawczych w Iowa. Wszystkie były ciężarnymi samicami. Mogłyby wybrać warunki lęgowe odpowiednie dla klimatu rodzinnych stron: samice z gorącego Nowego Meksyku cień, te z chłodnego stanu Waszyngton – cieplejsze miejsca lęgowe. Tymczasem w Iowa wszystkie zachowywały się tak samo. Wybierały podobnie zacienione miejsca na gniazda, a ich potomstwo wykluwało się z praktycznie identycznymi proporcjami płci.

„Wygląda na to, że szybko dostosowują swoje zachowania lęgowe do warunków, w jakich się znajdują" – mówi Refsnider. Podkreśla jednak, że „gdy żółwie nie mają odpowiedniego siedliska, w którym mogłyby się wykazać tą wrodzoną elastycznością, są w kłopotach". Innymi słowy, nie wystarczy, że żółwie matki będą spostrzegawcze i elastyczne; muszą jeszcze mieć możliwość wyboru lepszych miejsc do złożenia jaj.

Refsnider prowadzi obecnie badania nad zwyczajami lęgowymi zagrożonych wyginięciem żółwi cętkowanych (*Clemmys guttata*), które żyją na bagnach i zakładają gniazda w wilgotnych kopcach lub spróchniałych pniach. Jeśli naukowcy poznają preferencje tych żółwi dotyczące warunków gniazdowania, będą mogli zapewnić im odpowiednie siedliska: na przykład zwiększyć powierzchnię obszarów zacienionych lub dostarczać więcej spróchniałych pni, aby żółwie mogły utrzymać korzystne proporcje płci mimo ocieplenia klimatu. „Nie uważam, że sytuacja jest beznadziejna – mówi Refsnider o przyszłości populacji żółwi. – Ale jest niepokojąca."

SYTUACJA JEST trudniejsza w przypadku gatunków znajdujących się pod presją także z innych powodów. Hatteria to osobliwy gad średniej wielkości o pysku jak Kermita z Muppetów i rzędzie kolców biegnących wzdłuż grzbietu. Wyglądem bardzo przypomina swoich najbliższych żyjących krewnych – jaszczurki. W rzeczywistości jest jednak jedynym ocalałym przedstawicielem odrębnego rzędu kręgowców, który oddzielił się od jaszczurek około 250 mln lat temu, zanim ssaki wyewoluowały z naszych gadzich przodków – terapsydów.

W ostatnim czasie hatteria nie miała lekkiego życia. Drapieżniki sprowadzone przez kolejne fale osadników wyeliminowały ją z większości pierwotnych siedlisk obejmujących niegdyś całą Nową Zelandię. Dziś przetrwała jedynie na około 32 małych wyspach, a zmiana klimatu zagraża tym rozproszonym populacjom. U hatterii, podobnie jak u krokodylowatych, wyższe temperatury w okresie inkubacji determinują rozwój płci męskiej. Jednak – w przeciwieństwie do krokodylowatych – nie zauważono temperatury tak wysokiej, aby dawała fory ponownie samicom. Przewidzenie wpływu zmian klimatu na proporcje płci wśród dorosłych hatterii jest trudne, ponieważ gady te dojrzewają bardzo wolno – wyjaśnia Alison Cree, emerytowana profesor University of Otago, badająca biologię i ekologię hatterii. Ich jaja mogą pozostawać w ziemi przez rok lub dłużej. Dorosłe osobniki zaczynają się rozmnażać dopiero około 13 roku życia.

Ponieważ wszystkie ocalałe populacje hatterii żyją na wyspach, jasne jest, że ich opcje zmiany siedliska lub korekty zachowań są ograniczone. Na maleńkiej, pozbawionej drzew wysepce North Brother Island populacja hatterii staje się coraz bardziej zdominowana przez samce. Naukowcy ostrzegają, że zredukowane do minimum siedliska z jednej strony i zaburzone proporcje płci z drugiej sprawiły, że hatterie z North Brother Island znalazły się w spirali wymierania – szybkiego spadku liczebności – i odwrócenie tego trendu będzie bardzo trudne lub wręcz niemożliwe.

Nie pomaga fakt, że hatterie mają zwyczaj wracania do tych samych miejsc lęgowych – to zachowanie jest w nich głęboko zakorzenione. Mogą jednak wykazywać większą elastyczność, jeśli chodzi o termin składania jaj. Obserwacje z innej wyspy, Stephens Island, wykazały, że hatterie zaczynały wcześniej składać jaja w latach z cieplejszą wiosną. Taka modyfikacja zapewne pomagała w utrzymywaniu wokół jaj nieco niższej temperatury, podobnie jak u żółwi. Autorzy tych badań przewidują, że przynajmniej w średnim okresie gady te mogą podtrzymać stabilne proporcje samic i samców.

Jeśli proporcje płci u hatterii osiągną poziom krytyczny, będzie to – jak podejrzewa Cree – jeden z symptomów znacznie większego kryzysu. Kiedy temperatury podskoczą tak bardzo, że zmienią większość hatterii w samce, zwierzęta te będą równocześnie zmagały się z suszami, powodziami i podnoszącym się poziomem morza zagarniającego skrawki lądów, na których żyją.

W takim przypadku stracimy znacznie więcej niż tylko ciekawy gatunek. Jak wyjaśnia Cree, hatterie odgrywają ważną rolę w swoich ekosystemach. Gdyby wyginęły, zniknęłaby również ich wyjątkowa, licząca ćwierć miliarda lat linia ewolucyjna. „Dla badaczy ewolucji gadów byłaby to ogromna strata" – mówi. Hatterie mają też znaczenie kulturowe dla Maorysów, rdzennych mieszkańców Nowej Zelandii. Często pojawiają się w maoryskich opowieściach, symbolizując wiedzę lub też ostrzegając przed nadchodzącym nieszczęściem.

Na razie jednak podczas kolejnej wiosny hatterie zrobią to, co zawsze. Ciężarne samice zbiorą się w otwartych, nasłonecznionych strefach. Każda oczekująca potomstwa matka we wspólnej kolonii lęgowej w ciągu kilku nocy wykopie silnymi, zakończonymi pazurami kończynami norę dla jaj. Następnie złoży niewielki lęg – zaledwie około 10 jaj, a potem zasypie norę ziemią i okryje roślinami, aby stała się niewidoczna. Przez kolejne dwa tygodnie będzie pilnować gniazda. Potem odejdzie w przekonaniu, że zrobiła wszystko, co do niej należało. ■

Z NASZEGO ARCHIWUM

Kłopoty z żółwiami. Eric Niiler; listopad 2001.

eprasa.pl 807975059e



Wytrzymałość da się ćwiczyć

Zdolność do „biegów w maratonach myślowych” to umiejętność, której dzieci mogą się nauczyć poprzez prostą, ale regularną praktykę

HEATHER SCHOFIELD I SUPREET KAUR

JESTEŚ W POŁOWIE trudnego egzaminu, kiedy zauważasz, że zaczynasz tracić koncentrację. Słowa na stronie się zlewają, a twoje myśli uciekają ku temu, co zjesz tego wieczoru na kolację. Brzmi znajomo? To zmęczenie psychiczne nie jest wadą charakteru – to uniwersalne ludzkie doświadczenie, które ujawnia coś istotnego na temat funkcjonowania ludzkiego umysłu.

Jesteśmy badaczami zachowań, którzy zajmują się tym, jak warunki ekonomiczne kształtują ludzkie procesy poznawcze i zachowanie. W niedawnym badaniu obejmującym ponad 1600 dzieci odkryliśmy, że zdolność do długotrwałego wysiłku umysłowego – czyli „wytrzymałość poznawcza” – działa podobnie, jak wytrzymałość fizyczna. Niemal bez wyjątku im więcej czasu ludzie spędzają nad jakimś zadaniem, tym gorzej sobie z nim radzą. Ale tak jak sportowcy mogą trenować, by biegać na coraz dłuższych dystansach, tak dzieci mogą wzmacniać zdolność do długotrwałego myślenia poprzez prosty, lecz systematyczny trening, dzięki czemu potrafią dłużej utrzymywać wysoki poziom przy wykonywaniu zadań.

