

'There is no author whose books I look forward
to more than Vaclav Smil' Bill Gates

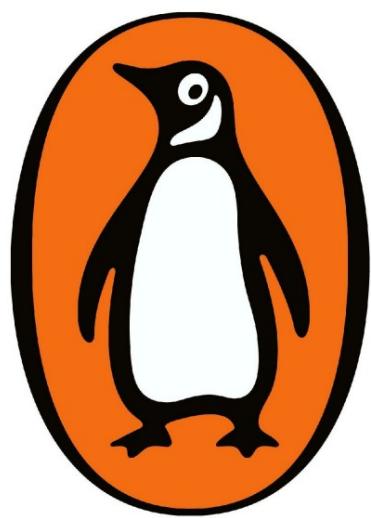


Vaclav Smil

How The World Really Works

A Scientist's Guide to Our
Past, Present and Future

'If you are anxious about the future, and infuriated that we aren't
doing enough about it, please read this book' Paul Collier



Uśmiech Wacława

JAK NAPRAWDĘ DZIAŁA ŚWIAT

Przewodnik naukowy po naszej przeszłości, teraźniejszości i przyszłości



Zawartość

[Wprowadzenie:](#)

[Dlaczego potrzebujemy tej książki?](#)

[1. Zrozumienie energii:
paliwa i energia elektryczna](#)

[2. Zrozumienie produkcji żywności:
spożywanie paliw kopalnych](#)

[3. Zrozumienie naszego materialnego świata:
Cztery filary współczesnej cywilizacji](#)

[4. Zrozumienie globalizacji:
Silniki, mikroczipy i nie tylko](#)

[5. Zrozumienie zagrożeń:
od wirusów przez diety po rozbłyski słoneczne](#)

[6. Zrozumienie środowiska: jedyna
biosfera, jaką mamy](#)

[7. Zrozumieć przyszłość: między
apokaliapsą a osobliwością](#)

[Dodatek: Zrozumienie liczb:
rzędy wielkości](#)

[Referencje i uwagi](#)

[Podziękowanie](#)

[Indeks](#)

O autorze

Vaclav Smil jest Zasłużonym Profesorem Emerytowanym na Uniwersytecie Manitoba. Jest autorem ponad czterdziestu książek na tematy takie jak energia, zmiany środowiskowe i populacyjne, produkcja żywności i żywienie, innowacje techniczne, ocena ryzyka i polityka publiczna. Jego najnowszym dziełem dla Penguin był *Numbers Don't Lie*, który został opublikowany w ponad dwudziestu językach. Żaden inny żyjący naukowiec nie zrecenzował więcej książek (na wiele różnych tematów) w wiodącym czasopiśmie naukowym *Nature*. Członek Królewskiego Towarzystwa Kanady, w 2010 roku został wymieniony przez *Foreign Policy* jako jeden ze 100 najlepszych światowych myślicieli.

Wstęp

Dlaczego potrzebujemy tej książki?

Każda epoka ma swoje pretensje do wyjątkowości, ale chociaż doświadczenia ostatnich trzech pokoleń – to znaczy dziesięcioleci od zakończenia II wojny światowej – mogą nie być tak fundamentalnie transformujące, jak doświadczenia trzech pokoleń poprzedzających początek II wojny światowej. I wojny światowej nie brakowało bezprecedensowych wydarzeń i postępów. Co najbardziej imponujące, coraz więcej ludzi cieszy się obecnie wyższym standardem życia i to przez więcej lat i w lepszym zdrowiu niż kiedykolwiek w historii. Jednak ci beneficjenci to nadal mniejszość (tylko około jednej piątej) światowej populacji, której łączna liczba zbliża się do 8 miliardów ludzi.

Drugim osiągnięciem, które można podziwiać, jest bezprecedensowa ekspansja naszego zrozumienia zarówno świata fizycznego, jak i wszystkich form życia. Nasza wiedza rozciąga się od wielkich uogólnień o złożonych układach w skali uniwersalnej (galaktyki, gwiazdy) i planetarnej (atmosfera, hydrosfera, biosfera) po procesy na poziomie atomów i genów: linie wyryte na powierzchni najpotężniejszego mikroprocesora dwukrotnie większa od średnicy ludzkiego DNA. Przełożyliśmy to zrozumienie na wciąż poszerzający się wachlarz maszyn, urządzeń, procedur, protokołów i interwencji, które podtrzymują współczesną cywilizację, a ogrom naszej zagregowanej wiedzy – i sposobów, w jakie zastosowaliśmy ją w naszej służbie – wykracza daleko poza zrozumienie każdego indywidualnego umysłu.

Prawdziwych renesansowych mężczyzn można było spotkać na Piazza Signoria we Florencji w 1500 roku – ale niedługo potem. W połowie XVIII wieku dwaj francuscy uczeni, Denis Diderot i Jean le Rond d'Alembert, mogli jeszcze zebrać grupę znających się na rzeczy autorów, aby podsumować zrozumienie epoki w dość wyczerpujących wpisach w ich wielotomowej Encyklopedii ou Dictionnaire raisonné des nauki, sztuki et des métiers.

Kilka pokoleń później zakres i specjalizacja naszej wiedzy posunęła się o rzędy wielkości, z podstawowymi odkryciami obejmującymi od

indukcja magnetyczna (Michael Faraday w 1831, podstawa wytwarzania elektryczności) do metabolizmu roślin (Justus von Liebig, 1840, podstawa nawożenia upraw) do teoretyzowania na temat elektromagnetyzmu (James Clerk Maxwell, 1861, podstawa wszelkiej komunikacji bezprzewodowej).

W 1872 roku, sto lat po ukazaniu się ostatniego tomu Encyklopedii, każdy zbiór wiedzy musiał uciekać się do powierzchownego ujmowania szybko rozszerzającego się zakresu tematów, a półtora wieku później nie sposób podsumować nasze rozumienie nawet w ramach wąsko zakreślonych specjalności: terminy takie jak „fizyka” czy „biologia” są dość bezsensownymi etykietami, a ekspertom w dziedzinie fizyki cząstek byłoby bardzo trudno zrozumieć nawet pierwszą stronę nowego artykułu badawczego z dziedziny immunologii wirusowej. Oczywiście ta atomizacja wiedzy nie ułatwiła podejmowania decyzji publicznych. Wysoko wyspecjalizowane gałęzie współczesnej nauki stały się tak tajemnicze, że wiele osób w nich zatrudnionych jest zmuszonych szkolić się do wczesnych lub trzydziestych lat, aby wstąpić do nowego kapłaństwa.

Mogą dzielić długie praktyki, ale zbyt często nie mogą dojść do porozumienia najlepszy sposób działania. Pandemia SARS-CoV-2 jasno pokazała, że nieporozumienia wśród ekspertów mogą dotyczyć nawet tak pozornie prostych decyzji, jak noszenie maski na twarz. Pod koniec marca 2020 r. (trzy miesiące pandemii) Światowa Organizacja Zdrowia nadal odradzała robienie tego, chyba że dana osoba została zarażona, a odwrócenie nastąpiło dopiero na początku czerwca 2020 r. Jak osoby bez specjalnej wiedzy mogą opowiedzieć się po którejś sens tych sporów, które teraz często kończą się wycofaniem lub demontażem dotychczas dominujących roszczeń?

Jednak takie ciągłe niejasności i spory nie usprawiedlwiąają tego, że: które większość ludzi nie rozumie fundamentalnych zasad współczesnego świata. W końcu docenienie sposobu uprawy pszenicy ([rozdział 2](#)) lub produkcji stali ([rozdział 3](#)) lub uświadomienie sobie, że globalizacja nie jest ani nowa, ani nieunikniona ([rozdział 4](#)) to nie to samo, co proszenie kogoś o zrozumienie femtochemii (badanie reakcji chemicznych na skale czasowe 10 sekund, Ahmed Zewail, Nagroda Nobla w 1999 r.) lub reakcje łańcuchowe polimerazy (szybkie kopiowanie DNA, Kary Mullis, Nagroda Nobla w 1993 r.).

Dlaczego więc większość ludzi we współczesnych społeczeństwach ma tak powierzchowną wiedzę o tym, jak naprawdę działa świat? Złożoność współczesnego świata jest oczywistym wyjaśnieniem: ludzie nieustannie wchodzą w interakcję z czarnymi skrzynkami, których stosunkowo proste wyjścia wymagają niewielkiego lub żadnego zrozumienia tego, co dzieje się wewnętrz skrzynki. Tak samo jest z takimi

wszehobecne urządzenia, takie jak telefony komórkowe i laptopy (wpisanie prostego zapytania załatwia sprawę), ponieważ dotyczy to procedur na masową skalę, takich jak szczepienia (z pewnością najlepszy przykład planetarny z 2021 r., gdzie zazwyczaj zrozumiałe jest tylko zakasanie rękawa). część). Ale wyjaśnienia tego deficytu rozumienia wykraczają poza fakt, że rozmach naszej wiedzy zachęca do specjalizacji, której awersem jest coraz płytsze rozumienie – a nawet ignorancja – podstaw.

Urbanizacja i mechanizacja to dwie ważne przyczyny tego deficytu zrozumienia. Od 2007 roku ponad połowa ludzkości mieszka w miastach (ponad 80 procent we wszystkich zamożnych krajach) i w przeciwieństwie do miast uprzemysłowionych XIX i początku XX wieku, miejsca pracy na nowoczesnych obszarach miejskich to głównie usługi. Większość współczesnych mieszkańców miast jest w ten sposób odłączona nie tylko od sposobów, w jakie produkujemy żywność, ale także od sposobów, w jakie budujemy nasze maszyny i urządzenia, a rosnąca mechanizacja wszelkiej działalności produkcyjnej oznacza, że tylko bardzo mała część światowej populacji zajmuje się obecnie dostarczaniem energię cywilizacji i materiały, z których składa się nasz współczesny świat.

Ameryka ma obecnie tylko około 3 miliony mężczyzn i kobiet (właścicieli gospodarstw rolnych i pracowników najemnych) bezpośrednio zaangażowanych w produkcję żywności – ludzi, którzy faktycznie orają pola, sieją nasiona, stosują nawozy, eliminują chwasty, zbierają plony (zbieranie owoców i warzyw jest najbardziej pracochłonna część procesu) i opiekować się zwierzętami. To mniej niż 1 procent populacji kraju, nic więc dziwnego, że większość Amerykanów nie ma pojęcia, lub ma jedynie mgliste pojęcie o tym, jak powstał ich chleb lub kawałki mięsa. Kombajny zbierają pszenicę — ale czy zbierają również soję lub soczewice? Jak długo trwa, zanim małeńki prosiaczek stanie się kotletem schabowym: tygodnie czy lata? Ogromna większość Amerykanów po prostu nie wie — i mają mnóstwo towarzystwa. Chiny są największym na świecie producentem stali — co roku wytapiają, odlewają i walczą prawie miliard ton stali — ale wszystko to robi mniej niż 0,25 procent z 1,4 miliarda mieszkańców Chin. Tylko niewielki procent chińskiej populacji kiedykolwiek stanie w pobliżu wielkiego pieca lub zobaczy ciągnący odlewnię z czerwonymi wstępami gorącej, poruszającej się stali. I to rozłączenie ma miejsce na całym świecie.

Innym ważnym powodem dla biednych i malejącego zrozumienia tych osób jest podstawowe procesy, które dostarczają energię (jako żywność lub jako paliwo) i trwałe materiały (metale, minerały niemetaliczne lub beton) polegają na tym, że zaczęły być postrzegane jako przestarzałe — jeśli nie przestarzałe — i wyraźnie

mało ekscytujące w porównaniu ze światem informacji, danych i obrazów.

Przysłowiowe najlepsze umysły nie zajmują się gleboznawstwem i nie próbują robić lepszego cementu; zamiast tego przyciąga ich do czynienia z odcieleśnioną informacją, teraz tylko strumieniami elektronów w miriadach mikrourządzeń. Od prawników i ekonomistów po pisarzy kodów i menedżerów finansowych, ich nieproporcjonalnie wysokie nagrody są za pracę całkowicie odsunięte od materialnych realiów życia na Ziemi.

Co więcej, wielu z tych czcicieli danych uwierzyło, że te elektroniczne przepływy sprawią, że te osobliwe, stare potrzeby materialne staną się niepotrzebne. Pola zostaną wyparte przez miejskie rolnictwo wysokościowe, a produkty syntetyczne ostatecznie wyeliminują potrzebę uprawy jakiejkolwiek żywności. Dematerializacja, napędzana przez sztuczną inteligencję, zakończy naszą zależność od ukształtowanych mas metali i przetworzonych minerałów, a w końcu możemy nawet obejść się bez środowiska ziemskego: kto tego potrzebuje, jeśli zamierzamy terraformować Marsa? Oczywiście nie są to tylko rażąco przedwczesne przepowiednie, to fantazje rozwijane przez społeczeństwo, w którym fałszywe wiadomości stały się powszechne i gdzie rzeczywistość i fikcja zmieszały się do tego stopnia, że łatwotworne umysły, podatne na kultowe wizje, wierzą w to, co bardziej Obserwatorzy w przeszłości bezlitośnie postrzegaliby jako pograniczne lub szczere złudzenie.

Żadna z osób czytających tę książkę nie przeniesie się na Marsa; każdy z nas będzie nadal jeść podstawowe rośliny zbożowe uprawiane w glebie na dużych obszarach rolniczych, a nie w wieżowcach wymyślonych przez zwolenników tak zwanego rolnictwa miejskiego; nikt z nas nie będzie żył w zdematerializowanym świecie, który nie ma pożytku z takich niezastąpionych usług naturalnych, jak parowanie wody czy zapylanie roślin. Ale zaspokojenie tych egzystencjalnych potrzeb będzie coraz większym wyzwaniem, ponieważ duża część ludzkości żyje w warunkach, które zamożna mniejszość pozostawiła po sobie wiele pokoleń temu, a rosnące zapotrzebowanie na energię i materiały tak bardzo i tak szybko, że zagroziłyśmy jego zdolności do utrzymywania przepływów i zapasów w granicach zgodnych z jego długoterminowym funkcjonowaniem.