W epoce mediów społecznościowych i krótkich treści, projektowanych tak, by minimalizować wysiłek umysłowy i wymagać jak najmniejszego zaangażowania, zdolność do długotrwałego myślenia może być ćwiczona mniej niż kiedykolwiek wcześniej – tym ważniejsze staje się więc zrozumienie, jak się rozwija i jak można ją wzmacniać.

Kilka lat temu, analizując wspólnie z naszymi współpracownikami, Christiną Brown z University of Chicago i Geetą Kingdon z University College London wyniki standaryzowanych testów z całego świata, zauważyliśmy niezwykle powtarzalny schemat: uczniowie radzili sobie gorzej z pytaniami, które pojawiały się w dalszej części egzaminów, niezależnie od trudności poszczególnych pytań.

Ten spadek wyników był znacznie wyraźniejszy wśród uczniów ze środowisk znajdujących się w niekorzystnej sytuacji. Dzieci w biednych krajach wykazywały trzykrotnie większe tempo pogarszania się wyników niż dzieci w państwach zamożnych. Może to wynikać z tego, że dzieci znajdujące się w trudniejszej sytuacji mają mniej okazji do ćwiczenia

Kohei Hara/Getty Images

eprasa.pl 807975059e

koncentracji. Umiejętności poznawcze na ogół poprawiają się dzięki celowemu, skoncentrowanemu i stopniowo coraz bardziej wymagającemu treningowi. Kiedy przyjrzeliśmy się także aktywnościom, na które dzieci poświęcały czas w szkole, odkryliśmy, że uczniowie z zamożniejszych środowisk częściej angażowali się w samodzielne, wymagające koncentracji ćwiczenia, takie jak samodzielne rozwiązywanie zadań, ciche czytanie czy skupianie się na indywidualnych zadaniach. Z kolei uczniowie w szkołach znajdujących się w trudniejszej sytuacji częściej spędzali znaczną część dnia na biernych aktywnościach, takich jak słuchanie wykładów, zapamiętywanie materiału czy przepisywanie z tablicy.

Wzorce te sugerowały, że samo doświadczenie szkolne – a zwłaszcza to, jakiego długotrwałego wysiłku umysłowego wymaga dzień spędzony w szkole – może kształtować wytrzymałość poznawczą uczniów.

Aby sprawdzić, czy można poprawić wytrzymałość poznawczą, zaprojektowaliśmy eksperyment z udziałem 1636 uczniów szkół podstawowych w Indiach. Uczniowie zostali losowo przydzieleni do jednej z trzech grup podczas godzin przeznaczonych na samodzielną naukę. Uczniowie z grupy kontrolnej pozostali przy swoim zwykłym trybie pracy – przepisywali z tablicy kilka zadań matematycznych, a następnie przez większą część lekcji robili to, na co mieli ochotę, co oznaczało minimalny długotrwały wysiłek umysłowy. Natomiast uczniowie z dwóch pozostałych grup „poddanych działaniu" przez 20 minut podczas tych godzin samodzielnej nauki wykonywali nieprzerwanie ćwiczenia wymagające wysiłku poznawczego. Członkowie jednej z grup rozwiązywali na tabletach zadania matematyczne w prostej aplikacji, która dostosowywała ich poziom trudności do możliwości ucznia, ale nie zawierała żadnych elementów rywalizacji mających utrzymać uwagę. Zadanie to zapewniało uczniom trening w konkretnej dziedzinie. Możliwe było jednak również, że samo ćwiczenie koncentracji, niezależnie od rodzaju wykonywanego zadania, zwiększy wytrzymałość umysłową.

Aby to sprawdzić, zalecono uczniom z ostatniej grupy rozwiązywanie wymagających poznawczo zadań, takich jak labirynty i łamigłówki polegające na układaniu figur, zwane tangramami, które nie zawierały żadnych treści związanych z nauką szkolną. Te oparte na aplikacji gry również dostosowywały poziom trudności do wyników uczniów, dzięki czemu przez cały czas stanowiły dla nich wyzwanie.

Wyniki były uderzające. W obu grupach poddanych działaniu odnotowano znaczącą poprawę zdolności utrzymywania poziomu wyników podczas całych testów, niezależnie od rodzaju treningu, jaki uczniowie odbywali.

Kiedy uczniowie przystępowali do testów sprawdzających rozumienie ze słuchu, zdolność logicznego myślenia lub umiejętności matematyczne, ich wyniki pogarszały się o 22% wolniej, jeśli wcześniej uczestniczyli w ćwiczeniach poznawczych, niż w przypadku uczniów z grupy kontrolnej. Nie miało znaczenia, czy uczniowie ćwiczyli, korzystając z treści edukacyjnych czy też z gier niezwiązanych z nauką – korzyści były niemal identyczne w obu grupach. Wynik ten świadczy, że ważniejszy od tego, na czym uczniowie się koncentrowali, był sam akt koncentracji.

Uczniowie, którzy ćwiczyli koncentrację, poprawili również wyniki w standaryzowanych testach długotrwałej uwagi, w tym w testach sprawdzających czas reakcji lub zdolność dostrzegania symboli ukrytych w siatce. Wykazywali także lepszą koncentrację w klasie, jak wynikało z ocen ich nauczycieli – na przykład mniej się wiercili i częściej doprowadzali do końca zadania wymagające wykonania kilku kolejnych instrukcji. Ćwiczenia te przełożyły się również na lepsze oceny z wielu przedmiotów – uczniowie, którzy otrzymali którąkolwiek z dwóch form treningu poznawczego, uzyskiwali oceny z hindi, angielskiego i matematyki średnio o około 0,09 odchylenia standardowego wyższe niż uczniowie, którzy takiego treningu nie odbywali.

Dla porównania, efekt ten był mniej więcej od połowy do trzech czwartych tak duży, jak efekt przydzielenia ucznia do klasy, w której na jednego nauczyciela przypadało o siedmiu uczniów mniej. Były to znaczące postępy, zważywszy, że interwencja wymagała zaledwie od 20 do 50 min tygodniowo przez sześć miesięcy. Implikacje tych wyników wykraczają poza edukację. Znaleźliśmy również dowody na to, że grupy znajdujące się w niekorzystnej sytuacji, których członkowie prawdopodobnie mieli mniej okazji do ćwiczenia długotrwałej koncentracji, wykazują szybszy spadek wydajności w miarę upływu czasu także w innych sytuacjach. Na przykład stwierdziliśmy, że pracownicy wprowadzający dane popełniali coraz więcej błędów w miarę trwania ich zmian, a u pracowników z niższym poziomem wykształcenia spadek wydajności był znacznie bardziej gwałtowny. Wzorce te znajdują odzwierciedlenie nawet w zachowaniach wyborczych: badania wykazały, że kiedy dana propozycja pojawia się w dalszej części karty do głosowania w Kalifornii, wyborcy częściej wybierają opcję domyślną. Wykazaliśmy, że spadki te są szczególnie wyraźne w dzielnicach o niższych dochodach.

Wyniki te świadczą, że różnice w wytrzymałości poznawczej, które mają swój początek w nierównościach systemu edukacji, mogą przyczyniać się do większych nierówności w późniejszym życiu. Jednocześnie jednak pokazanie, że wytrzymałość umysłową można poprawić, sugeruje rodzaj programów, które mogą pomóc wyrównać szanse uczniów znajdujących się w mniej uprzywilejowanej sytuacji.

Nadal potrzebujemy badań, aby ustalić, które metody treningu są najskuteczniejsze. Na razie wydaje się, że tak różnorodne aktywności, jak rozwiązywanie wymagających łamigłówek, nauka gry na instrumencie muzycznym czy nawet granie w niektóre gry wideo mogą pomóc w budowaniu wytrzymałości poznawczej, jeśli wymagają długotrwałego, celowego i aktywnego wysiłku umysłowego. Taki trening może przynieść korzyści każdemu, kto ma mniej okazji do długotrwałego skupienia – szczególnie w czasach, gdy coraz bardziej angażuje się nas w niekończące się przewijanie „rolek" w mediach społecznościowych.

Przesłanie jest optymistyczne: twoja zdolność do długotrwałego wysiłku poznawczego nie jest czymś stałym. Podobnie jak sprawność fizyczną, można ją budować poprzez ćwiczenia. ■

Heather Schofield jest ekonomistką na Cornell University, która zajmuje się ekonomią rozwoju, zdrowia oraz ekonomią behawioralną. Jest współzałożycielką Laboratorium Rozwoju Behawioralnego (Behavioral Development Lab) w Ćennaj w Indiach, gdzie prowadzi większość swoich badań.

Supreet Kaur jest profesorem nadzwyczajnym ekonomii na University of California w Berkeley. Jest współzałożycielką Inicjatywy na rzecz Psychologii i Ekonomii Ubóstwa (Psychology and Economics of Poverty Initiative) – interdyscyplinarnego laboratorium działającego w ramach tamtejszego Centrum Efektywnych Działań Globalnych (Center for Effective Global Action), które opracowuje nowe podejścia do polityki i programów walki z ubóstwem.

eprasa.pl 807975059e



Teorią prawdopodobieństwa można przewidzieć koniec świata.

Czy można przewidzieć zagładę ludzkości?

Niepokojąco prosta matematyka dowodzi, że nasze dni są policzone – i nikt nie potrafi doszukać się w tym błędu

JACK MURTAGH

HISTORIA NIGDY NIE BYŁA WOLNA od proroctw apokaliptycznych wydarzeń, na przykład plag lub uderzeń planetoid. Większość scenariuszy zagłady opiera się na analizie zagrożeń fizycznych lub symptomów upadku cywilizacji. Niektórzy badacze przedstwaiją jednak czysto matematyczną przyczynę tego, że nasz czas się kończy. Ich zaskakująco prosty tzw. argument zagłady opiera się wyłącznie na teorii prawdopodobieństwa i jednej informacji: całkowitej liczbie ludzi, którzy żyli do tej pory.

Aby zrozumieć ten argument, wyobraźmy sobie osobę, która ma zawiązane oczy i stoi przed dwoma wielkimi wirującymi bębnami. Każdy bęben zawiera ponumerowane losy (1, 2, 3, … itd.), ale w jednym jest sto losów, a w drugim miliard. Ten ktoś wyciąga z jednego bębna los z numerem 14. Gdyby trzeba było zgadywać, z którego bębna wzięto ten los, należałoby wskazać na setkę, bowiem szanse wyciagnięcia takiego numeru z miliarda są skrajnie małe. Przy miliardzie należałoby się spodziewać liczby w rodzaju 437 893 112, a nie 14.

Teraz zmieniamy losy na ludzi. Współcześnie każdy jest mniej więcej 117-miliardowym człowiekiem, jaki się kiedykolwiek urodził. Czy jest bardziej prawdopodobne, że: (1) każdy z nas stanowi skrajną anomalię statystyczną, żyjąc u zarania procesu zmierzającego ku wielobilionowemu galaktycznemu ludzkiemu imperium; (2) każdy jest człowiekiem, żyjącym mniej więcej w połowie dziejów ludzkości? Pierwsza możliwość to jak wyciągnięcie 14 z bębna zawierającego miliard losów. Druga zwiastuje niebezpiecznie bliską zagładę. To, jak bliską, zależy od oszacowania pewnych zmiennych.

Tę argumentację można też przedstawić nieco inaczej. Wyobraźmy sobie, że tworzymy szereg chronologiczny z wszystkich ludzi, którzy kiedykolwiek żyli i będą żyć – od pierwszego *Homo sapiens* (tu granica jest niejasna, ale akceptujemy wartości przybliżone) do ostatniego człowieka. Jedna czwarta wszystkich ludzi stanowi zarówno początkowe 25% tego szeregu, jak i końcowe. Oznacza to, że połowa wszystkich ludzi urodzi się gdzieś w środkowych 50%. Nie możemy zakładać, że zajmujemy statystycznie bliskie cudu uprzywilejowane miejsce na początku dziejów ludzkości, skoro nie możemy tego dowieść. Powinniśmy uznać, że jesteśmy po prostu przypadkową osobą wśród wszystkich ludzkich istnień – przeszłych, obecnych i przyszłych. Jeśli nasze miejsce w „rankingu urodzeń" jest wskazaniem losowym, to mamy 50% szans, że mieścimy się w środkowych 50%.

Jack Murtagh jest niezależnym autorem tekstów matematycznych i twórcą łamigłówek. Pisze felietony o matematycznych ciekawostkach w „Scientific American" i tworzy łamigłówki do „Morning Brew". Uzyskał doktorat z informatyki teoretycznej na Harvard University. Aktywny w serwisie X (@JackPMurtagh).

eprasa.pl 807975059e

Ponieważ przed nami żyło około 117 mld ludzi, to prawdopodobieństwo, że ta liczba przodków reprezentuje od 25 do 75% wszystkich ludzi, którzy kiedykolwiek żyli i będą żyć, wynosi 50%. Stąd przewidywana całkowita liczba ludzi w dziejach ludzkości zawiera się między 156 a 468 mld. Możemy przełożyć te liczby na czas pozostały na istnienie ludzkości, przyjmując obecny wskaźnik urodzeń – 132 mln rocznie. Przy takim wskaźniku jest 50-procentowe prawdopodobieństwo, że ostatni człowiek urodzi się między najbliższymi 295 a 2659 latami, a 80-procentowe, że nastąpi to między najbliższymi 98 a 7977 latami. Może się wydawać, że te zakresy wskazują na długie trwanie naszego gatunku, ale to mały ułamek naszej dotychczasowej obecności na Ziemi i wizja przyszłości nie pasująca do lansowanej przez serial *Star Trek*. Warto zauważyć, że przyjęliśmy stały wskaźnik urodzeń. Gdyby przyjąć wzrost wykładniczy, zagłada ludzkości nastąpiłaby wcześniej.

Ten argument zagłady może wydać się naciągany, jednak zasada, na której jest oparty, sprawdzała się jako prognoza w wielu sytuacjach. W 1969 roku astrofizyk J. Richard Gott III odwiedził istniejący wówczas od ośmiu lat Mur Berliński i zastanawiał się, ile czasu jeszcze przetrwa. Aby to przewidzieć, Gott założył tylko, że moment jego wizyty nie był szczególny. Zatem prawdopodobieństwo, że wizyta Gotta nastąpiła w połowie okresu istnienia muru wynosiło 50%. Z tego wniosek, że osiem lat stanowiło od 25% do 75% całego czasu jego istnienia. To stanowiło podstawę prognozy o 50-procentowej szansie zburzenia muru w ciągu od 2,67 do 24 lat. Mur runął po 20 latach.

Gott przeniósł następnie swoją metodę na Broadway. W 1993 roku przewidział ramy czasowe wystawiania 44 nowojorskich spektakli teatralnych. Według jego książki *Time Travel in Einstein's Universe: The Physical Possibilities of Travel through Time* do roku jej wydania (2001) prognozy sprawdziły się dla 37 spektakli. Gott jest jednym z głównych zwolenników argumentu zagłady, który rozwinął, opierając się na pracach astrofizyka Brandona Cartera.

Astrofizycy skłaniają się ku argumentowi zagłady, ponieważ wywodzi się ona ze związanej z ich dziedziną tzw. zasady kopernikańskiej. Nazwana na cześć renesansowego astronoma zasada wiąże się z odrzuceniem przez niego teorii geocentrycznej – promuje umiar i ostrzega przed kosmicznym narcyzmem. Zakłada, że przy preferowaniu równości i obiektywizmu powinniśmy postrzegać siebie jako typowych, a nie wyjątkowych. Astrofizycy uważają, że podobnie jak nasza planeta jest pospolitą skałą, krążącą wokół przeciętnej gwiazdy w niepozornej galaktyce, tak nie mamy podstaw, aby uważać, że nasze obecne pokolenie zajmuje spektakularne, wyjątkowe miejsce w historii. Prawdopodobnie jesteśmy przeciętnymi obserwatorami gdzieś w środku kosmosu.

Nie brak krytyków takiej argumentacji. Wielu uważa, że to jakaś sztuczka matematyczna, ale nie ma zgody co do tego, gdzie tkwi sedno sprawy. Oto kilka ripost, m.in. w postaci pytań wyrażających wątpliwości.