Aby dać tylko jedno kluczowe porównanie, w 2020 r. średni roczny na mieszkańca zaopatrzenie w energię około 40 procent światowej populacji (3,1 miliarda ludzi, w tym prawie wszystkich mieszkańców Afryki Subsaharyjskiej) nie było wyższe niż wskaźnik osiągnięty zarówno w Niemczech, jak i we Francji w 1860 roku! Aby zbliżyć się do progu godnego standardu życia, te 3,1 miliarda ludzi będzie musiało co najmniej podwoić, a najlepiej potroić, ich liczbę na mieszkańca.

zużycie energii, a tym samym pomnażanie dostaw energii elektrycznej, zwiększanie produkcji żywności i budowanie niezbędnej infrastruktury miejskiej, przemysłowej i transportowej. Nieuchronnie te wymagania spowodują dalszą degradację biosfery.

A jak poradzimy sobie z postępującą zmianą klimatu? Obecnie panuje powszechna zgoda, że musimy coś zrobić, aby zapobiec wielu wysoce niepożdanym konsekwencjom, ale jaki rodzaj działania, jaki rodzaj behawioralnej transformacji byłby najlepszy? Dla tych, którzy ignorują energetyczne i materialne imperatywy naszego świata, tych, którzy wolą mantry ekologicznych rozwiązań od zrozumienia, jak doszliśmy do tego punktu, recepta jest prosta: po prostu zdekarbonizuj – przestaw się ze spalania węgla kopalnego na przekształcanie niewyczerpanych strumieni energii odnawialnej. Prawdziwy klucz w pracach: jesteśmy cywilizacją napędzaną paliwami kopalnymi, której postęp techniczny i naukowy, jakość życia i dobrobyt opierają się na spalaniu ogromnych ilości węgla kopalnego i nie możemy tak po prostu odejść od tego krytycznego wyznacznika naszego losu za kilka dekad, nie mówiąc już o latach.

Całkowita dekarbonizacja gospodarki światowej do 2050 r. jest obecnie możliwa tylko kosztem niewyobrażalnego globalnego wycofania się gospodarki lub w wyniku niezwykle szybkich przemian opartych na niemal cudownym postępie technicznym. Ale kto dobrowolnie zaprojektuje te pierwsze, kiedy wciąż brakuje nam przekonującej, praktycznej, przystępnej globalnej strategii i technicznych środków do realizacji tego drugiego? Co się właściwie wydarzy? Przepaść między myśleniem życzeniowym a rzeczywistością jest ogromna, ale w społeczeństwie demokratycznym żadna rywalizacja pomysłów i propozycji nie może przebiegać w racjonalny sposób bez wymiany przez wszystkie strony przynajmniej odrobiny istotnych informacji na temat rzeczywistego świata, zamiast truchtu ich uprzedzeń i postępu. roszczenia oderwane od fizycznych możliwości.

Ta książka jest próbą zmniejszenia deficytu rozumienia, wyjaśnienia niektórych z najbardziej fundamentalnych rzeczywistości rządzących naszym przetrwaniem i naszym dobrobytem. Moim celem nie jest prognozowanie, nie nakreślanie oszałamiających lub przygnębiających scenariuszy tego, co ma nadzieję. Nie ma potrzeby rozszerzania tego popularnego – ale konsekwentnie zawodzącego – gatunku: na dłuższą metę jest zbyt wiele nieoczekiwanych wydarzeń i zbyt wiele złożonych interakcji, których nie można przewidzieć żaden indywidualny lub zbiorowy wysiłek. Nie będę też opowiadał się za konkretnymi (stronniczymi) interpretacjami rzeczywistości, ani jako źródła rozpacz, ani bezgranicznych oczekiwani. Nie jestem ani pesymistą, ani optimistą; Jestem naukowcem próbującym

aby wyjaśnić, jak naprawdę działa świat, i wykorzystam to zrozumienie, aby lepiej uświadomić sobie nasze przyszłe ograniczenia i możliwości.

Nieuchronnie tego rodzaju dociekania muszą być selektywne, ale każdy z nich Siedem kluczowych tematów wybranych do bliższego zbadania spełnia wymogi egzystencjalnej konieczności: w składzie nie ma błahtych wyborów. Pierwszy rozdział tej książki pokazuje, jak nasze wysokoenergetyczne społeczeństwa stale zwiększają swoją zależność od paliw kopalnych w ogóle, a od elektryczności, najbardziej elastycznej formy energii, w szczególności. Docenienie tych realiów służy jako bardzo potrzebna korekta powszechnych obecnie twierdzeń (opartych na słabym zrozumieniu złożonych realiów), że możemy zdekarbonizować globalne dostawy energii w pośpiechu i że zajmie to tylko dwie lub trzy dekady, zanim polegamy wyłącznie na konwersji energii odnawialnej. Podczas gdy przekształcamy coraz większy udział produkcji energii elektrycznej w nowe źródła odnawialne (słoneczne i wiatrowe, w przeciwieństwie do znanej od dawna hydroelektrowni) i wprowadzamy na drogi więcej samochodów elektrycznych, dekarbonizacja ciężarówek, samolotów i żeglugi będzie znacznie większym wyzwaniem, ponieważ czy produkcja kluczowych materiałów bez polegania na paliwach kopalnych.

Drugi rozdział tej książki dotyczy najbardziej podstawowej konieczności przetrwania: produkcji żywności. Skupia się na wyjaśnieniu, jak wiele z tego, na czym polegamy, aby przetrwać, od pszenicy przez pomidory po krewetki, ma jedną wspólną cechę: wymaga znacznego, bezpośrednich i pośrednich nakładów paliw kopalnych. Świadomość tej fundamentalnej zależności od paliw kopalnych prowadzi do realistycznego zrozumienia naszego ciągłego zapotrzebowania na węgiel kopalny: stosunkowo łatwo jest wytwarzać energię elektryczną za pomocą turbin wiatrowych lub ogniw słonecznych zamiast spalania węgla lub gazu ziemnego – ale byłoby to znacznie bardziej skomplikowane do obsługi wszystkich maszyn polowych bez płynnych paliw kopalnych oraz do produkcji wszystkich nawozów i innych środków agrochemicznych bez gazu ziemnego i ropy naftowej. Krótko mówiąc, przez dziesięciolecia nie będzie możliwe odpowiednie wyżywienie planety bez wykorzystywania paliw kopalnych jako źródeł energii i surowców.

Rozdział trzeci wyjaśnia, w jaki sposób i dlaczego nasze społeczeństwa są podtrzymywane przez materiały stworzone przez ludzką pomysłowość, koncentrując się na tym, co nazywam czterema filarami współczesnej cywilizacji: amoniakiem, stalą, betonem i tworzywami sztucznymi. Zrozumienie tych realiów obnaża mylący charakter modnych ostatnio twierdzeń o dematerializacji nowoczesnych gospodarek zdominowanych przez usługi i zminiaturyzowane urządzenia elektroniczne. Względny spadek zapotrzebowania materiałowego na jednostkę wielu gotowych produktów był jednym z definiujących trendów nowoczesnych rozwiązań przemysłowych. Ale w kategoriach bezwzględnych wymagania materialne zostały:

rosną nawet w najbogatszych społeczeństwach świata i pozostają znacznie poniżej wszelkich wyobrażalnych poziomów nasycenia w krajach o niskich dochodach, gdzie posiadanie dobrze zbudowanych mieszkań, urządzeń kuchennych i klimatyzacji (nie mówiąc już o samochodach) pozostaje marzeniem miliardów ludzi.

Czwarty rozdział to historia globalizacji, czyli tego, jak świat się rozwinął stają się tak połączone przez transport i komunikację. Ta historyczna perspektywa pokazuje, jak stare (a nawet starożytne) są początki tego procesu i jak świeży jest jego najwyższy – i wreszcie prawdziwie globalny – zasięg. A bliższe spojrzenie pokazuje, że nie ma nic nieuniknionego w przyszłym przebiegu tego ambiwalentnie postrzeganego (bardzo chwalonego, bardzo kwestionowanego i krytykowanego) zjawiska. Ostatnio na świecie nastąpiły wyraźne odwroty i ogólny trend w kierunku populizmu i nacjonalizmu, ale nie jest jasne, w jakim stopniu te zmiany będą kontynuowane ani w jakim stopniu te zmiany zostaną zmodyfikowane ze względu na kombinację ekonomii, bezpieczeństwa, i względy polityczne.

Rozdział piąty przedstawia realistyczne ramy oceny ryzyka, twarz: współczesnym społeczeństwom udało się wyeliminować lub zmniejszyć wiele wcześniej śmiertelnych lub okaleczających zagrożeń – na przykład polio i porodu – ale wiele niebezpieczeństw zawsze będzie z nami, a my wielokrotnie nie dokonujemy właściwej oceny ryzyka, zarówno nie doceniając, jak i wyolbrzymiając zagrożenia my twarz. Po ukończeniu tego rozdziału czytelnicy dobrze zrozumieją względne ryzyko wielu powszechnych mimowolnych ekspozycji i wolontariatu (od upadku w domu po latańie między kontynentami; od życia w mieście podatnym na huragany po skoki spadochronowe) – oraz przecinanie bzdury branży dietetycznej, zobaczymy szereg opcji tego, co moglibyśmy jeść, aby pomóc nam żyć dłużej.

W rozdziale szóstym przyjrzymy się najpierw, jak zachodzące zmiany środowiskowe mogą wpływać na nasze trzy egzystencjalne potrzeby: tlen, wodę i pożywienie. Pozostała część rozdziału skupi się na globalnym ocieplaniu, zmianie, która zdobiła niedawne problemy środowiskowe i doprowadziła do pojawięcia się nowego – niemal apokaliptycznego – katastrofizmu z jednej strony i całkowitego zaprzeczenia tego procesu z drugiej. Zamiast przytaczać i oceniać te kwestionowane twierdzenia (zbyt wiele książek już to zrobiło), podkreślę, że wbrew powszechnemu przekonaniu nie jest to zjawisko niedawno odkryte: rozumiemy podstawy tego procesu od ponad 150 lat.

Co więcej, od ponad wieku zdawaliśmy sobie sprawę z rzeczywistego stopnia ocieplenia związanego z podwojeniem atmosferycznego CO₂ i byliśmy

ostrzegał o bezprecedensowym (i niepowtarzalnym) charakterze tego eksperymentu planetarnego ponad pół wieku temu (nieprzerwane, dokładne pomiary CO₂ rozpoczęły się w 1958 r.). Ale postanowiliśmy zignorować te wyjaśnienia, ostrzeżenia i zapisane fakty. Zamiast tego zwielokrotniliśmy naszą zależność od spalania paliw kopalnych, co doprowadziło do uzależnienia, którego nie da się łatwo i niedrogo zerwać. Jak szybko możemy to zmienić, pozostaje niejasne. Dodaj do tego wszystkie inne troski o środowisko, a musisz dojść do wniosku, że na kluczowe pytanie egzystencjalne – czy ludzkość może realizować swoje aspiracje w bezpiecznych granicach naszej biosfery? – nie ma łatwych odpowiedzi. Ale konieczne jest, abyśmy zrozumieli fakty w tej sprawie. Tylko wtedy możemy skutecznie rozwiązać problem.

W ostatnim rozdziale spojrzę w przyszłość, a konkretnie na ostatnie przeciwne skłonności do katastrofizmu (te, które mówią, że zostały tylko lata, zanim ostatnia kurtyna opadnie na współczesną cywilizację) i technooptymizmu (te, które przewidują, że potęgi wynalazek otworzy nieograniczone horyzonty poza granicami Ziemi, zamieniając wszystkie ziemskie wyzwania w nieistotne historię). Jak można się było spodziewać, żadne z tych stanowisk jest mi mało przydatne, a moja perspektywa nie znajdzie uznania w żadnej z doktryn. Nie przewiduję rychłego zerwania z historią w żadnym kierunku; Nie widzę żadnych z góry ustalonych wyników, ale raczej skomplikowaną trajektorię uzależnioną od naszych – dalekich od wykluczonych – wyborów.

Ta książka opiera się na dwóch fundamentach: obfitych odkryciach naukowych i połowie wieku moich badań i pisania książek. Pierwsza obejmuje pozycje od tak klasycznych wkładów, jak pionierskie wyjaśnienia konwersji energii i efektu gazów cieplarnianych od XIX wieku, po najnowsze oceny globalnych wyzwań i prawdopodobieństwa ryzyka. A ta dalekosieżna książka nie mogłaby powstać bez moich dziesięcioleci interdyscyplinarnych studiów wydestylowanych w wielu innych książkach. Zamiast uciekać się do starożytnych porównań lisów i jeży (lis wie wiele rzeczy, ale jeż wie jedną ważną rzeczą), myślę o współczesnych naukowcach albo jako o wiertłach coraz głębszych dziur (obecnie dominująca droga do sławy) czy skanery szerokich horyzontów (obecnie znacznie zmniejszona grupa).

Wiercenie jak najgłębszej dziury i bycie niedoścignionym mistrzem maleńkiego skrawka nieba widocznego z jego dna nigdy do mnie nie przemawiało. Zawsze wolałem skanować tak daleko i tak szeroko, jak pozwalały mi na to moje ograniczone możliwości. Moim głównym obszarem zainteresowań przez całe życie było

studia energetyczne, ponieważ satysfakcjonujące zrozumienie tej rozległej dziedziny wymaga połączenia zrozumienia fizyki, chemii, biologii, geologii i inżynierii ze zwróceniem uwagi na historię oraz czynniki społeczne, ekonomiczne i polityczne.