Problem klasy odniesienia: Dlaczego mamy rozumować tak, jakbyśmy byli losowo wybranymi ludźmi? Dlaczego nie uwzględnić neandertalczyków? Skoro Wszechświat roi się od inteligentnych kosmitów, dlaczego nie rozumować tak, jakbyśmy byli losowo wybranymi inteligentnymi istotami? Jeśli w przyszłości staniemy się cyborgami i ostatecznie przestaniemy przypominać ludzi, czy taki stan byłby uznany za zagładę? Poszerzenie tzw. klasy odniesienia przesuwa nasz termin ważności, a argument zagłady nie powinien tak bardzo zależeć od arbitralnych granic.

Zarzut jaskiniowca: Gdyby filozoficznie usposobiony praczłowiek zastosował zasadę kopernikańską, z pewnością nie doszacowałby naszej długowieczności o tysiąclecia. Skoro więc matematyka zawodzi z perspektywy czasu, w którym z niej korzystamy, dlaczego mielibyśmy powierzać jej naszą przyszłość?

Założenie o samowskazaniu: Załóżmy, że możemy urodzić się w jednym z dwóch światów – populacja pierwszego jest tylko kilkusetmilionowa, a drugiego kilkusetbilionowa. Nie wiedząc nic więcej, powinniśmy oczekiwać pojawienia się w tym drugim świecie – po prostu dlatego, że jest w nim więcej „miejsc dla świadomości". Nasze istnienie jest bardziej prawdopodobne w świecie wielu istot niż w takim o małej populacji. Ta idea neutralizuje pesymizm argumentu zagłady.

Nierozstrzygalność o końcu świata na podstawie pozycji na liście urodzin (wszystkich Ziemian w dziejach ludzkości): Trudno wykluczyć planetoidę lub wojnę nuklearną jako powód zagłady, a tego nie uwzględniają rozważania matematyczne. To, kiedy się rodzimy, nie ma związku przyczynowo-skutkowego z rzeczywistymi zagrożeniami i dlatego nie powinno stanowić dowodu dotyczącego apokalipsy.

Na każde z tych zastrzeżeń zwolennicy argumentu zagłady mają odpowiedź. Sam argument także przybiera różną formę. Dyskusja trwa – staje się niezwykle szczegółowa i specjalistyczna. Tutaj właściwie tylko ją zasygnalizowaliśmy. Nierzadko debata na temat teorii zagłady dotyczy w mniejszym stopniu zagrożeń egzystencjalnych, a bardziej tego, jak kontekstualizujemy samych siebie, czyli na przykład wniosków wynikających z samego faktu naszego istnienia albo granic naszego wnioskowania probabilistycznego. Typowe stają się konfrontacje związane z fundamentalnymi założeniami. Celem debaty jest poszerzenie naszej wiedzy – nierozwiązanie w pełni spornych kwestii to jeszcze nie koniec świata. ■

Przedziały prawdopodobieństwa przy założeniu losowego wyboru pozycji w sekwencji urodzeń



Grafika Amanda Montañez

eprasa.pl 807975059e



Różne cyfry i plusy

czyli dodawania bez powtarzania

MAREK PENSZKO

NIECH Ln będzie liczbą całkowitą dodatnią złożoną z n różnych cyfr. Ciąg, w którym każdy wyraz oznacza, ile jest liczb Ln dla kolejnego $1 \le n \le 10$ składa się oczywiście z 10 wyrazów. Liczb $L1$ jest 9, a liczba liczb dla każdego większego n stanowi wynik mnożenia 9 przez iloczyn kolejnych (malejących) liczb od 9 do $11–n$. Na przykład, liczb $L5$ jest $9×9×8×7×6=27\,216$. Wzór stąd, że każde kolejne miejsce w liczbie może zajmować tylko cyfra, która wcześniej w niej nie wystąpiła, więc we wzorze pojawia się cyfra o jeden mniejsza od poprzedniej; natomiast początkowe 9 liczb $L1$ wynika z wykluczenia zera. Ostatecznie ciąg liczby liczb Ln ma postać: 9, 81, 648, 4536, 27 216, 136 080, 544 320, 1 632 960, 3 265 920, 3 265 920. Sumą wyrazów tego ciągu, równą liczbie liczb Ln, jest 8 877 690, czyli niespełna 1% wszystkich liczb naturalnych w zakresie do 10-cyfrowych.

Ten prawie 9-milionowy procent stanowi „pożywkę” dla działu matematyki rekreacyjnej bliskiego poważnej teorii liczb. Można na przykład szukać w tym procencie liczb pierwszych (a właściwie w połowie procenta, bo wśród liczb złożonych z 10 różnych cyfr nie ma liczb pierwszych). Jest ich 145 227; największa to 987 625 403. Tematy, problemy i zadania dotyczące liczb różnocyfrowych wiążą się jednak głównie z działaniami arytmetycznymi, na przykład z dodawaniem.

* * *

Dn oznacza, podobnie do Ln, dodawanie zawierające n cyfr, z których każda jest inna. Ile jest takich dodawań? To problem bliski addytywnej teorii liczb, bo przy obliczeniach można korzystać z narzędzi tej teorii. Jednak właściwie jest to typowy problem kombinatoryczny.

Warto uściślić, że chodzi o pełny zapis dodawania Dn, a więc obejmujący wszystkie cyfry – w składnikach i w sumie, czyli $3 \le n \le 10$, bo w dodawaniu są co najmniej 3 liczby jednocyfrowe – dwa składniki (s) i suma (S). Zatem $2 \le s \le 8$ (dla $s>8$ byłoby $n>10$). Pomijamy liczbę zero (ale nie cyfrę) i zera wiodące. Pomijamy też przemienność dodawania, więc kolejność składników nie ma znaczenia. W całym dodawaniu wszystkie liczby powinny być ustawione „według wzrostu”.

Marek Penszko, z wykształcenia inż. poligrafii, jest znawcą i popularyzatorem gier i rozrywek umysłowych, głównie matematyki rekreacyjnej. Współpracuje z wieloma czasopismami, m.in. pisze blog dla „Polityki”.

Podstawowym „narzędziem” do liczenia Dn są partycje, czyli przedstawione w postaci sumy wszystkie możliwe podziały liczby całkowitej na mniejsze liczby – w tym przypadku na co najmniej trzy. Podziały dotyczą liczby różnych cyfr n tworzących dodawanie. Gdy $n=3$, mamy tylko jedną partycję na 3 składniki jednocyfrowe: $3=1+1+1$. Prawa strona tej równości jest właściwą partycją, która tworzy schemat dodawania – trzy liczby jednocyfrowe to dwa składniki i ich suma: $S1=L1+L1$. Dodawań o takim schemacie jest 16, czyli $L(D3)=\mathbf{16}$ – od $1+2=3$ do $4+5=9$. Wszystkie podane są w tabeli 1, tworzącej jakby tabliczkę dodawania z sumami znajdującymi się na przecięciach wierszy i kolumn oznaczonych wartościami dwóch różnych składników.

składniki	2	3	4	5	6	7	8
1	3	4	5	6	7	8	9
2		5	6	7	8	9	
3			7	8	9		
4				9			

Tabela 1

Gdy $n=4$, możliwe są dwie partycje: $2+1+1$ oraz $1+1+1+1$. Pierwszej odpowiada dodawanie dwóch liczb $L1$, dających sumę $L2$; takich różnocyfrowych dodawań $L1+L1=S2 \to D4_1$ jest **15** – od $2+8=10$ do $8+9=17$. W przypadku drugiej partycji suma i trzy składniki są jednocyfrowe, a różnych dodawań ($L1+L1+L1=S1 \to D4_2$) jest **7** – od $1+2+3=6$ do $2+3+4=9$. Zatem łącznie $L(D4)=\mathbf{22}$.

Przy $n=5$ pojawia się nowa sytuacja. Partycje są cztery: $3+1+1$, $2+2+1$, $2+1+1+1$ oraz $1+1+1+1+1$, ale pierwsza i ostatnia nie tworzą schematu dodawania, bo suma dwóch liczb 1-cyfrowych nie może być 3-cyfrowa, a czterech 1-cyfrowych – 1-cyfrowa. Możliwe są więc tylko dwa schematy z 2-cyfrową sumą:

- liczb 1- i 2-cyfrowej, czyli $L1+L2=S2 \to D5_1$ (dodawania są **144** – od $3+17=20$ do $7+86=93$);
- trzech liczb 1-cyfrowych – $L1+L1+L1=S2 \to D5_2$ (**33** dodawania – od $2+3+5=10$ do $7+8+9=24$).