Prawie połowa z moich ponad 40 (i głównie bardziej akademickich) książek dotyczy różnych aspektów energii, od szeroko zakrojonych badań ogólnej energetyki i energii na przestrzeni dziejów po bliższe spojrzenie na poszczególne kategorie paliw (ropa, gaz ziemny, biomasa) i specyficzne właściwości i procesy (gęstość mocy, przejścia energii). Reszta mojej twórczości zdradza moje interdyscyplinarne poszukiwania: pisałem o tak fundamentalnych zjawiskach, jak wzrost – we wszystkich jego naturalnych i antropogenicznych postaciach – oraz ryzyko; o środowisku globalnym (biosfera, cykle biogeochemiczne, globalna ekologia, produktywność fotosyntezy i zbiory), żywność i rolnictwo, materiały (przede wszystkim stal i nawozy), postęp techniczny oraz postęp i wycofanie się produkcji, a także o starożytności Historia rzymska i współczesna Ameryki oraz japońskie jedzenie.

Nieuchronnie ta książka – produkt mojego życia i napisana dla laika – jest kontynuacją moich długotrwałych poszukiwań zrozumienia podstawowych realiów biosfery, historii i świata, który stworzyliśmy. I po raz kolejny robi to, co robię niezłomnie od dziesięcioleci: zdecydowanie opowiada się za odejściem od skrajnych poglądów. Niedawni (i coraz bardziej zażarci lub coraz bardziej zawrotni) zwolennicy takich stanowisk będą zawiedzeni: nie jest to miejsce na lament nad końcem świata w 2030 roku ani zauroczenie zdumiewająco transformacyjnymi mocami sztucznej inteligencji, które pojawią się szybciej niż nam się wydaje. Zamiast tego ta książka stara się zapewnić podstawę dla bardziej wyważonej i koniecznie agnostycznej perspektywy. Mam nadzieję, że moje racjonalne, rzeczowe podejście pomoże czytelnikom zrozumieć, jak naprawdę działa świat i jakie są nasze szanse, by zobaczyć, jak oferuje lepsze perspektywy dla przyszłych pokoleń.

Ale zanim zagłębisz się w konkretne tematy, mam ostrzeżenie, a także możliwe żądanie. Książka ta obfituje w liczby (wszystkie metryki), ponieważ realiów współczesnego świata nie można zrozumieć jedynie za pomocą opisów jakościowych. Wiele liczb w tej książce jest nieuchronnie albo bardzo dużych, albo bardzo małych, a takie rzeczywistości najlepiej traktować w kategoriach rzędów wielkości, oznaczonych globalnie ważnymi przedrostkami. Jeśli nie masz podstaw w tych sprawach, dodatek o zrozumieniu liczb, dużych i małych, zajmie się tym, dlatego niektórzy czytelnicy mogą uznać za opłacalne rozpoczęcie tego

książka od końca. W przeciwnym razie zobaczę cię w [rozdziale 1](#), aby bliżej, ilościowo przyjrzeć się energiom. To perspektywa, która nigdy nie powinna wychodzić z mody.



1. Zrozumienie energii

Paliwa i energia elektryczna

Rozważ łagodny scenariusz science fiction: nie podróżuj na odległe planety w poszukiwaniu życia, ale Ziemię i jej mieszkańców jako cele zdalnego monitorowania przez niezwykle mądrą cywilizację, która wysyła swoje sondy do pobliskich galaktyk. Dlaczego to robią? Tylko dla satysfakcji systematycznego zrozumienia, a być może także dla uniknięcia niebezpiecznych niespodzianek, gdyby trzecia planeta krążąca wokół nie wyróżniającej się gwiazdy w galaktyce spiralnej stała się zagrożeniem, a może w przypadku, gdyby potrzebowała drugiego domu. Stąd ta planeta prowadzi okresowe zakładki na Ziemi.

Wyobraźmy sobie, że sonda zbliża się do naszej planety raz na 100 lat i jest zaprogramowana na wykonanie drugiego przejścia (bliższa inspekcja) tylko wtedy, gdy wykryje nieobserwowany wcześniej rodzaj konwersji energii — zmianę energii z jednej postaci w drugą — lub nowa fizyczna manifestacja zależna od tego. W fundamentalnych terminach fizycznych każdy proces — czy to deszcz, wybuch wulkanu, wzrost roślin, drapieżnictwo zwierząt, czy wzrost ludzkiej rozsądku — można zdefiniować jako sekwencję przemian energii i przez kilkaset milionów lat po utworzeniu Ziemi sondy zobaczyłyby tylko te same zróżnicowane, ale ostatecznie monotonne, pokazy erupcji wulkanicznych, trzęsień ziemi i burz atmosferycznych.

Zmiany fundamentalne

Pierwsze mikroorganizmy pojawiły się prawie 4 miliardy lat temu, ale przechodzące sondy ich nie rejestrują, ponieważ te formy życia są rzadkie i pozostają ukryte, związane z alkalicznymi kominami hydrotermalnymi na dnie oceanu. Pierwsza okazja do bliższego przyjrzenia się pojawiła się już 3,5 miliarda lat temu, kiedy przelatującą sondę zarejestrowała pierwsze proste, jednokomórkowe fotosyntetyczne mikroby w płytowych morzach: pochłaniają one promieniowanie bliskiej podczerwieni — to właśnie

poza widmem widzialnym – i nie wytwarzają tlenu. Mijają miliony lat bez żadnych oznak zmian, zanim sinice zaczną wykorzystywać energię widzialnego promieniowania słonecznego do przekształcania CO₂ i wody w nowe związki organiczne i uwalniania tlenu.

[1 Setki](#)

[2](#)

Jest to radykalna zmiana, która stworzy natlenioną atmosferę Ziemi, jednak minie dużo czasu, zanim nowe, bardziej złożone organizmy wodne zostaną zaobserwowane 1,2 miliarda lat temu, kiedy sondy udokumentują powstanie i dyfuzję jaskrawo zabarwionych czerwonych alg (dzięki pigmentowi fotosyntetycznemu), fikoerytryna) oraz znacznie większych brunatnic. Zielone algi przybywają prawie pół miliarda lat później, a ze względu na nową proliferację roślin morskich sondy mają lepsze czujniki do monitorowania dna morskiego. To się opłaca, ponieważ ponad 600 milionów lat temu sondy dokonały kolejnego epokowego odkrycia: istnienia pierwszych organizmów zbudowanych ze zróżnicowanych komórek. Te płaskie, miękkie, żyjące na dnie stworzenia (znane jako fauna Ediacaran od ich australijskiego zamieszkania) są pierwszymi prostymi zwierzętami wymagającymi tlenu do metabolizmu i, w przeciwieństwie do glonów, które są jedynie miotane przez fale i prądy, są mobilne.

[3](#) I wtedy sondy zaczynają dokumentować to, co, mówiąc porównawczo,

gwałtowne zmiany: zamiast przechodzić przez pozbawione życia kontynenty i czekać setki milionów lat, zanim zarejestrują kolejną epokową zmianę, zaczynają rejestrować wznoszące się, wznoszące się i opadające fale pojawiania się, dyfuzji i wymierania ogromnej różnorodności gatunków. Okres ten rozpoczyna się kambryjską eksplozją małych morskich mieszkańców dna (541 milionów lat temu, zdominowanych najpierw przez trylobity) poprzez pojawienie się pierwszych ryb, płazów, roślin lądowych i czworonożnych (a zatem wyjątkowo mobilnych) zwierząt. Okresowe wymierania zmniejszają, a czasem wręcz eliminują tę różnorodność, i nawet jeszcze 6 milionów lat temu sondy nie znalazły żadnego organizmu dominującego na planecie.

[4](#) Niedługo potem sondy prawie przeoczają

znaczenie mechanicznego przesunięcia o ogromnych implikacjach energetycznych: wiele czworonożnych zwierząt przez chwilę stoi lub niezgrabnie chodzi na dwóch nogach, a ponad 4 miliony lat temu ta forma poruszania się stała się normą małe małpopodobne stworzenia, które zaczynają spędzać więcej czasu na lądzie niż na drzewach.[5](#)

Teraz przerwy między zgłoszeniem czegoś godnego uwagi do ich domu baza kurczy się z setek milionów do zaledwie setek tysięcy lat. Ostatecznie potomkowie tych wcześniejszych dwunożnych (klasyfikujemy je jako homininy, należące do rodzaju Homo, wzduż długiej linii naszych przodków)

zrobić coś, co postawi ich na przyspieszonej ścieżce do dominacji planetarnej. Kilkaset tysięcy lat temu sondy wykrywają pierwsze pozasomatyczne użycie energii — na zewnątrz ciała; to znaczy, jakakolwiek konwersja energii poza trawieniem pokarmu — kiedy niektórzy z tych wyprostowanych piechurów opanują ogień i zaczną gotowania, komfortu i bezpieczeństwa. spalanie przekształca energię chemiczną roślin w energię cieplną i światło, umożliwiając hominom spożywanie wcześniej ciężkostrawnych pokarmów, rozgrzewając je w zimne noce i trzymając z dala niebezpieczne zwierzęta.

[7](#)

To pierwsze kroki w kierunku świadomego kształtowania i kontrolowania środowiska na niespotykaną dotąd skalę.

Tendencja ta nasila się wraz z kolejnąauważalną zmianą, jaką jest uprawa roślin. Około 10 tysięcy lat temu sondy rejestrują pierwsze płaty celowo uprawianych roślin, ponieważ niewielka część całkowitej fotosyntezy Ziemi jest kontrolowana i manipulowana przez ludzi, którzy udomowią — selekcjonują, sadzą, pielęgnują i zbierają — uprawy dla ich (opóźnionych) korzyści. [8](#) Wkrótce następuje pierwsze udomowienie zwierząt. Zanim to nastąpi, ludzkiemięśnie są jedynymi siłami napędowymi — to znaczy konwerterami energii chemicznej (żywności) w energię kinetyczną (mechaniczną) pracy.

Udomowienie pracujących zwierząt, poczynając od bydła około 9000 lat temu, dostarcza pierwszej pozasomatycznej energii, innej niż energia mięśni ludzkich — są one wykorzystywane do prac polowych, do podnoszenia wody ze studni, do ciągnięcia później do przenoszenia ciężarów i do zapewnienia transportu [lub 9](#). Aż zacznie przychodzą pierwsze nieożywione siły napędowe: żagle, ponad pięć tysięcy lat temu; koła wodne, ponad dwa tysiące lat temu; i wiatraki sprzed ponad tysiąca lat.

[10](#)

Następnie sondy nie mają wiele do obserwowania, po nadaniem kolejnego okresu (względnego) spowolnienia: wiek po stuleciu mamy do czynienia z powtarzaniem się, stagnacją lub powolnym wzrostem i dyfuzją tych od dawna ustalonych konwersji. W obu Amerykach i Australii (brak zwierząt pociągowych i prostych mechanicznych napędów) wszystkie prace przed przybyciem Europejczyków wykonują ludzkiemięśnie. W niektórych przedindustrialnych regionach Starego Świata zwierzęta zaprzęgowe, wiatr i płynąca lub spadająca woda energetyzują znaczną część mielenia zbóż, tłoczenia oleju, mielenia i kucia, a zwierzęta pociągowe stają się nieodzowne w ciężkich pracach polowych (przede wszystkim orka, ponieważ żniwa są nadal wykonywane ręcznie), przewożąc towary i prowadząc wojny.

Ale w tym momencie, nawet w społeczeństwach z udomowionymi zwierzętami i mechanicznymi głównymi sprawcami, większość pracy nadal jest wykonywana przez ludzi. Według moich szacunków, używając koniecznie przybliżonych przeszłych sum pracujących zwierząt i ludzi oraz zakładając typowe dzienne stawki pracy oparte na współczesnych pomiarach wysiłku fizycznego, jest to – czy to na początku drugiego tysiąclecia naszej ery, czy 500 lat później (w 1500 roku), na początku wczesnej ery nowożytnej) – ponad 90 procent całej użytecznej energii mechanicznej pochodziło z energii ożywionej, podzielonej z grubsza między ludzi i zwierzęta, podczas gdy cała energia cieplna pochodziła ze spalania paliw roślinnych (głównie drewna i węgla drzewnego, ale także słoma i suszone łajno).

A potem w 1600 roku obca sonda zacznie działać i zauważy coś bezprecedensowego. Zamiast polegać wyłącznie na drewnie, społeczeństwo wyspiarskie coraz częściej spala węgiel, paliwo wyprodukowane w procesie fotosyntezy dziesiątki lub setki milionów lat temu i skostniałe przez ciepło i ciśnienie podczas długiego podziemnego przechowywania. Najlepsze rekonstrukcje pokazują, że węgiel jako źródło ciepła w Anglii przewyższa wykorzystanie paliw z biomasy około 1620 r. (być może nawet wcześniej); do 1650 r. spalanie węgla kopalnego dostarcza dwie trzecie całego ciepła; a do roku 1700 udział ten osiąga 75 procent. wyjątkowo ¹¹ Anglia start: wszystkie pola węglowe, które sprawiają, że Wielka Brytania jest światowym wiodącą XIX-wieczną gospodarką produkuje węgiel już przed 1640 rokiem. ¹² A potem, na samym początku XVIII wieku, niektóre angielskie kopalnie zaczynają opierać się na silnikach parowych, pierwszych nieożywionych silnikach napędzanych spalaniem paliw kopalnych.

Te wczesne silniki są tak nieefektywne, że mogą być stosowane tylko w kopalniach, gdzie paliwo jest łatwo dostępne i nie wymaga żadnego. Jednak od transportem. naród pokonuje Wielką Brytanię i pojawiają się kolejne zjawiska, zaczynającym adoptującym. Nawet do 1800 r. łączne wydobycie węgla w kilku krajach europejskich i Stanach Zjednoczonych stanowi niewielki ułamek brytyjskiej produkcji.