Łącznie $L(D5)=\mathbf{177}$. Warto zauważyć, że choć pomijamy przemienność dodawania, to nie pomijamy przemienności cyfr (możliwość zamiany miejscami cyfr stojących w składnikach w tych samych rzędach wielkości bez zmiany sumy), a to zwiększa liczbę działań. „Bliźniacze” są na przykład dodawania $3+17=20$ i $7+13=20$ albo $7+86=93$ i $6+87=93$. Gdyby pominąć także przemienność cyfr, to dla $n=5$ dodawań byłoby dokładnie 100.

* * *

Metoda określania liczby działań Dn dla kolejnych n sprowadza się więc do trzech etapów:

1) podziału liczby n na wszystkie możliwe partycje;
2) wyboru partycji, których składniki mogą tworzyć schemat dodawania (wartości składników partycji powinny odpowiadać liczbom cyfr w składnikach i sumie w dodawaniu);
3) liczenia różnych dodawań dla poszczególnych schematów.

Ponieważ ostatni etap sprowadza się do korzystania z komputera, więc wygodniej jest operować

shutterstock.com

Ilustracje Marek Penszko

eprasa.pl 807975059e

n	Schemat dodawania (*Dn*)	Kryptarytm	S_{min}	S_{max}	*L*(*Dn*)	*S*[*L*(*Dn*)]
3	1+1+1	A+B=C	3	9	16	16
4	2+1+1 1+1+1+1	A+B=CD A+B+C=D	10 6	17 9	15 7	22
5	2+2+1 2+1+1+1	A+BC=DE A+B+C=DE	20 10	93 24	144 33	177
6	3+2+1 2+2+2 2+2+1+1 2+1+1+1+1	A+BC=DEF AB+CD=EF A+B+CD=EF A+B+C+D=EF	102 39 23 12	105 98 96 30	12 238 408 33	691
7	3+3+1 3+2+2 3+2+1+1 2+2+2+1 2+2+1+1+1 2+1+1+1+1+1	A+BCD=EFG AB+CD=EFG A+B+CD=EFG A+BC+DE=FG A+B+C+DE=FG A+B+C+D+E=FG	203 102 102 39 23 15	810 176 108 98 98 32	40 142 39 952 517 21	1711
8	3+3+2 3+3+1+1 3+2+2+1 3+2+1+1+1 2+2+2+2 2+2+2+1+1 2+2+1+1+1+1 2+1+1+1+1+1+1	AB+CDE=FGH A+B+CDE=FGH A+BC+DE=FGH A+B+C+DE=FGH AB+CD+EF=GH A+B+CD+EF=GH A+B+C+D+EF=GH A+B+C+D+E+F=GH	203 204 102 102 69 46 28 23	935 804 176 108 98 98 97 35	716 135 454 52 198 135 289 7	1986
9	4+3+2 3+3+3 3+3+2+1 3+3+1+1+1 3+2+2+2 3+2+2+1+1 3+2+1+1+1+1 2+2+2+2+1 2+2+2+1+1+1 2+2+1+1+1+1+1 2+1+1+1+1+1+1+1	AB+CDE=FGHI ABC+DEF=GHI A+BC+DEF=GHI A+B+C+DEF=GHI AB+CD+EF=GHI A+B+CD+EF=GHI A+B+C+D+EF=GHI A+BC+DE+FG=HI A+B+C+DE+FG=HI A+B+C+D+E+FG=HI A+B+C+D+E+F+G=HI	1023 356 204 204 108 104 104 78 54 36 36	1056 981 940 805 250 170 170 98 98 97 40	40 544 1480 108 426 360 25 108 348 64 2	3505
10	4+4+2 4+3+3 4+3+2+1 3+3+3+1 3+3+2+2 3+3+2+1+1 3+3+1+1+1+1 3+2+2+2+1 3+2+2+1+1+1 2+2+2+2+1+1 2+2+2+1+1+1+1 2+2+1+1+1+1+1+1	AB+CDEF=GHIJ ABC+DEF=GHIJ A+BC+DEF=GHIJ A+BCD+EFG=HIJ AB+CD+EFG=HIJ A+B+CD+EFG=HIJ A+B+C+D+EFG=HIJ A+BC+DE+FG=HIJ A+B+C+DE+FG=HIJ A+B+CD+EF+GH=IJ A+B+C+D+EF+GH=IJ A+B+C+D+E+F+GH=IJ	2034 1026 1026 369 234 207 207 153 108 90 63 45	6021 1602 1062 981 963 846 810 243 180 90 90 90	36 48 60 780 1092 588 33 306 108 60 90 11	3212

Tabela 2

kryptarytmetycznymi schematami dodawania, czyli takimi, w których cyfry zastąpione są literami – oczywiście różnymi, podobnie jak cyfry w dodawaniach. Zatem np. schematowi dodawania *L*1+*L*2=*S*2 odpowiada kryptarytm A+BC=DE (procesor komputera znajduje wszystkie 144 rozwiązania w niespełna milisekundę).

Są 103 co najmniej 3-składnikowe partycje liczb $3 \le n \le 10$. 46 z nich można „przełożyć” na kryptarytmetyczne sumy. Wszystkie znajdują się w tabeli 2 uzupełnione ekstremalnymi sumami w rozwiązaniach kryptarytmów – najmniejszą (S_{min}) i największą (S_{max}) oraz liczbami rozwiązań: danego

eprasa.pl 807975059e

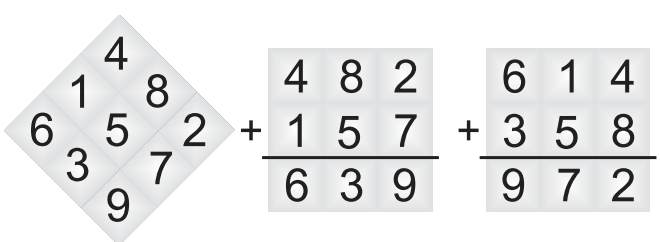
kryptarytmu – $L(Dn)$ i dla danego n – $S[L(Dn)]$. Liczby w ostatniej kolumnie tworzą ośmiowyrazowy ciąg liczb dodawań złożonych z n różnych cyfr dla $3 \le n \le 10$: 16, 22, 177, 691, 1711, 1986, 3505, 3212. Ciąg wydaje się chaotyczny, choć to chaos deterministyczny, bo wynikający z określonych reguł. Dodając liczby z ostatniej kolumny, otrzymujemy ogólną liczbę wszystkich dodawań, w których żadna cyfra się nie powtarza – jest ich 11 320 (od 1+2=3 do 34+5987=6021, jeśli zakres wyznaczają najmniejsza i największa suma; w przypadku dodawania z sumą 6021 niektóre cyfry w składnikach można przestawiać, co daje w sumie 8 różnych działań).

* * *

Temat liczb, w których każda cyfra jest inna, pojawia się głównie w matematyce rekreacyjnej. Teoretyków liczb interesuje w niewielkim stopniu, choć równocześnie w szerszym kontekście, obejmującym różne systemy liczbowe. W systemie dwójkowym takie liczby są dwie – 1 i 10, w trójkowym 10 – 1, 2, 10, 12, 20, 21, 102, 120, 201, 210. W kolejnych systemach, poczynając od czwórkowego, ciąg liczby liczb różnocyfrowych bardzo szybko rośnie: 48_4, 260_5, 1630_6, 11742_7, $95\ 900_8$, $876\ 808_9$, $8\ 877\ 790_{10}$. W teorii liczb wyrazy tego ciągu określone są osobliwym wzorem – $L(b)=e(b\text{-}1)(b\text{-}1)!$, gdzie b jest podstawą systemu liczbowego, wykrzyknik oznacza silnię, natomiast niezwykła wydaje się obecność pozornie niezwiązanej z tym tematem podstawy logarytmu naturalnego, czyli liczby e=2,7183... . W związku z tym w wyniku $L(b)$ występuje ułamek dziesiętny, ale wyrazem ciągu jest tylko część całkowita $L(b)$. Na przykład dla b=6 $L(6)=2{,}7183\times5\times(2\times3\times4\times5)=1630{,}98$. Wyjaśnienie obecności liczby e we wzorze jest zbyt zawiłe i obszerne, aby je tu przedstawiać.