Do 1800 przelatująca sonda zarejestruje, że na całej planecie nadal paliwo roślinne dostarczają ponad 98 procent całego ciepła i światła wykorzystywanego przez dominujące zwierzęta dwunożne, a mniej ludzi i zwierząt nadal dostarczają ponad 90 procent całej energii mechanicznej potrzebnej w rolnictwie, budownictwie i produkcji. W Wielkiej Brytanii, gdzie James Watt wprowadził ulepszony silnik parowy w latach 70. XVIII wieku, firma Boulton & Watt zaczęła budować silniki, których średnia moc jest równa mocy 25 silnych koni, ale do 1800 r. zostały sprzedane

mniej niż 500 tych maszyn, tylko osłabiając całkowitą moc dostarczaną przez zaprzegnięte konie i ciężko pracujących robotników.

14

Nawet do 1850 r. rosnące wydobycie węgla w Europie i Ameryce Północnej dostarcza nie więcej niż 7 procent całej energii paliwowej, prawie połowa użytecznej energii kinetycznej pochodzi od zwierząt pociągowych, około 40 procent z ludzkich mięśni, a tylko 15 procent z trzech nieożywionych sił napędowych: kół wodnych, wiatraków i wolno rozprzestrzeniających się silników parowych. Świat roku 1850 jest znacznie bardziej podobny do świata 1700, a nawet 1600 roku niż ten z roku 2000.

Jednak do 1900 r. globalny udział zarówno paliw kopalnych, jak i odnawialnych oraz głównych czynników poruszających się znacznie się zmienia, ponieważ nowoczesne źródła energii (węgiel i trochę ropy naftowej) dostarczają połowę całej energii pierwotnej, a paliwa tradycyjne (drewno, węgiel drzewny, słoma) drugą połowę. Turbiny wodne w elektrowniach wodnych wytwarzają pierwszą pierwotną energię elektryczną w latach 80. XIX wieku; później jest energia geotermalna, a po II wojnie światowej energia jądrowa, słoneczna i wiatrowa (nowe źródła odnawialne). Jednak do 2020 r. ponad połowa światowej energii elektrycznej nadal będzie generowana przez spalanie paliw kopalnych, głównie węgla i gazu ziemnego.

Do 1900 r. nieożywione silniki napędzające dostarczają około połowy całej energii mechanicznej: największy wkład mają silniki parowe opalane węglem, a następnie lepiej zaprojektowane koła wodne i nowe turbiny wodne (po raz pierwszy wprowadzone w latach 30. XIX wieku), wiatraki i zupełnie nowe turbiny parowe (od końca lat 80. XIX wieku) oraz silniki spalinowe (na benzynę, również wprowadzone po raz pierwszy w latach 80. XIX wieku).

15

Do 1950 roku paliwa kopalne dostarczały prawie trzy czwarte energii pierwotnej (wciąż zdominowanej przez węgiel), a nieożywione siły napędowe – teraz z silnikami spalinowymi napędzanymi benzyną i olejem napędowym na czele – dostarczają ponad 80% całej energii mechanicznej. A do roku 2000 tylko biedni ludzie w krajach o niskich dochodach są uzależnieni od paliw z biomasy, przy czym drewno i słoma dostarczają tylko około 12% światowej energii pierwotnej. Siły napędowe zwierząt ożywionych mają tylko 5% udział w energii mechanicznej, ponieważ ludzki wysiłek i praca zwierząt pociągowych są prawie całkowicie zastępowane przez maszyny zasilane cieczą lub silniki elektryczne.

W ciągu ostatnich dwóch stuleci obce sondy doświadczyły gwałtownego globalnego zastępowania pierwotnych źródeł energii, któremu towarzyszyła ekspansja i dywersyfikacja dostaw energii z paliw kopalnych, a także nie mniej szybkie wprowadzanie, adopcja i wzrost zdolności nowych nieożywionych sił napędowych —najpierw silniki parowe na węgiel, potem silniki spalinowe (tłokowe i turbinowe).

Ostatnia wizyta pokazała prawdziwie globalne społeczeństwo zbudowane i zdefiniowane przez masową, stacjonarną i mobilną konwersję węgla kopalnego, rozmieszczone wszędzie, ale w niektórych niezamieszkanych regionach planety.

Nowoczesne wykorzystanie energii

Jaką różnicę zrobiła ta mobilizacja energii pozasomatycznych? Globalna podaż energii pierwotnej zwykle odnosi się do całkowitej (brutto) produkcji, ale bardziej odkrywcze jest spojrzenie na energię, która jest faktycznie dostępna do przekształcenia w użyteczne formy. W tym celu musimy odjąć straty przedkonsumpcyjne (przy sortowaniu i oczyszczaniu węgla, rafinacji ropy naftowej i przeróbce gazu ziemnego), nieenergetyczne (głównie jako surowce dla przemysłu chemicznego, a także jako oleje smarowe do maszyn począwszy od pomp do turbin lotniczych i jako materiały nawierzchniowe) oraz straty podczas przesyłu energii elektrycznej. Dzięki tym korektom — i mocno zaokrąglonym, aby uniknąć wrażenia nieuzasadnionej dokładności — moje obliczenia pokazują 60-krotny wzrost zużycia paliw kopalnych w XIX wieku, 16-krotny wzrost w XX wieku i około 1500-krotny wzrost w ciągu ostatnich 220 lat.

[16](#)

Ta rosnąca zależność od paliw kopalnych jest najważniejszym czynnikiem w wyjaśniając postępy współczesnej cywilizacji – a także nasze podstawowe obawy dotyczące wrażliwości ich dostaw i wpływu ich spalania na środowisko. W rzeczywistości zysk energetyczny był znacznie wyższy niż 1500-krotny, o którym właśnie wspomniałem, ponieważ musimy wziąć pod uwagę równoczesny wzrost średniej wydajności konwersji. [17](#) W 1800 r. spalanie węgla w piecach i kotłach do produkcji ciepła i ciepłej wody było nie więcej niż 25–30 proc., a tylko 2 proc. powyżej 15 proc. Sto lat później lepsze piece, kotły i silniki podniósły ogólną sprawność do prawie 20 procent, a do 2000 roku średni współczynnik konwersji wynosił około 50 procent.

W rezultacie XX wiek przyniósł prawie 40-krotny wzrost użytecznej energii; od 1800 roku zysk był około 3500-krotny.

Aby uzyskać jeszcze wyraźniejszy obraz skali tych zmian, powinniśmy wyrazić te wskaźniki w przeliczeniu na mieszkańca. Światowa populacja wzrosła z 1 miliarda w 1800 roku do 1,6 miliarda w 1900 i 6,1 miliarda w 2000 roku, a tym samym wzrosła podaż użytecznej energii (wszystkie wartości w gigadżuli na

mieszkańca) od 0,05 w 1800 do 2,7 w 1900 i do około 28 w 2000 roku.

Wzrost Chin na arenie światowej po 2000 r. był głównym powodem dalszego wzrostu globalnego wskaźnika do około 34 GJ/mieszkańca do 2020 r. Przeciętny mieszkaniec Ziemi ma obecnie do dyspozycji prawie 700 razy więcej użytecznej energii niż ich przodkowie miał na początku XIX wieku.

Co więcej, w ciągu życia osób urodzonych tuż po II wojnie światowej wskaźnik ten wzrósł ponad trzykrotnie, z około 10 do 34 GJ/mieszkańca w latach 1950–2020. Przekładając ten ostatni wskaźnik na łatwiejsze do wyobrażenia odpowiedniki, można Ziemianin ma co roku do swojej osobistej dyspozycji około 800 kilogramów (0,8 tony, czyli prawie sześć baryłek) ropy naftowej, czyli około 1,5 tony dobrego węgla kamiennego. A patrząc na pracę fizyczną, to tak, jakby 60 dorosłych pracowało bez przerwy, dzień i noc, na każdego przeciętnego człowieka; a dla mieszkańców zamożnych krajów ten odpowiednik stale pracujących dorosłych wynosiłby, w zależności od konkretnego kraju, przeważnie od 200 do 240. Obecnie ludzie mają do dyspozycji niespotykane dotąd ilości energii.

Konsekwencje tego pod względem ludzkiego wysiłku, godzin pracy fizycznej, czasu wolnego i ogólnego poziomu życia są oczywiste. Obfitość użytecznej energii leży u podstaw i wyjaśnia wszystkie korzyści — od lepszego jedzenia po podróże na masową skalę; od mechanizacji produkcji i transportu do natychmiastowej osobistej komunikacji elektronicznej — które we wszystkich zamożnych krajach stały się normą, a nie wyjątkami. Ostatnie zmiany na skalę krajową mają szeroki zakres: zgodnie z oczekiwaniemi są one niższe w tych krajach o wysokich dochodach, których zużycie energii na mieszkańca było stosunkowo wysokie już sto lat temu, przy czym większy jest wzrost w krajach, które doświadczyły najszybszej modernizacji swoich gospodarek od 1950 roku, w szczególności Japonia, Korea Południowa i Chiny. W latach 1950-2020 Stany Zjednoczone w przybliżeniu podwoiły użyteczną energię na mieszkańca dostarczaną przez paliwa kopalne i energię pierwotną (do około 150 gigadżuli); w Japonii wskaźnik ten wzrósł ponad pięciokrotnie (do prawie 80 GJ/mieszkańca), a Chiny odnotowały zdumiewający, ponad 120-krotny wzrost (do prawie 50 GJ/mieszkańca).

18

Śledzenie trajektorii wykorzystania użytecznej energii jest tak odkrywcze, ponieważ energia nie jest po prostu kolejnym składnikiem złożonych struktur biosfery, społeczeństw ludzkich i ich gospodarek, ani po prostu kolejną zmienną w zawiłych równaniach określających ewolucję tych wzajemnie oddziałujących systemów. Konwersje energii są podstawą życia i ewolucji. Współczesna historia

można postrzegać jako niezwykle szybką sekwencję przejść do nowych źródeł energii, a współczesny świat jest skumulowanym wynikiem ich konwersji.

Fizycy jako pierwsi dostrzegli fundamentalne znaczenie energii w sprawach ludzkich. W 1886 roku Ludwig Boltzmann, jeden z twórców termodynamiki, mówił o darmowej energii — energii dostępnej do konwersji — jako Kampfobjekt (przedmiot walki) o życie, które ostatecznie zależy od napływającego promieniowania słonecznego. ¹⁹ Erwin Schrödinger, laureat Nagrody Nobla podsumował podstawy życia: „Organizm żywi się ujemną entropią” (entropia ujemna lub negentropia = energia swobodna).

²⁰ W latach dwudziestych XX wieku, kierując się tym fundamentalnym spostrzeżeniem fizyków XIX i początku XX wieku, amerykański matematyk i statystyk Alfred Lotka doszedł do wniosku, że te organizmy, które najlepiej wychwytują dostępną energię, mają ewolucyjną przewagę. ²¹

Na początku lat 70. amerykański ekolog Howard Odum wyjaśnił, że „wszelki postęp wynika ze specjalnych subsydiów energetycznych, a postęp wyparowuje zawsze i wszędzie”.

²² Niedawno fizyk Robert Ayres wielokrotnie podkreślał w swoich pismach centralne pojęcie energii we wszystkich gospodarkach: „system ekonomiczny jest zasadniczo systemem pozyskiwania, przetwarzania i przekształcania energii jako zasobów w energię zawartą w produktach i usługach”.

²³ Mówiąc najprościej, energia jest jedyną prawdziwie uniwersalną walutą i nic (od galaktycznych rotacji po efemeryczne życie owadów) nie może się odbyć bez jej przekształceń. ²⁴ Biorąc pod uwagę wszystkie te łatwo weryfikowalne realia, trudno zrozumieć, dlaczego Nowoczesna ekonomia, ten zbiór wyjaśnień i nakazów, których praktycy wywierają większy wpływ na politykę publiczną niż jakikolwiek inny ekspert, w dużej mierze ignoruje energię. Jak zauważył Ayres, ekonomii nie tylko brakuje systematycznej świadomości znaczenia energii dla fizycznego procesu produkcji, ale zakłada, że „energia nie ma (dużego) znaczenia, ponieważ udział kosztów energii w gospodarce jest tak mały, że może być ignorowane... tak jakby produkcja mogła być wytwarzana wyłącznie przez pracę i kapitał – lub jakby energia była jedynie formą kapitału stworzonego przez człowieka, który może być wytwarzany (w przeciwnieństwie do wydobywania) przez pracę i kapitał”. ²⁵

Współcześni ekonomiści nie otrzymują nagród i wyróżnień za zajmowanie się energią, a nowoczesne społeczeństwa martwią się tym dopiero wtedy, gdy podaż jakikolwiek głównej komercyjnej formy energii wydaje się zagrożona, a jej ceny gwałtownie rosną. Google Ngram Viewer, narzędzie, które pozwala

obserwowanie popularności terminów, które pojawiały się w źródłach drukowanych między 1500 a 2019 rokiem, ilustruje tę kwestię: w XX wieku częstotliwość terminu „cena energii” pozostawała dość znikoma, aż do nagłego wzrostu, który rozpoczął się na początku lat 70. (spowodowany pięciokrotny wzrost cen ropy naftowej przez OPEC (szczególnie w dalszej części tego rozdziału) i osiągnęły szczyt na początku lat osiemdziesiątych.

Gdy ceny spadły, nastąpił podobnie gwałtowny spadek, a do 2019 r. termin „cena energii” był wymieniany nie częściej niż w 1972 r.