* **

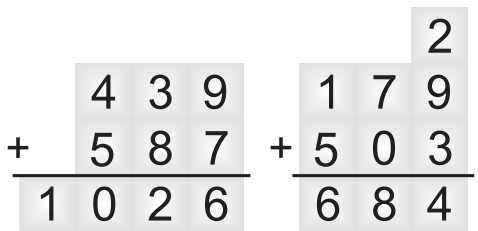
Temat dodawań, w których żadna cyfra się nie powtarza, obejmuje w matematyce rekreacyjnej przede wszystkim dodawania pandigitalne, czyli złożone z 9 lub 10 różnych cyfr (od 1 do 9 albo od 0 do 9), które zwykle przedstawiane są jako okazy z liczbowego panoptikum. Przykład 9-cyfrowej osobliwości znajduje się na rys. 1. Karowy kwadrat z liczbami od 1 do 9 tworzy po obrocie o 45 stopni w lewo jedno dodawanie, a po obrocie w prawo – drugie. Jest jeszcze tylko jeden taki dwuwariantowy układ liczb od 1 do 9 w „kopniętym" kwadracie – w pewnym sensie spokrewniony z zaprezentowanym. Kto znajdzie ten układ, łatwo zauważy pokrewieństwo.



Rys. 1

Innym pandigitalnym przykładem związanym z dodawaniem jest zadanie, które w ogólnej formie polega na utworzeniu z 10 różnych cyfr kilku liczb pierwszych – takich, aby jedna z nich była sumą pozostałych. Zadanie jest podstępne, bo sprowadza się do udowodnienia, że warunki są zbyt rygorystyczne i rozwiązania nie ma.

Prosty dowód wynika z podzielności sumy cyfr od 0 do 9 (45) przez 9. Suma wszystkich liczb tworzących dodawanie też musi być wielokrotnością 9, zaś liczba, która stanowi sumę dodawania, jest połową sumy pozostałych, czyli zachowuje podzielność przez 9, więc nie może być liczbą pierwszą. Na rys. 2 są dwa przykłady dodawania utworzonego z dziesięciu różnych cyfr,



Rys. 2

w których składnikami są liczby pierwsze, a sumy – zgodnie z dowodem – są liczbami podzielnymi przez 9. Ciekawe, że warunek, aby tylko składniki dodawania były liczbami pierwszymi, także jest mocno restrykcyjny, bo z 3212 pandigitalnych dodawań, odpowiadających 12 kryptarytmom (zgodnie z tabelą 2 dla n=10), ten warunek spełnia zaledwie osiem rozwiązań – cztery typu ABC+DEF=GHIJ i cztery A+BCD+EFG=HIJ, którym odpowiadają przykładowe rozwiązania na rys. 2.

W tabeli 2 można znaleźć przynajmniej kilka innych wyników wartych rozważenia. Na przykład dlaczego ośmiowyrazowy ciąg liczb dodawań złożonych z $3 \le n \le 10$ różnych cyfr rośnie do n=9 (3505), a dla końcowego n=10 załamuje się (3212). Inny „problem": dlaczego kryptarytmy A+BC+DEF=GHIJ oraz A+B+CD+EF+GH=IJ mają po 60 rozwiązań, skoro w pierwszym możliwe są tylko cztery różne sumy (1035, 1053, 1026, 1062), a w drugim suma jest zaledwie jedna (90)?

Na uwagę zasługują też zależności, które do tabeli nie trafiły. Warto na przykład zastanowić się, dlaczego tego zaszczytu nie dostąpiły kryptarytmy A+B+C+D+E+FG=HIJ oraz A+B+C+D+E+F+G+H=IJ, skoro arytmetyka pozwala na 3-cyfrową sumę liczby 2-cyfrowej i pięciu liczb 1-cyfrowych, podobnie jak na 2-cyfrową sumę ośmiu liczb 1-cyfrowych.

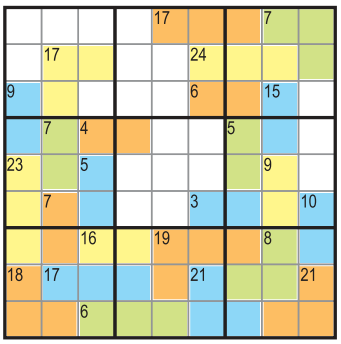
ZADANIA

1. 14 liczb tworzy początek ciągu: 48, 57, 58, 67, 68, 75, 76, 78, 84, 85, 86, 87, ?, 249, ... Jaka zasada rządzi tym ciągiem i jaką „pechową" trzynastą liczbę zastępuje znak zapytania? Zasada jest oczywiście jakoś związana z tematem powyższego artykułu. Być może podpowiedzią będzie informacja, że ciąg jest skończony – składa się z 9156 wyrazów, a ostatnim wyrazem jest 8 654 310.

2. Oto przykład dodawania dwu liczb dziesiętnych złożonego z **siedmiu** różnych cyfr: 0,43+1,57=2. Zadanie polega na utworzeniu analogicznego dodawania dwu liczb dziesiętnych złożonego z **ośmiu** różnych cyfr, którego wynik będzie najmniejszą możliwą liczbą całkowitą.

eprasa.pl 807975059e

3. W diagramie sudoku (*rys. 3*) oznaczono 24 kolorowe działki złożone z 2, 3 lub 4 pól. Mała liczba w rogu jednego pola każdej działki oznacza sumę cyfr (ściślej: jednocyfrowych liczb), które powinny znaleźć się w tej działce po wypełnieniu liczbami całego diagramu zgodnie z zasadami sudoku. Wszystkie cyfry w każdej działce – małe, tworzące sumę i duże, które pojawią się w rozwiązaniu (przynajmniej 3 w przypadku 1-cyfrowej sumy w działce 2-polowej i najwyżej 6 w 4-polowej działce z 2-cyfrowa sumą) – powinny być różne. Jako rozwiązanie wystarczy podać 9 cyfr, które znajdą się w środkowym bloku 3×3 – wierszami od góry.



Rys. 3

Rozwiązania prosimy nadsyłać do 31 października 2026 roku pocztą elektroniczną (redakcja@swiatnauki.pl)*, wpisując w temacie e-maila hasło* ***UG 10/26****. Spośród autorów poprawnych rozwiązań przynajmniej dwóch zadań wyłonimy pięciu zwycięzców i nagrodzimy ich książką Mirandy Aldhouse-Green* Celtowie. Przewodnik po legendach, elfach i mitycznych krainach *ufundowaną przez Wydawnictwo Poznańskie. Warunkiem udziału w konkursie jest zamieszczenie w e-mailu z odpowiedzią oświadczenia:*



Zapoznałam/em się z regulaminem konkursu i akceptuję jego treść oraz wyrażam zgodę na przetwarzanie danych osobowych na potrzeby realizacji konkursu.

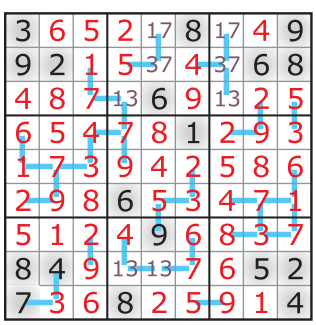
Regulamin konkursu jest dostępny na stronie www.swiatnauki.pl.

ROZWIĄZANIA ZADAŃ Z NUMERU SIERPNIOWEGO

1. 8-cyfrowa liczba pierwsza, zawierająca 7 cyfr parzystych (w tym 4 różne), która zwiększona o dowolną z jej cyfr parzystych zawsze pozostaje liczbą pierwszą – na pewno nie zawiera cyfry 4. W przypadku braku innej cyfry zawsze byłaby jedna parzysta taka, która po dodaniu dawałaby liczbę złożoną (podzielną przez 3).

2. Cztery liczby pierwsze (największa z nich jest największą możliwą, a ich suma jest mniejsza od 300) – złożone z cyfr, których suma także jest liczbą pierwszą – to 2, 43, 59 i 167.