Zrozumienie, jak naprawdę działa świat, nie może się odbyć bez przynajmniej odrobiny znajomości energii. W tym rozdziale najpierw wyjaśnię, że energia może nie być łatwa do zdefiniowania, ale łatwo nie popełnić powszechnie spotykanego błędu łączenia jej z mocą. Zobaczmy, jak różne formy energii (z ich szczególnymi zaletami i wadami) oraz różne gęstości energii (energia magazynowana na jednostkę masy lub objętości, kluczowa dla magazynowania energii i możliwości przenoszenia) wpłynęły na różne etapy rozwoju gospodarczego, a ja oferuję realistyczną ocenę wyzwań stojących przed postępującą transformacją społeczeństw w coraz mniejszym stopniu opierających się na węglu kopalnym.

Jak zobaczymy, nasza cywilizacja jest tak głęboko uzależniona od paliw kopalnych, że następna transformacja potrwa znacznie dłużej niż większość ludzi myśli.

Czym jest energia?

Jak definiujemy tę podstawową wielkość? Grecka etymologia jest jasna.

Arystoteles, pisząc w swojej Metafizyce, połączył ἔν (w) z ἐργόν (dzieło) i ²⁶ To rozumienie przedmiot jest utrzymywany przez ἐνέργεια. wyposażł wszystkie określone jednostki działań, ruchu i zmiany – niezła charakterystyka potencjału, który ma zostać przekształcony w inne formy, czy to przez podnoszenie, rzucanie, czy palenie.

Przez następne dwa tysiąclecia niewiele się zmieniło. Ostatecznie Izaak Newton (1643-1727) ustanowił fundamentalne prawa fizyczne dotyczące masy, siły i pędu, a jego drugie prawo ruchu umożliwiło wyprowadzenie podstawowych jednostek energii. Używając nowoczesnych jednostek naukowych, 1 dżul to siła 1 niutona – czyli masa 1 kilograma przyspieszona z prędkością 1 m/s ² działając na odległość 1 metr.

²⁷ Ale ta definicja odnosi się tylko do energii kinetycznej (mechanicznej) i pewnościami nie zapewnia intuicyjnego zrozumienia energii we wszystkich jej formach.

Nasze praktyczne rozumienie energii znacznie się poszerzyło w XIX wieku dzięki mnożącym się eksperymentom ze spalaniem [28](#). Doprowadziło to do tego, że nadal jest ruchem. definicja energii: „zdolność do wykonywania pracy” ~~zobacz dalszą wersję tekstu~~, gdy termin „praca” oznacza nie tylko część zainwestowanej pracy, ale, jak to ujął jeden z czołowych fizyków epoki, uogólniony fizyczny „akt wytwarzania zmiana konfiguracji w systemie w opozycji do siły, która opiera się tej zmianie.”

[29](#) Ale to też jest wciąż zbyt newtonowskie, by było intuicyjne.

Nie ma lepszego sposobu, aby odpowiedzieć na pytanie „co to jest energia?” niż odwołując się do jednego z najbardziej wnikliwych fizyków XX wieku – do proteuszowego umysłu Richarda Feynmana, który (w swoich słynnych „Lectures on Physics”) zmierzył się z tym wyzwaniem w sposób bezpośredni, podkreślając, że „energia ma wiele różnych formularze, a dla każdego z nich istnieje formuła.

Są to: energia grawitacyjna, energia kinetyczna, energia cieplna, energia sprężystości, energia elektryczna, energia chemiczna, energia promieniowania, energia jądrowa, energia masy.”

A potem przychodzi ten rozbrajający, ale niewątpliwym wniosek:

Ważne jest, aby zdać sobie sprawę, że w dzisiejszej fizyce nie wiemy, czym jest energia. Nie mamy obrazu, że energia spływa w postaci małych kropelek o określonej ilości. Tak nie jest. Istnieją jednak wzory na obliczenie jakiejś wielkości liczbowej, a gdy ją zsumujemy, to daje... zawsze tę samą liczbę. Jest rzeczą abstrakcyjną, ponieważ nie mówi nam o mechanizmie ani o przyczynach różnych formuł. [30](#)

—

I tak było. Możemy użyć formuł do bardzo dokładnego obliczenia energii kinetycznej poruszającej się strzały lub lecącego samolotu odrzutowego, energii potencjalnej masywnego głazu, który zaraz spadnie z góry, energii cieplnej uwolnionej w wyniku reakcji chemicznej lub energii światła (promieniowania) migoczącej świecy lub zastrzelonej laser – ale nie możemy zredukować tych energii do jednego, łatwego do opisania bytu w naszym umyśle.

Ale śliska natura energii nie niepokoiliła armii natychmiastowych ekspertów: od wczesnych lat siedemdziesiątych, kiedy energia stała się głównym tematem dyskursu publicznego, wyrażali oni opinie na temat energii z ignorancją i gorliwością. Energia jest jedną z najbardziej nieuchwytnych i najbardziej niezrozumiałych koncepcji, a słabe zrozumienie podstawowych rzeczywistości doprowadziło do wielu złudzeń i złudzeń. Jak

Jak widzieliśmy, energia istnieje w różnych formach i aby była dla nas użyteczna, musimy przekształcić jedną jej formę w inną. Ale traktowanie tego wieloaspektowego abstraktu jako monolitu jest normą, tak jakby różne formy energii można było bez wysiłku zastępować.

Niektóre z tych substytucji są stosunkowo łatwe i korzystne.

Wymiana świec (energia chemiczna wosku zamieniana na energię promieniowania) na światła elektryczne zasilane energią elektryczną wytwarzaną przez turbiny parowe (energia chemiczna paliw zamieniana najpierw na ciepło, a następnie na energię elektryczną, która następnie zamieniana jest na energię promieniowania) spowodowała wiele oczywiste korzyści (bezpieczniejszy, jaśniejszy, tańszy, bardziej niezawodny rodzaj energii). Zastąpienie parowych i wysokoprężnych silników kolejowych napędem elektrycznym umożliwiło tańszy, czystszy i szybszy transport: wszystkie eleganckie, szybkie pociągi są elektryczne. Jednak wiele pożądanych substytucji pozostaje droższych lub możliwych, ale realistycznie nieosiągalnych przez jakiś czas lub niemożliwych w wymaganej skali – bez względu na to, jak głośno ich promotorzy wychwalają ich zalety.

Powszechnym przykładem pierwszej kategorii są auta elektryczne: obecnie łatwo dostępne, najlepsze modele są dość niezawodne, ale w 2020 roku wciąż były droższe niż pojazdy o podobnej wielkości napędzane silnikami spalinowymi. Jeśli chodzi o drugą kategorię, jak opiszę szczegółowo w następnym rozdziale, synteza amoniaku potrzebnego do produkcji nawozów azotowych zależy obecnie w dużym stopniu od gazu ziemnego jako źródła wodoru. Wodór może być wytwarzany przez rozkład (elektrolizę) wody, ale ta droga jest prawie pięć razy droższa niż w przypadku, gdy pierwiastek pochodzi z obfitego i niedrogiego metanu – a my jeszcze nie stworzyliśmy przemysłu wodorowego na masową skalę. A dalekobieżny komercyjny lot zasilany energią elektryczną (odpowiednik Boeinga 787 napędzanego naftą z Nowego Jorku do Tokio) jest znakomitym przykładem ostatniej kategorii: jak zobaczymy, jest to konwersja energii, która przez długi czas pozostanie nierealistyczna. nadejdzie czas.

Pierwsza zasada termodynamiki mówi, że żadna energia nie jest tracona podczas konwersji: czy to chemiczna, czy chemiczna podczas trawienia żywności; chemiczna do mechanicznej podczas poruszania mięśni; chemiczna do termicznej podczas spalania gazu ziemnego; termiczny do mechanicznego podczas obracania turbiny; mechaniczny na elektryczny w generatorze; lub elektryczne na elektromagnetyczne, gdy światło oświetla czytaną stronę. Jednak wszystkie konwersje energii ostatecznie skutkują rozproszonym ciepłem niskotemperaturowym: żadna energia nie została utracona, ale jej użyteczność, jej

brak zdolności do wykonywania użytecznej pracy (druga zasada termodynamiki). [31](#)

Wszystkie formy energii można mierzyć w tych samych jednostkach — dżul jest jednostką naukową; kalorie są często wykorzystywane w badaniach żywieniowych. W kolejnym rozdziale, kiedy opiszę ogromne subsydia energetyczne przeznaczone na nowoczesną produkcję żywności, napotkamy prawdziwie egzystencjalną rzeczywistość różnych jakości energii. Produkcja kurczaka wymaga energii, której suma jest kilkakrotnie wyższa niż zawartość energetyczna mięsa jadalnego. Chociaż możemy obliczyć współczynnik subsydiów w kategoriach ilości energii (dżule do / dżule na zewnątrz) – istnieje oczywiście zasadnicza różnica między nakładami a produktami: nie możemy trawić oleju napędowego ani energii elektrycznej, podczas gdy chude mięso z kurczaka jest prawie doskonale strawne. Żywność zawierająca wysoką jakość białko, niezbędny makroskładnik odżywczy, którego nie można zastąpić równą ilością energii z lipidów lub węglowodanów.

Istnieje wiele możliwości wyboru, jeśli chodzi o konwersję energii, niektóre znacznie lepsze niż inne. Wysokie gęstości energii chemicznej w nafcie i oleju napędowym są idealne do lotów międzykontynentalnych i żeglugi, ale jeśli chcesz, aby Twój statek podwodny pozostawała zanurzona podczas przepłynięcia Ocean Spokojny, najlepszym wyborem jest rozszczepienie wzbogaconego uranu w małym reaktorze w [32](#) I z energią elektryczną. Najbardziej niemalże bezpieczna i najtańsza jest produkcja energii elektrycznej, której produkcja wytwarzającą ją teraz przez 90–95 procent czasu, w porównaniu do około 45 procent w przypadku najlepszych morskich turbin wiatrowych i 25 procent w przypadku ogniw fotowoltaicznych nawet w najbardziej słonecznym klimacie – podczas gdy panele słoneczne w Niemczech produkują elektryczność tylko przez około 12 procent czasu.

[33](#)

To prosta fizyka lub elektrotechnika, ale niezwykłe jest to, jak często te realia są ignorowane. Innym częstym błędem jest mylenie energii z mocą, a robi się to jeszcze częściej. Zdradza ignorancję w zakresie podstawowej fizyki, która niestety nie ogranicza się do laickiego użytku. Energia jest skalarem, który w fizyce jest wielkością opisaną tylko przez jego wielkość; objętość, masa, gęstość, czas i prędkość to inne wszechobecne scalarki. Moc mierzy energię na jednostkę czasu, a zatem jest szybkością (w fizyce szybkość mierzy zmianę, zwykle w czasie). Zakłady, które wytwarzają energię elektryczną, są powszechnie nazywane elektrowniami – ale moc to po prostu tempo produkcji energii lub zużycia energii. Moc równa się energii podzielonej przez czas: w jednostkach naukowych jest to waty = dżule/sekundę. Energia równa się mocy pomnożonej przez czas: dżule = waty × sekundy. Jeśli zapalisz małe wotum

świeca w rzymskim kościele może palić się przez 15 godzin, zamieniając energię chemiczną wosku na ciepło (energię cieplną) i światło (energię elektromagnetyczną) o średniej mocy prawie 40 watów.

34

Niestety, nawet publikacje inżynierskie często piszą o „mocy” elektrownia wytwarzająca 1000 MW energii elektrycznej”, ale to niemożliwe. Elektrownia może mieć zainstalowaną (znamionową) moc 1000 megawatów – to znaczy może wytwarzać energię elektryczną w tym tempie – ale robiąc to, generowałaby 1000 megawatogodzin lub (w podstawowych jednostkach naukowych) 3,6 biliona dżuli na godzinę ($1\,000\,000\,000$ watów \times 3600 sekund). Analogicznie, podstawowa przemiana materii dorosłego mężczyzny (energia potrzebna w całkowitym spoczynku do funkcjonowania podstawowych funkcji organizmu) wynosi około 80 watów, czyli 80 dżuli na sekundę; leżąc na brzuchu przez cały dzień 70-kilogramowy mężczyzna nadal potrzebowałby około 7 megadżuli ($80 \times 24 \times 3600$) energii pokarmowej, czyli około 1650 kilokalorii, aby utrzymać temperaturę ciała, pobudzić bijące serce i przeprowadzić niezliczone [35](#) reakcji enzymatycznych.

Ostatnio słabe zrozumienie energii ma zwolenników nowego zielony świat naiwnie wzywający do niemal natychmiastowego przejścia od wstrętnych, zanieczyszczających i ograniczonych paliw kopalnych do lepszej, zielonej i zawsze odnawialnej energii słonecznej. Ale ciekłe węglowody rafinowane z ropy naftowej (benzyna, nafta lotnicza, olej napędowy, pozostałości oleju ciężkiego) mają najwyższą gęstość energetyczną ze wszystkich powszechnie dostępnych paliw, a zatem doskonale nadają się do zasilania wszystkich rodzajów transportu. Oto drabina gęstości (wszystkie stawki w gigadżulach na tonę): drewno suszone powietrzem, 16; węgiel kamienny (w zależności od jakości), 24–30; nafta i olej napędowy, około 46. Pod względem objętości (wszystkie stawki w gigadżulach na metr sześcienny), gęstość energii wynosi tylko około 10 dla drewna, 26 dla dobrego węgla, 38 dla nafty. Gaz ziemny (metan) zawiera tylko 35 MJ/m³ – czyli mniej niż 1/1000 gęstości nafty.

36

Konsekwencje gęstości energii — jak również właściwości fizycznych paliwa — dla transportu są oczywiste. Statki oceaniczne napędzane silnikami parowymi nie spały drewna, ponieważ przy wszystkich innych parametrach drewno opałowe zajęłoby 2,5 razy więcej niż dobry węgiel bitumiczny potrzebny do przeprawy transatlantyckiej (i byłoby co najmniej o 50 procent cięższe), znacznie zmniejszając zdolność do przewozu osób i towarów. Nie może być lotu na gaz ziemny, ponieważ gęstość energetyczna metanu jest o trzy rzędy wielkości mniejsza niż nafty lotniczej, a także lotu na węgiel – różnica gęstości nie jest tak duża, ale węgiel nie popłynąłby z zbiorniki skrzydłowe do silników.

A zalety paliw płynnych wykraczają daleko poza wysoką gęstość energii.

W przeciwnieństwie do węgla, ropa naftowa jest znacznie łatwiejsza do wydobycia (nie ma potrzeby wysyłania górników pod ziemię lub pokaleczonych krajobrazów z dużymi odkrywkami), przechowywania (w zbiornikach lub pod ziemią – ze względu na znacznie wyższą gęstość energii, każda zamknięta przestrzeń może zwykle pomieścić 75% więcej energię jako paliwo płynne niż jako węgiel) i dystrybuowana (międzykontynentalnie przez tankowce i rurociągi, najbezpieczniejszy sposób transportu masy na duże odległości), dzięki czemu jest łatwo dostępna na żądanie. [37](#) Ropa naftowa wymaga rafinacji, aby rozdzielić złożoną mieszaninę węglowodorów na określone paliwa – benzyna jest najlżejsza; resztowy olej opałowy jest najcięższy, ale ten proces daje bardziej wartościowe paliwa do określonych zastosowań, a także wytwarza niezbędne produkty niepaliwowe, takie jak smary.

Smary są potrzebne, aby zminimalizować tarcie we wszystkim, od maszynowego silnika turbowentylatorowego w szerokokadłubowych odrzutowcach po [38](#) Globalnie, miniaturowe łożyska. sektor motoryzacyjny, obecnie z ponad 1,4 miliarda pojazdów jeżdżących po drogach, jest największym konsumentem, a następnie przemysł – z największymi rynkami tekstylnymi, energetycznymi, chemicznymi i spożywczymi – oraz na statkach oceanicznych. Roczne zużycie tych związków przekracza obecnie 120 megaton (dla porównania, globalna produkcja wszystkich olejów jadalnych, od oliwy po sojowy, wynosi obecnie około 200 megaton rocznie), a ponieważ dostępne są alternatywy – syntetyczne smary wykonane z prostszego, ale wciąż często stosowanego oleju oparte na związkach, a nie te pochodzące bezpośrednio z ropy naftowej – są droższe, popyt ten będzie dalej rósł w miarę rozwoju tych branż na całym świecie.

Kolejnym produktem pozyskiwanym z ropy naftowej jest asfalt. Globalny wynik tego czarny i lepki materiał jest teraz rzędu 100 megaton, z czego 85 procent trafia na kostkę brukową (gorące i ciepłe mieszanki asfaltowe), a większość [39](#). Węglowodory mają surowce do wielu ~~jeżeli jesteśmy zielonodrzewi i zdominowani jesteśmy na rynku: jaka~~ zalet i korzyści było przewidywalne – a wręcz nieuniknione – że nasza zależność od ropy naftowej wzrośnie, gdy produkt stanie się bardziej przystępny cenowo i gdy będzie mógł być niezawodnie dostarczany na skalę globalną.

Przejście z węgla na ropę zajęło całe pokolenia.

Komercyjne wydobycie ropy naftowej rozpoczęło się w latach 50. XIX wieku w Rosji, Kanadzie i USA. Studnie wiercone starożytną metodą udarową polegającą na podnoszeniu i upuszczaniu ciężkiego świdra były płytkie, ich codzienne

wydajność była niska, a nafta do lamp (która wypierała olej wielorybi i świece) była

głównym produktem prostej rafinacji ropy naftowej.

[41](#) Nowe

rynki dla rafinowanych produktów olejowych powstały dopiero dzięki powszechnemu zastosowaniu silników spalinowych: najpierw maszyn napędzanych benzyną (cykl Otto) do samochodów osobowych, autobusów i ciężarówek; potem wydajniejsze maszyny Rudolfa Diesela, napędzane cięższą i tańszą frakcją (zgadliście, olej napędowy) i używane przede wszystkim w statkach, ciężarówkach i ciężkich maszynach (więcej na ten temat w [rozdziale 4 o globalizacji](#)). Rozpowszechnianie tych nowych sił napędowych było powolne, a Stany Zjednoczone i Kanada były jedynymi krajami o wysokim wskaźniku posiadania samochodów przed II wojną światową.

Ropa naftowa stała się paliwem globalnym, a ostatecznie najważniejszym na świecie źródło energii pierwotnej, dzięki odkryciom gigantycznych pól naftowych na Bliskim Wschodzie i w ZSRR – i oczywiście także dzięki wprowadzeniu dużych tankowców. Niektóre olbrzymy z Bliskiego Wschodu odwiercono po raz pierwszy w latach 20. i 30. (irański Gachsaran i iracki Kirkuk w 1927, Kuwejcki Burgan w 1937), ale większość z nich odkryto po wojnie, w tym Ghawar (największy na świecie) w 1948, Safaniya w 1951, i Manifa w 1957 r., wszystkie w Arabii Saudyjskiej. Największe sowieckie odkrycia miały miejsce w 1948 r. (Romashkino w Zagłębiu Wołga-Ural) i w 1965 r. (Samotlor na Zachodniej Syberii).

[42](#)

Wzrost i względny odwrót ropy naftowej

Masowe użytkowanie samochodów w Europie i Japonii oraz jednoczesne przechodzenie ich gospodarek z węgla na ropę naftową, a później na gaz ziemny rozpoczęły się dopiero w latach 50. XX wieku, podobnie jak ekspansja handlu zagranicznego i podróży (w tym pierwsze odrzutowce) i wykorzystanie surowców petrochemicznych do syntezy amoniaku i tworzyw sztucznych. Światowe wydobycie ropy naftowej podwoiło się w latach 50., a do 1964 r. ropa przewyższyła węgiel jako najważniejsze paliwo kopalne na świecie, ale chociaż jej wydobycie stale rosło, podaż pozostała wysoka, a ceny spadały. W stałych (skorygowanych o inflację) pieniędzach światowa cena ropy była w 1950 r. niższa niż w 1940 r., niższa w 1960 r. niż w 1950 r. —

[43](#) i jeszcze mniej w 1970 niż w 1960. —

Nic dziwnego, że popyt płynął ze wszystkich sektorów. W rzeczywistości ropa naftowa była tak tania, że nie było zachęt do jej efektywnego wykorzystania: amerykańskie domy w regionach o zimnym klimacie, coraz częściej ogrzewane przez piece olejowe, budowano z pojedynczymi szybami i bez odpowiedniej izolacji ścian;

średnia wydajność amerykańskich samochodów faktycznie spadła w latach 1933-1973; i energochłonne branże nadal działały, stosując nieefektywne procesy.

[44](#) Być może przede wszystkim tempo wymiany starych pieców martenowskich na lepsze piece tlenowe do produkcji stali było znacznie wolniejsze niż w Japonii i Europie Zachodniej.

Pod koniec lat 60. i tak już wysoki amerykański popyt na ropę wzrósł o prawie 25 proc., a globalny popyt wzrósł o prawie 50 proc.

W latach 1965-1973 popyt w Europie prawie się podwoił, a import z Japonii wzrósł około 2,3 razy.

[45](#) Jak wspomniano, nowe odkrycia ropy pokryły ten wzrost popytu, a sprzedaż ropy była zasadniczo taka sama, jak w 1950 r. Był to jednak zbyt dobre, aby przetrwać. W 1950 roku Stany Zjednoczone nadal produkowały około 53 procent światowej ropy; do 1970 roku, chociaż nadal był największym producentem, jego udział spadł do mniej niż 23 procent – i było jasne, że kraj będzie potrzebował zwiększonego importu – podczas gdy Organizacja Krajów Eksportujących Ropę Naftową (OPEC) produkowała 48 procent.

OPEC, utworzony w 1960 r. w Bagdadzie przez zaledwie pięć krajów, aby zapobiec dalszym obniżkom cen, miał czas po swojej stronie: nie był wystarczająco duży, aby się umocnić w latach 60., ale do 1970 r. jego udział w produkcji w połączeniu z odwrotem amerykańskiego wydobycia (które osiągnęło szczyt w 1970 r.), uniemożliwiło zignorowanie jego żądań.[46](#) W kwietniu 1971 roku Irak i Syria zakończyły kontrolę nad ceną, którą utrzymywała od lat 30. XX wieku. W 1971 roku Algieria i Libia zaczęły znacjonalizować swoją produkcję ropy, a Irak w 1972 roku, w tym samym roku, w którym Kuwejt, Katar i Arabia Saudyjska rozpoczęły stopniowe przejmowanie ich pól naftowych, które do tej pory znajdowały się w rękach zagranicznych korporacji. . Następnie w kwietniu 1973 r. Stany Zjednoczone zniosły ograniczenia importu ropy naftowej na wschód od Górz Skalistych. Nagle stał się rynkiem sprzedającym, a 1 października 1973 OPEC podniósł deklarowaną cenę o 16 procent do 3,01 USD za baryłkę, po czym nastąpił dodatkowy 17-procentowy wzrost w sześciu państwach Zatoki Arabskiej, a po zwycięstwie Izraela nad Egiptem na Synaju w W październiku 1973 r. nałożył embargo na cały eksport ropy do USA.

1 stycznia 1974 r. państwa Zatoki Perskiej podniósły deklarowaną cenę do 11,65 USD za baryłkę, co spowodowało 4,5-krotny wzrost kosztów tego podstawowego źródła energii w ciągu jednego roku – i zakończyło to erę gwałtownej ekspansji gospodarczej, która została pobudzona przez tani olej. Od 1950 do 1973 roku zachodnioeuropejski produkt gospodarczy prawie się potroił, a PKB Stanów Zjednoczonych podwoił się w tym jednym pokoleniu. W latach 1973-1975 globalne tempo wzrostu gospodarczego spadło o około 90 proc

gospodarki dotknięte wyższymi cenami ropy zaczęły dostosowywać się do tych nowych realiów – przede wszystkim dzięki imponującej poprawie efektywności energetycznej w przemyśle – upadek monarchii irańskiej i przejęcie Iranu przez fundamentalistyczną teokrację doprowadziły do drugiej fali wzrostu cen ropy, od około 13 dolarów w 1978 r. do 34 dolarów w 1981 r. i do kolejnego 90-procentowego spadku globalnego tempa wzrostu gospodarczego w latach 1979-1982.

47

Ponad 30 dolarów za baryłkę było ceną niszczącą popyt, a do 1986 r. ropa była ponownie sprzedając po zaledwie 13 dolarów za baryłkę, przygotowując grunt pod kolejną rundę globalizacji – tym razem skupioną na Chinach, których szybką modernizację napędzały reformy gospodarcze Deng Xiaopinga i masowe inwestycje zagraniczne. Dwa pokolenia później tylko ci, którzy przeżyli te lata zawirowań cenowych i podażowych (lub ci, którzy coraz rzadziej badali ich wpływ) doceniają traumatyczne przeżycia tych dwóch fal podwyżek.

Konsekwencje wynikającego z tego odwrócenia koniunktury są nadal odczuwalne cztery dekady później, ponieważ gdy zapotrzebowanie na ropę zaczęło rosnąć, wiele środków oszczędzania ropy zostało utrzymanych, a niektóre – zwłaszcza przejście do bardziej wydajnych zastosowań przemysłowych – nadal się nasilały.

48

W 1995 r. wydobycie ropy naftowej ostatecznie przekroczyło rekord z 1979 r., a następnie nadal rosło, zaspokajając zapotrzebowanie reformujących się gospodarczo Chin, a także rosnący popyt w innych częściach Azji – ale ropa nie odzyskała względnej dominacji sprzed 1975 r. ⁴⁹ Jego udział w światowych komercyjnych dostawach energii pierwotnej spadł z 45% w 1970 r. do 38% w 2000 r. i 33% w 2009 r., a teraz jest pewne, że jego dalszy względny spadek będzie kontynuowany wraz ze zużyciem gazu ziemnego oraz energii wiatrowej i słonecznej. produkcja energii elektrycznej stale rośnie. Istnieją ogromne możliwości generowania większej ilości energii elektrycznej za pomocą ogniw fotowoltaicznych i turbin wiatrowych, ale istnieje zasadnicza różnica między systemami, które czerpią 20-40% energii elektrycznej z tych przerywanych źródeł (Niemcy i Hiszpania są najlepszymi przykładami wśród dużych gospodarek) a krajowymi dostawami energii elektrycznej, które są całkowicie uzależnione od tych odnawialnych źródeł energii.

W dużych, zaludnionych krajach całkowite poleganie na tych odnawialnych źródłach energii wymagałoby tego, czego wciąż brakuje: albo masowego, długoterminowego (od dni do tygodni) magazynowania energii elektrycznej, które wspierałoby przerywane wytwarzanie energii elektrycznej, albo rozległych sieci wysokiego napięcia linie do przesyłania energii elektrycznej w różnych strefach czasowych oraz od regionów słonecznych i wietrznych do głównych skupisk miejskich i przemysłowych. Czy te nowe odnawialne źródła energii mogą wytworzyć wystarczającą ilość energii elektrycznej, aby zastąpić nie tylko dzisiejszą generację zasilaną węglem i energią naturalną?

gaz, ale też całą energię dostarczaną obecnie przez paliwa płynne do pojazdów, statków i samolotów w drodze całkowitej elektryfikacji transportu? I czy naprawdę mogliby to zrobić, jak obiecują niektóre plany, w ciągu zaledwie dwóch lub trzech dekad?