3. Dwa rozwiązania sudoku (dwie możliwości rozmieszczenia cyfr 1, 3, 7 w niektórych polach) na rys. 4.



Rys. 4

Za poprawne rozwiązanie trzech zadań książkę Richarda Dawkinsa *Samolubny gen*, ufundowaną przez wydawnictwo Prószyński i S-ka, otrzymują: Maciej Horodecki z Torunia, Zbigniew Kapusta z Banina, Michał Kocon z Warszawy, Tomasz Kowalczyk z Krakowa i Michał Waszczuk z Wrocławia.

Rozwiązanie zagadki matematycznej ze strony 16

Aby z pozostałych części dało się ułożyć prostokąt, trzeba odrzucić element w kształcie litery T. Aby zrozumieć dlaczego, należy zauważyć, że każdy z klocków do Tetrisa składa się z czterech kwadratów. Wyobraź sobie, że prostokąt, który próbujesz ułożyć, ma wzór czarno-białej szachownicy, na której każdy czarny lub biały kwadrat jest tej samej wielkości, co kwadraty tworzące klocki Tetrisa. Każdy element – bez względu na to, jak zostanie ułożony – zakryje dokładnie dwa białe i dwa czarne kwadraty szachownicy prostokąta, z wyjątkiem elementu w kształcie litery T, który zakryje trzy kwadraty w jednym kolorze i jeden w drugim. Każdy prostokąt złożony z klocków Tetrisa musi zawierać parzystą łączną liczbę kwadratów (cztery kwadraty na jeden klocek). Oznacza to, że prostokąt będzie miał taką samą liczbę czarnych i białych kwadratów. Element w kształcie litery T stworzy dysproporcję, której żaden z pozostałych elementów nie będzie w stanie skorygować.



Odrzucając element w kształcie litery T, możemy stworzyć z pozostałych części prostokąt o wymiarach 3 × 8 lub 4 × 6 w następujący sposób:



eprasa.pl 807975059e

Od statystyki po AI – jubileuszowa edycja w nowej odsłonie

30 edycji, setki wystąpień i tysiące uczestników. Konferencja organizowana przez StatSoft obchodzi w tym roku wyjątkowy jubileusz – XXX edycja wydarzenia odbędzie się 29 października 2026 roku. Nadal online, nadal bezpłatnie, jednak z jedną dużą zmianą. Konferencja znana dotychczas jako „Zastosowania statystyki i data mining w badaniach naukowych" w tym roku zmienia nazwę na „StatSoft Analytics Summit: Od statystyki po AI".



PRZEZ LATA KONFERENCJA StatSoft stała się miejscem spotkań naukowców, badaczy i specjalistów zainteresowanych praktycznym wykorzystaniem metod statystycznych i analitycznych w badaniach naukowych. Jubileuszowa edycja będzie okazją nie tylko do podsumowania dotychczasowej historii wydarzenia, ale przede wszystkim do spojrzenia na to, jak zmienia się warsztat współczesnego naukowca.

Zmiana nazwy konferencji odzwierciedla rozwój metod wykorzystywanych obecnie w analizie danych. Klasyczne metody statystyczne wciąż stanowią podstawę poprawnego wnioskowania i interpretacji wyników, jednak coraz częściej są uzupełniane przez metody uczenia maszynowego oraz narzędzia wykorzystujące sztuczną inteligencję.

„StatSoft Analytics Summit: Od statystyki po AI" ma pokazać, jak łączyć te podejścia w praktyce – od właściwego zaplanowania i przeprowadzenia badania, przez analizę i interpretację danych, aż po wykorzystanie nowoczesnych narzędzi AI w pracy naukowej.

„Chcemy, aby jubileuszowa edycja konferencji pokazała zarówno to, co pozostaje fundamentem dobrej analizy danych, jak i nowe możliwości, które otwierają się przed naukowcami dzięki rozwojowi uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji" – mówi dr Janusz Wątroba, dyrektor ds. dydaktyki i współpracy naukowej w firmie StatSoft.

Program konferencji obejmie wystąpienia badaczy reprezentujących różne dziedziny nauki. Prelegenci zaprezentują konkretne projekty badawcze i pokażą, w jaki sposób odpowiednio dobrane metody analityczne mogą pomóc w odpowiadaniu na złożone pytania badawcze.

Wśród zaproszonych prelegentów znaleźli się m.in.:

- **prof. dr hab. inż. Aleksander Astel** z Uniwersytetu Pomorskiego w Słupsku, który przedstawi możliwości, korzyści i zagrożenia związane z wykorzystaniem sztucznej inteligencji w badaniach empirycznych – od przygotowania danych po wnioskowanie;
- **dr Marlena Białecka**, która zaprezentuje statystyczne spojrzenie na badania logopedyczne;
- **dr inż. Maja Kępniak** z Politechniki Warszawskiej, która pokaże, czy modele AI potrafią „zrozumieć" beton i w jaki sposób uczenie maszynowe może wspierać analizę materiałów;
- **dr Grzegorz Migut** ze StatSoft, który opowie o wykorzystaniu sztucznej inteligencji w badaniach naukowych;
- **dr Damian Mikulski** z Uniwersytetu Medycznego w Łodzi, który przedstawi temat „Małe RNA, duże decyzje: od danych molekularnych do wiarygodnych klasyfikatorów w hematoonkologii";
- **dr Janusz Wątroba** ze StatSoft, który omówi nowe rozwiązanie wspierające studentów w nauce statystyki oraz przedstawi praktyczne zastosowania hierarchicznych modeli mieszanych.

Jubileuszowa edycja poszerza również perspektywę poza świat badań naukowych. Uczestnicy zobaczą, jak metody analizy danych, uczenie maszynowe i sztuczna inteligencja są wykorzystywane w biznesie i przemyśle do rozwiązywania rzeczywistych problemów, na podstawie dwóch ciekawych case studies.

Będzie to okazja do spojrzenia na analitykę danych z różnych perspektyw i zastanowienia się, które rozwiązania stosowane w biznesie mogą znaleźć zastosowanie również w projektach naukowych.

Organizatorzy zapowiadają także niespodzianki oraz konkursy z atrakcyjnymi nagrodami.

Szczegółowy program oraz informacje dotyczące rejestracji można znaleźć na stronie internetowej organizatora: **www.statsoft.pl/rozwiazania/nauka/konferencja-naukowa/** oraz w mediach społecznościowych: **www.linkedin.com/company/statsoft-polska.**

Materiały prasowe

eprasa.pl 807975059e

POSZERZAMY HORYZONTY



Już w sprzedaży w punktach z prasą

Numer 10/2026
KUP TERAZ

Bieżące wydanie możecie kupić także we wszystkich sklepach sieci Lidl.

Prenumerata cyfrowa:
projektpulsar.pl

Prenumerata papierowa:
sklep.polityka.pl/wiz

eprasa.pl 807975059e

50, 100 i 150 lat temu



1976 ERADYKACJA OSPY

„Ospa, najbardziej wyniszczająca i budząca największy lęk plaga w dziejach ludzkości, toczy swoją ostatnią batalię w dwóch odległych rejonach Etiopii – jednym na pustyni, drugim w górach. Pod koniec sierpnia w ciągu poprzednich ośmiu tygodni przypadki zachorowań odnotowano już tylko w pięciu wioskach. Co ważniejsze, ostatni znany przypadek zachorowania pojawił się 9 sierpnia. Ponieważ jedynym znanym rezerwuarem wirusa ospy jest człowiek, choroba powinna zostać wyeliminowana na zawsze, gdy tylko ostatnia zakażona osoba wyzdrowieje”.

Autorem tego artykułu był Donald A. Henderson, główny lekarz Światowej Organizacji Zdrowia odpowiedzialny za program eradykacji ospy. Ospa pozostaje jedyną chorobą zakaźną człowieka, którą udało się całkowicie wyeliminować na całym świecie.

1926 CUD ZWYCZAJNOŚCI

„Nie ma w całej naturze niczego bardziej niezwykłego niż jakakolwiek inna rzecz, jeśli tylko zatrzymamy się na chwilę i zaczniemy się nad tym zastanawiać. Bo nawet najbardziej błahego wydarzenia nie potrafimy jeszcze ostatecznie wyjaśnić. To prawda, że wiele rzeczy zaczęliśmy uważać za zwyczajne, lecz utraciły one dla nas swoje prawdziwe zdumiewające piękno jedynie wskutek oswojenia; przyzwyczajenie, niczym powoli osiadający kurz, stopniowo przesłania wszystko jednolitą, nieciekawą szarością. Dziecko ma nad nami tę przewagę, że dla niego wszystko jest cudowne, ponieważ wszystko jest nowe.