Wiele zalet elektryczności

Jeśli energia, według Feynmana, jest „te abstrakcyjną rzeczą”, to elektryczność jest jedną z jej najbardziej abstrakcyjnych form. Nie potrzebujesz naukowego zrozumienia, aby bezpośrednio doświadczyć kilku różnych rodzajów energii, rozróżnić ich formy i skorzystać z ich konwersji. Paliwa stałe lub płynne (energia chemiczna) są namacalne (pień drzewa, bryła węgla, kanister benzyny) i ich spalanie – czy to w pożarach lasów, w jaskiniach paleolitu, w lokomotywach wytwarzających parę, czy w pojazdach mechanicznych —uwalnia ciepło (energię cieplną). Wody spadające i płynące są wszechobecnymi manifestacjami energii grawitacyjnej i kinetycznej, którą dość łatwo można przekształcić w użyteczną (mechaniczną) energię kinetyczną, budując proste drewniane koła wodne — a wszystko, czego potrzeba, aby zamienić energię kinetyczną wiatru w energię mechaniczną do mielenia ziarna lub tłoczenia nasion oleistych, to wiatrak i drewniane koła zębate do przenoszenia ruchu na kamienie młynskie.

Natomiast elektryczność jest niematerialna i nie możemy jej intuicyjnie wyczuć w taki sam sposób, jak robimy z paliwami. Ale jego skutki można zobaczyć w elektryczności statycznej, iskrach, błyskawicach; małe prądy mogą być wyczuwalne, a prądy powyżej 100 miliamperów mogą być śmiertelne. Powszechnie definicje elektryczności nie są instynktownie dostępne, wymagają wcześniejszej znajomości innych terminów funkcjonalnych, takich jak „elektryny”, „przepływ”, „ładunek” i „prąd”. Chociaż Feynman w pierwszym tomie swoich wykładów magisterskich z fizyki był dość pobieżny – „istnieje energia elektryczna, która ma związek z pchaniem i ciągnięciem przez ładunki elektryczne” – kiedy wrócił do tematu szczegółowo w tomie drugim, zajmując się energiami mechanicznymi i elektrycznymi oraz stałymi prądami, zrobił to poprzez zastosowanie rachunku różniczkowego.⁵⁰ Dla większości jego mieszkańców współczesny świat pełen jest czarnych skrzynek, urządzeń, których wewnętrzne działanie pozostaje – w różnym stopniu – zagadką dla użytkowników. Elektryczność można traktować jako wszechobecny i ostateczny system czarnej skrzynki: chociaż wiele osób dość dobrze rozumie, co się dzieje (spalanie paliw kopalnych w dużej elektrowni cieplnej; spadająca woda w

stacja wodna; promieniowanie słoneczne pochłaniane przez ogniwo fotowoltaiczne; rozpad uranu w reaktorze) i wszyscy korzystają z tego, co wychodzi (światło, ciepło, ruch), tylko nieliczni w pełni rozumieją, co dzieje się wewnątrz elektrowni, transformatorów, linii przesyłowych i urządzeń końcowego użytku.

Błyskawica, najczęstsza naturalna demonstracja elektryczności, jest zbyt potężna, zbyt krótkotrwała (tylko ułamek sekundy) i zbyt destrukcyjna, aby (kiedykolwiek?) być wykorzystana do produktywnego użycia. I chociaż każdy może wytworzyć niewielkie ilości elektryczności statycznej, pocierając odpowiednie materiały lub używając małych baterii, które bez konieczności ładowania wystarczą na wiele godzin lekkiej pracy w latarkach i przenośnych urządzeniach elektronicznych, wytwarzanie energii elektrycznej do celów komercyjnych na masową skalę jest kosztowne i skomplikowane przedsięwzięcie. Równie skomplikowana jest jego dystrybucja, skąd jest wytwarzana do miejsc i regionów jej największego wykorzystania – do miast, przemysłu i zelektryfikowanych form szybkiego transportu – wymaga transformatorów i rozległych sieci linii przesyłowych wysokiego napięcia, a po dalszej transformacji, dystrybucja za pomocą przewodów napowietrznych lub podziemnych niskiego napięcia do miliardów konsumentów.

I nawet w epoce cudów zaawansowanych technologicznie, nadal nie jest możliwe magazynowanie energii elektrycznej po przystępnej cenie w ilościach wystarczających do zaspokojenia zapotrzebowania średniej wielkości miasta (500 000 osób) przez tydzień lub dwa lub zasilenia megamiasta (ponad 10 milionów ludzi) przez zaledwie ⁵¹ jedniak pomimo tych komplikacji, wysokich kosztów i wyzwań technicznych, staramy się zelektryfikować nowoczesne gospodarki i to dążenie do coraz większej elektryfikacji będzie kontynuowane, ponieważ ta forma energii łączy w sobie wiele niezrównanych zalet. Najwyraźniej w momencie końcowego zużycia energia elektryczna jest zawsze bezproblemowa i czysta, a przez większość czasu również wyjątkowo wydajna. Wystarczy pstrykniecie przełącznika, naciśnięcie przycisku lub regulacja termostatu (teraz często wymagająca tylko sygnału ręcznego lub polecenia głosowego), światła i silniki elektryczne lub elektryczne nagrzewnice i chłodnice są włączone – bez dużych magazynów paliwa, bez pracochłonnego przenoszenia i podgrzewania, bez niebezpieczeństwa niepełnego spalania (wydzielającego trujący tlenek węgla) oraz bez czyszczenia lamp, pieców i pieców.

Elektryczność jest najlepszą formą energii do oświetlenia: nie ma konkurencji dowolna skala oświetlenia prywatnego lub publicznego, a bardzo niewiele innowacji wywarło taki wpływ na współczesną cywilizację, jak możliwość usunięcia ⁵² Wszystkich ograniczeń światła dziennego i oświetlenia nocy. od starożytnych do współczesnych i lamp naftowych po wczesne przemysłowe lampy gazowe i butle naftowe, były słabe, kosztowne i wysoce nieefektywne. Najbardziej

Wymownym porównaniem źródeł światła jest ich skuteczność świetlna – ich zdolność do wytwarzania sygnału wizualnego, mierzona jako iloraz całkowitego strumienia świetlnego (całkowita ilość energii emitowanej przez źródło w lumenach) i mocy źródła (w watach). Przy ustalaniu skuteczności świetlnej świec na 1, lampy na gaz węglowy we wczesnych miastach przemysłowych wytwarzają 5-10 razy więcej; przed I wojną światową żarówki elektryczne z żarnikiem wolframowym emitowały do 60 razy więcej; najlepsze dzisiejsze lampy fluorescencyjne wytwarzają około 500 razy więcej; a lampy sodowe (stosowane do oświetlenia zewnętrznego) są do 1000 razy bardziej skuteczne.⁵³

Nie da się zdecydować, która klasa konwerterów energii elektrycznej miała większy wpływ — światła czy silniki. Konwersja elektryczności w energię kinetyczną przez silniki elektryczne najpierw zrewolucjonizowała prawie każdy sektor produkcji przemysłowej, a później przeniknęła do każdej niszy gospodarstwa domowego. Mniej wymagające zadania ręczne oraz te, które wykorzystywały silniki parowe do podnoszenia, prasowania, cięcia, tkania i innych operacji przemysłowych, zostały prawie całkowicie zelektryfikowane. W USA miało to miejsce w ciągu zaledwie czterech dekad po wprowadzeniu pierwszych silników elektrycznych prądu przemiennego.

⁵⁴ Do 1930 r. napęd elektryczny prawie podwoił się w Ameryce wydajność produkcji i zrobiła to ponownie pod koniec lat sześćdziesiątych. ⁵⁵ Równolegle silniki elektryczne zaczęły stopniowo podbijać transport kolejowy, zaczynając od elektrycznych tramwajów, a następnie pociągów pasażerskich.

Sektor usług dominuje obecnie we wszystkich nowoczesnych gospodarkach, a jego funkcjonowanie jest całkowicie zależny od energii elektrycznej. Silniki elektryczne napędzają windy i schody ruchome, budynki klimatyzowane, otwarte drzwi i kompaktowe śmieci. Są również niezastąpione w e-commerce, ponieważ zasilają labirynty taśmociągów w gigantycznych magazynach. Ale najbardziej wszechobecne jednostki nigdy nie są widziane przez ludzi, którzy na co dzień polegają na nich. Są to małe jednostki, które uruchamiają wibratory do telefonów komórkowych: najmniejsze mierzą mniej niż 4 mm × 3 mm, a ich szerokość jest mniejsza niż połowa szerokości małego paznokcia przeciętnego dorosłego. Możesz go zobaczyć tylko po rozmontowaniu telefonu lub oglądając wideo z tej operacji w Internecie. ⁵⁶ W niektórych krajach praktycznie cały transport kolejowy jest obecnie zelektryfikowany, a wszystkie pociągi dużych prędkości (do 300 km/h) są napędzane albo lokomotywami elektrycznymi, albo silnikami zamontowanymi w wielu miejscach, jak ma to miejsce w przypadku japońskiego ⁵⁷ A nawet podstawowe modele samochodów, które są obecnie pionierami w firmie Shinkansen wprowadzone na rynek w 1964 roku. mają od 20 do 40 małych silników elektrycznych, a wiele droższych

samochody — zwiększając wagę pojazdu i zwiększając zużycie jego akumulatorów.

⁵⁸ W gospodarstwach domowych, pozaświetleniem i zasilaniem wszystkich urządzeń elektrycznych, obecnie powszechnie obowiązujących systemy bezpieczeństwa – elektryczność dominuje nad zadaniami mechanicznymi i dostarcza zarówno ciepło, jak i chłodzenie w kuchniach oraz energię do podgrzewania wody, a także do ogrzewania wielu domów. ⁵⁹

Bez elektryczności woda pitna we wszystkich miastach, a także płynne i gazowe paliwa kopalne wszędzie, byłyby niedostępne. Pompy elektryczne o dużej mocy dostarczają wodę do sieci miejskiej i mają szczególnie wymagające zadanie w miastach o dużym zagęszczeniu budynków komercyjnych i mieszkalnych. ⁶⁰ Silniki elektryczne napędzają całe paliwo tam, wysokość. pompy potrzebne do pompowania benzyny, gdzie woda musi być podnoszona na dużą skrzydła.

I chociaż w gazociągach dystrybucyjnych może być dużo gazu ziemnego — turbiny gazowe są często wykorzystywane do transportu paliwa — w Ameryce Północnej, gdzie dominuje ogrzewanie wymuszonym obiegem powietrza, małe silniki elektryczne napędzają wentylatory, które przepychają powietrze ogrzewane gazem ziemnym przez kanały. ⁶¹ Długofalowy trend w kierunku elektryfikacji społeczeństw (rosnący udział

paliw przetworzonych na energię elektryczną, a nie zużywanych bezpośrednio) był niewątpliwym. Nowe odnawialne źródła energii — energia słoneczna i wiatrowa, w przeciwieństwie do hydroelektrowni, której początki sięgają 1882 roku — z łatwością przyczyniają się do tego postępu, ale historia wytwarzania energii elektrycznej przypomina nam, że temu procesowi towarzyszy wiele komplikacji i złożoności; i że pomimo swojego głębokiego i rosnącego znaczenia, energia elektryczna nadal dostarcza jedynie stosunkowo niewielką część końcowego światowego zużycia energii, zaledwie 18 procent.

Zanim przełączysz przełącznik

Musimy cofnąć się do początków branży, aby docenić jej fundamenty, infrastrukturę i spuściznę tych 140 lat rozwoju.

Komercyjne wytwarzanie energii elektrycznej rozpoczęło się w 1882 roku, z trzema pierwszymi. Dwie z nich to pionierskie elektrownie węglowe zaprojektowane przez Thomasa Edisona (Holborn Viaduct w Londynie rozpoczęły działalność w styczniu 1882; stacja Pearl Street w Nowym Jorku we wrześniu 1882), a trzecia była pierwszą elektrownią wodną (na rzece Fox River). w Appleton, Wisconsin, również

generowanie od września 1882). ⁶² Generacja zaczęła szybko się rozwijać w latach 90. XIX wieku, kiedy transmisja prądu przemiennego (AC) dominowała nad istniejącymi sieciami prądu stałego i kiedy nowe konstrukcje prądu przemiennego

silniki zaczęły być przyjmowane przez przemysł i gospodarstwa domowe. W 1900 r. mniej niż 2 procent światowej produkcji paliw kopalnych było wykorzystywane do wytwarzania energii elektrycznej; do 1950 r. udział ten nadal wynosił mniej niż 10 procent; obecnie wynosi około 25 [63](#) proc.

Jednoczesna rozbudowa mocy hydroelektrycznej przyspieszona w okresie

lata 30. XX wieku, z dużymi projektami finansowanymi przez państwo w USA i ZSRR, a po drugiej wojnie światowej osiągnęły nowe szczyty, których kulminacją była budowa rekordowych projektów w Brazylii (Itaipu, ukończone w 2007 r., 14).

gigawatów) i Chin (Three Gorges, ukończony w 2012 r., 22,5 gigawatów). [64](#)

W międzyczasie rozszczepienie jądrowe zaczęło generować komercyjną energię elektryczną w 1956 r. w brytyjskiej Calder Hall, największy wzrost nastąpił w latach 80., a szczyt osiągnął w 2006 r. i od tego czasu nieznacznie spadła do około 10 procent światowej produkcji energii elektrycznej. [65](#)

Wytwarzanie wody stanowiło w 2020 r. prawie 16 procent; wiatr i słońce dodały prawie 7 procent; reszta (około dwie trzecie) pochodziła z dużych stacji centralnych zasilanych głównie węglem i gazem ziemnym.