Byli jednak tacy, którzy nie utracili tej perspektywy. Newton jej nie utracił, czego świadectwem jest opowieść o spadającym jabłku. [Alfred, lord] Tennyson, choć nie był człowiekiem nauki, pokazał nam, że naukowiec i poeta są sobie braćmi, gdy powiedział o kwiecie wyrastającym ze szczeliny w murze: »...gdybym mógł pojąć/czym jesteś /wraz z korzeniem i wszystkim/ i wszystkim we wszystkim/wiedziałbym, czym jest Bóg i człowiek.«”

SAMOCHODOWE KRÓLIKI DOŚWIADCZALNE

„Nikt nie pomyślałby o torze wyścigowym jako o praktycznym laboratorium, a jednak właśnie nim on się stał. Przede wszystkim wyścig jest sprawdzianem dla inżynierów – ludzi, których pomysły są poddawane próbie. Pokaże im, czy lata ich badań i pracy przyniosły efekty, czy też pojawiły się już nowsze rozwiązania, które uczyniły ich wysiłki bezużytecznymi. Z tego względu nikt nie obserwuje wyścigów z większym zainteresowaniem niż właśnie inżynierowie. Wszyscy oglądają wyścig, ponieważ któryś z owoców ich pomysłowości prezentuje przed całym motoryzacyjnym światem, co potrafi”.

WYKOPY W LITEJ SKALE

„W ciągu kilku miesięcy nowi lokatorzy biur na 45. piętrze budynku New York Life Insurance Company będą mieli niezrównany widok na panoramę metropolii. Będą ją oglądać dokładnie znad miejsca, w którym niegdyś stała wspaniała figura Diany, górująca nad budynkiem Madison Square Garden. Ta historyczna budowla została bezlitośnie rozebrana, a ogromne ilości ziemi znajdującej się pod jej fundamentami usunięto, aby zrobić miejsce pod podziemną część nowego wieżowca, sięgającą czterech kondygnacji poniżej poziomu ulicy.

Oznaczało to wydobycie niemal 150 000 jardów sześciennych ziemi i skały z wykopu o głębokości 72 stóp. Bezpieczne i szybkie wykonanie tych prac, bez narażenia na szwank życia i mienia, było godnym uznania osiągnięciem inżynieryjnym”.

1876 NAJBARDZIEJ NIEZWYKŁA RYBNA UCZTA

„Hodowcy ryb, którzy na Wystawie Stulecia w Filadelfii prezentowali swoje osiągnięcia w dziedzinie hodowli oraz inne przełomowe rozwiązania związane ze środowiskiem wodnym, urządzili sobie niezwykłą rybną ucztę. Jadłospis obejmował 58 gatunków ryb. Wśród przystawek znalazły się norweska ryba z podrobami, portugalski konger, hiszpański konger z pomidorami, turecka botarga, czyli ikra cefala, japoński łosoś solony lub suszony, raki z Przylądka Dobrej Nadziei, francuski tuńczyk, a najbardziej zdumiewającą pozycją były »suszone jaja ośmiornicy«. Wybitnych naukowców uhonorowano, nadając ich nazwiska rozmaitym sosom, jak choćby bisque z homara w stylu Setha Greena. Jedna potrawa wprawiła w zakłopotanie nawet najbardziej pomysłowych kucharzy – był to kanten (japońskie wodorosty) à la Sekizawa Akekiyo [pionier rolnictwa i rybołówstwa]”.

ZIEMIA INFUZORIOWA

„Jednym z paradoksów natury jest to, że najmniejsze stworzenia w największym stopniu przyczyniają się do budowy Ziemi. Wyższe formy życia można odnaleźć zaledwie w warstwach skalnych; najniższe zaś stanowią główną część ogromnych formacji zajmujących tysiące mil kwadratowych i sięgających tysięcy stóp w głąb. Gigantyczna praca maleńkich, lecz niezliczonych polipów koralowych jest tego najlepszym przykładem. Jednak jeszcze większy wkład mają szczątki jeszcze bardziej mikroskopijnych stworzeń [czyli mikroplanktonu], które roją się we wszystkich wodach i których odrzucone skorupki opadają niczym nieustanny deszcz stałej materii na dno oceanu”.



1976, Społeczny porządek makaków: „Naukowcy zaobserwowali tzw. akt interwencji rozjemczej podprzywódcy w grupie makaków. Epizod ten trwał 1,5 s i rozpoczął się od tego, że Tulip, młoda samica, zagroziła Infinity, dorosłej samicy, przedstawionej tutaj na ilustracji wykonanej na podstawie serii fotografii”.

„Scientific American”, tom 235, nr 4; październik 1976

eprasa.pl 807975059e







ŚWIAT NAUKI

POLSKA EDYCJA

SCIENTIFIC AMERICAN

W NUMERZE LISTOPADOWYM

Jak zaczęło się życie? Czym jest ciemna materia? Jakie są najmniejsze elementy Wszechświata? Co było przed Wielkim Wybuchem? Jak długo może żyć człowiek? Oto niektóre z fundamentalnych pytań nauki. Czy na zawsze pozostaną bez odpowiedzi? O tym w kolejnym numerze,

a ponadto:

Historia amerykańskiego jabłka
Żarłoczna sztuczna inteligencja
Jak przyspieszyć mnożenie
Wojna na drony, lasery i mikrofale
Kiedy mózg jest zmęczony
Sztuczna inteligencja a roboty

Prócz tego:

Miłość w kosmosie
Rytm życia
Czy ptaki lubią latać?
Inteligentne sześciany
Kryształ po bombie
Przeciwantybiotykowa mobilizacja

**INNI OPISUJĄ NAUKĘ.
NASI AUTORZY JĄ TWORZĄ.**

















„Świat Nauki" w wersji cyfrowej: www.projektpulsar.pl

Prenumerata papierowa: www.sklep.polityka.pl/sn **W kioskach numer październikowy dostępny od 30 września**

eprasa.pl 807975059e

StatSoft AI

XXX KONFERENCJA

STATSOFT ANALYTICS SUMMIT: OD STATYSTYKI PO AI



29 PAŹDZIERNIKA 2026 R.

TEMATY WYSTĄPIEŃ:

Sztuczna inteligencja w badaniach empirycznych i analizie danych: od przygotowania zbiorów po wnioskowanie – możliwości, korzyści i zagrożenia

Prof. dr hab. inż. Aleksander ASTEL
Zakład Chemii i Toksykologii Środowiska, Katedra Nauk o Ziemi i Środowisku, Instytut Geografii, Uniwersytet Pomorski w Słupsku

Co dane mówią o mowie? Statystyczne spojrzenie na badania logopedyczne

Dr Marlena BIAŁECKA

Sztuczna inteligencja w pracy naukowej: jak generatywna AI zmienia sposób prowadzenia badań i rolę badacza

Dr Grzegorz MIGUT
StatSoft

Hierarchiczny model mieszany i jego zastosowania

Dr Janusz WĄTROBA
StatSoft

Czy AI rozumie beton? Wykorzystanie modeli uczenia maszynowego do identyfikacji mechanizmów transportu w betonach z kruszywem z recyklingu

Dr inż. Maja KĘPNIAK
Instytut Inżynierii Budowlanej, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska

Jak ułatwić studentom naukę statystyki? Nowe rozwiązanie StatSoft wpierające proces dydaktyczny

Dr Janusz WĄTROBA
StatSoft

Małe RNA, duże decyzje: od danych molekularnych do wiarygodnych klasyfikatorów w hematoonkologii

Dr Damian MIKULSKI
Wydział Lekarski, Uniwersytet Medyczny w Łodzi

Patronat nad tą konferencją objęło:

Polskie Towarzystwo Statystyczne

Patronat medialny:

Wiedza i Życie · Świat Nauki · Forum Statystyki · Wiadomości Statystyczne

eprasa.pl 807975059e