Nic dziwnego, że zapotrzebowanie na energię elektryczną rośnie znacznie szybciej niż zapotrzebowanie na całą inną energię komercyjną: w ciągu 50 lat między 1970 a 2020 rokiem globalna produkcja energii elektrycznej wzrosła pięciokrotnie, podczas gdy produkcji obciążenia podstawowego ~~gakaziat przekształcającą energię pieczoły~~ [66](#) pozostała minimalna ilość energii elektrycznej, która musi być dostarczana codziennie, co miesiąc lub co rok – została dodatkowo zwiększa w miarę jak coraz większy odsetek ludności przenosi się do miast. Kilkadziesiąt lat temu popyt w Ameryce był najniższy w letnie noce, kiedy sklepy i fabryki były zamknięte, transport publiczny zamknięty, a prawie niewielka część populacji śpi z otwartymi oknami.

Teraz okna są zamknięte, a klimatyzatory szumią w nocy, aby umożliwić spanie w upalną, parną pogodę; w dużych miastach i megamiasbach wiele fabryk działa na dwie zmiany, a wiele sklepów i lotnisk jest otwartych 24 godziny na dobę. Tylko COVID-19 zatrzymał nowojorskie metro działające 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu, a metro w Tokio śpi zaledwie pięć godzin (pierwszy pociąg ze stacji Tokyo [67](#) Satellite do Shinjuku odjeżdża o 5:16, ostatni o 0:20), nocne zdjęcia wykonane w odstępie kilku lat pokazują, jak światła ulic, parkingów i budynków świecą coraz jaśniej na coraz większych obszarach, które często łączą się z pobliskimi miastami, tworząc ogromne, oświetlone konurbacje. [68](#)

Bardzo wysoka niezawodność dostaw energii elektrycznej — menedżerowie sieci mówią o celowości osiągnięcia sześciu dziesiątek: przy niezawodności 99,9999% przerwa w dostawie energii wynosi tylko 32 sekundy w ciągu roku! — jest niezbędna w społeczeństwach

gdzie elektryczność zasila wszystko, od świąteł (czy to w szpitalach, wzduż pasów startowych, czy w celu wskazania ewakuacji awaryjnych) po maszyny płuco-serce i 69 Jeśli pandemia zakłócenia, udręka i nieuniknione COVID-19 spowodują całkowite przerwane dostawy, kiedykolwiek kilku dni poważnie zmniejszonych dostaw energii elektrycznej w każdym gęsto zaludnionym regionie, a jeśli przedłużyłoby się o tygodnie w całym kraju, byłoby to katastrofalne wydarzenie o bezprecedensowych konsekwencjach.

[70](#)

Dekarbonizacja: tempo i skala

W skorupie ziemskiej nie brakuje zasobów paliw kopalnych, nie ma niebezpieczeństwa nieuchronnego wyczerpania się węgla i węglowodorów: na poziomie wydobycia w 2020 r. rezerwy węgla wystarczą na około 120 lat, rezerwy ropy i gazu na około 50 lat i kontynuacja poszukiwań przeniosłaby ich więcej z zasobów do kategorii rezerw (opłacalnych technicznie i ekonomicznie). Poleganie na paliwach kopalnych stworzyło współczesny świat, ale obawy związane ze stosunkowo szybkim tempem globalnego ocieplenia doprowadziły do powszechnych wezwań do jak najszybszego wyeliminowania węgla kopalnego. Idealnie, dekarbonizacja globalnych dostaw energii powinna przebiegać wystarczająco szybko, aby ograniczyć średnie globalne ocieplenie do nie więcej niż 1,5°C (w najgorszym przypadku 2°C). Według większości modeli klimatycznych oznaczałoby to zmniejszenie globalnej emisji CO₂ netto do zera do 2050 r. i utrzymanie ich ujemnych wartości przez resztę stulecia.

Zwróć uwagę na kluczowy przyimionek kwalifikujący: celem nie jest całkowita dekarbonizacja ale „zero netto” lub neutralność pod względem emisji dwutlenku węgla. Definicja ta pozwala na skompensowanie ciągłych emisji poprzez (jeszcze nieistniejące!) usuwanie CO₂ z atmosfery na dużą skalę i jego trwałe składowanie pod ziemią, lub przez takie środki tymczasowe, jak masowe sadzenie drzew.

[71](#) Do 2020 r. ustalenie

celów zerowych netto na lata kończące się na pięć lub zero stało się grą dla mnie: do składu dołączyło ponad 100 narodów, od Norwegii w 2030 i Finlandii w 2035 po całą Unię Europejską, a także Kanada, Japonia i RPA w 2050 r. oraz Chiny (największy światowy konsument paliw kopalnych) w 2060 r.

[72](#) Biorąc pod uwagę fakt, że roczna emisja CO₂ ze spalania paliw kopalnych przekroczyła 37 miliardów ton w 2019 r., cel zerowy netto do 2050 r.

wzywają do transformacji energetycznej bezprecedensowej zarówno pod względem tempa, jak i skali. Bliższe spojrzenie na jego kluczowe elementy ujawnia skalę wyzwań.

Dekarbonizacja wytwarzania energii elektrycznej może poczynić najszybsze postępy, ponieważ koszty instalacji na jednostkę mocy słonecznej lub wiatrowej mogą teraz konkurować z najtańszymi rozwiązaniami opartymi na paliwach kopalnych, a niektóre kraje już w znacznym stopniu przekształciły swoją produkcję. Wśród dużych gospodarek najbardziej godnym uwagi przykładem są Niemcy: od 2000 r. 10-krotnie zwiększyły swoją moc wiatrową i słoneczną oraz podniosły udział odnawialnych źródeł energii (wiatr, energia słoneczna i wodna) z 11 do 40 procent całkowitej produkcji. Niestabilność energii elektrycznej z wiatru i słońca nie stanowi problemu, o ile te nowe odnawialne źródła energii dostarczają stosunkowo niewielką część całkowitego popytu lub tak długo, jak wszelkie niedobory można uzupełnić importem.

W rezultacie wiele krajów wytwarza obecnie do 15 procent całej energii elektrycznej z nieciągłych źródeł bez większych korekt, a Dania pokazuje, jak stosunkowo mały i dobrze połączony rynek może osiągnąć znacznie wyższe poziomy. a ten wyjątkowo wysoki udział można utrzymać 73. Maż 2012 rok to 44 proc. produkcji energii elektrycznej, pochodzącej z elektrowni jądrowych, można łatwo uzupełnić importem ze Szwecji (energia wodna i jądrowa) i Niemiec (energia elektryczna pochodząca z wielu źródeł). Niemcy nie mogą zrobić tego samego: ich zapotrzebowanie jest ponad 20 razy większe niż całkowite duńskie, a kraj musi utrzymać wystarczającą rezerwę mocy, która może zostać uruchomiona, gdy nowe 74 odnawialne źródła energii będą uśpione.

— W 2019 r. Niemcy wyprodukowały 577 terawatogodzin energii elektrycznej, o niecałe 5 proc. więcej niż w 2000 r., ale ich zainstalowana moc produkcyjna wzrosła o około 73 proc. (ze 121 do około 209 gigawatów). Powód tej rozbieżności jest oczywisty.

W 2020 roku, dwie dekady po rozpoczęciu Energiewende, jego celowo przyspieszona transformacja energetyczna, Niemcy nadal musiały zachować większość swoich mocy opalanych paliwami kopalnymi (w rzeczywistości 89 procent), aby zaspokoić zapotrzebowanie w pochmurne i spokojne dni. Przecież w ponurych Niemczech generacja fotowoltaiczna pracuje średnio tylko 11-12 proc. czasu, a spalanie paliw kopalnych nadal wytwarzało blisko połowę (48 proc.) całej energii elektrycznej w 2020 roku. , jego budowa nowych linii wysokiego napięcia do przesyłania tej energii elektrycznej z wietrznej północy do południowych regionów o dużym zapotrzebowaniu została opóźniona. A w Stanach Zjednoczonych, gdzie potrzebne byłyby znacznie większe projekty przesyłowe, aby przenieść energię elektryczną z wiatru z Wielkich Równin i energię słoneczną z południowego zachodu do obszarów przybrzeżnych o wysokim popycie.

obszarów, prawie nie zrealizowano wieloletnich planów budowy tych powiązań.

[75](#) Choć takie rozwiązania są trudne, opierają się na dojrzałych technicznie rozwiązaniach

(i wciąż ulepszane) rozwiązania – czyli na bardziej wydajnych ogniwach fotowoltaicznych, dużych lądowych i morskich turbinach wiatrowych oraz przesyłu wysokiego napięcia (w tym prądu stałego na duże odległości). Gdyby koszty, procesy wydawania pozwoleń, a nie nastroje „na moim podwórku” nie były przeszkodą, techniki te można by wdrożyć dość szybko i ekonomicznie. Co więcej, problemy nieciągłości wytwarzania energii słonecznej i wiatrowej można by rozwiązać poprzez ponowne uzależnienie od wytwarzania energii jądrowej. Renesans jądrowy byłby szczególnie pomocny, gdybyśmy nie mogli wkrótce opracować lepszych sposobów magazynowania energii elektrycznej na dużą skalę.

Potrzebujemy bardzo dużych (wielogigawatogodzin) magazynów dla dużych miast i megamiast, ale jak dotąd jedyną realną opcją ich obsługi jest elektrownia szczytowo-pompowa (PHS): wykorzystuje tańską nocną energię elektryczną do pompowania wody z nisko położonego zbiornika do wysoko położonego magazynu, a jego zrzut zapewnia generacji pompowania. ~~możemy to zrobić~~⁷⁶. Dostępna jest również elektrownia wiatrowa, ale oczywiście PHS może działać tylko w miejscach o odpowiednich różnicach wysokości, a operacja zużywa około jednej czwartej wytworzonej energii elektrycznej na pompowanie wody pod górem. Inne magazyny energii, takie jak akumulatory, sprężone powietrze i superkondensatory, wciąż mają pojemność o rzędy wielkości mniejszą niż wymagają tego duże miasta, nawet na jeden dzień przechowywania.

[77](#)

Natomiast nowoczesne reaktory jądrowe, jeśli są odpowiednio zbudowane i starannie obsługiwane, oferują bezpieczne, długotrwałe i wysoce niezawodne sposoby wytwarzania energii elektrycznej; jak już wspomniano, są w stanie działać przez ponad 90 procent czasu, a ich żywotność może przekroczyć 40 lat. Jednak przyszłość wytwarzania energii jądrowej pozostaje niepewna. Tylko Chiny, Indie i Korea Południowa są zaangażowane w dalszą rozbudowę swoich mocy produkcyjnych. Na Zachodzie połączenie wysokich kosztów kapitałowych, poważnych opóźnień w budowie i dostępności tańszych rozwiązań (gaz ziemny w USA, energia wiatrowa i słoneczna w Europie) sprawiło, że nowe zdolności do rozszczepiania są nieatrakcyjne. Co więcej, nowe, małe, modułowe i z natury bezpieczne reaktory w Ameryce (po raz pierwszy zaproponowane w latach 80.) nie zostały jeszcze skomercjalizowane, a Niemcy, z decyzją o rezygnacji z całej produkcji jądrowej do 2022 r., są tylko najbardziej oczywistym przykładem szeroko rozpowszechnionego w Europie, głębokie nastroje antynuklearne (ocena realnych zagrożeń związanych z wytwarzaniem energii jądrowej, zob. [rozdział 5](#)).

Ale to może nie trwać długo: nawet Unia Europejska zdaje sobie teraz sprawę, że nie mogłaby zbliżyć się do swojego niezwykle ambitnego celu w zakresie dekarbonizacji bez reaktorów jądrowych. Jego scenariusze zerowej emisji netto do 2050 r. odsuwają na bok trwającą od dziesięcioleci stagnację i zaniedbania przemysłu jądrowego i przewidują, że do 20 procent całego zużycia energii pochodzi z rozszczepienia jądrowego.⁷⁸ Zauważ, że odnosi się to do całkowitego zużycia energii pierwotnej, a nie tylko do energii elektrycznej.— Elektryczność stanowi zaledwie 18% całkowitego końcowego światowego zużycia energii, a dekarbonizacja ponad 80% końcowego zużycia energii – przez przemysł, gospodarstwa domowe, handel i transport – będzie jeszcze większym wyzwaniem niż dekarbonizacja wytwarzania energii elektrycznej.

Rozszerzone wytwarzanie energii elektrycznej może być wykorzystywane do ogrzewania pomieszczeń i wielu procesów przemysłowych, które obecnie opierają się na paliwach kopalnych, ale przebieg dekarbonizacji nowoczesnego transportu dalekobieżnego pozostaje niejasny.

Jak szybko będziemy latać międzykontynentalnie odrzutowcem szerokokadłubowym napędzanym przez? baterie? Nagłówki wiadomości zapewniają nas, że przyszłość lotu jest elektryczna – wzruszająco ignorując ogólną różnicę między gęstością energii nafty spalonej przez turbowentylatory a najlepszymi obecnie akumulatorami litowo-jonowymi (Li-ion), które byłyby na pokładach tych hipotetycznych elektrycznych samolotów. Silniki turbowentylatorowe napędzające odrzutowce spalają paliwo, którego gęstość energii wynosi 46 megadżuli na kilogram (to prawie 12 000 watogodzin na kilogram), przekształcając energię chemiczną w energię cieplną i kinetyczną — podczas gdy najlepsze dzisiejsze akumulatory litowo-jonowe dostarczają mniej niż 300 Wh/kg, czyli więcej niż 40-krotna różnica.⁷⁹ Wprawdzie silniki elektryczne są mniej więcej dwa razy wydajniejszymi konwerterami energii niż turbiny gazowe, a zatem efektywna ~~latająca~~ gęstość energii akumulatorów mniej więcej się potroiła, a nawet gdybyśmy potroili tę liczbę, w 2050 r. gęstość nadal byłaby znacznie niższa niż 3000 Wh/kg, czyli znacznie mniej niż samolot szerokokadłubowy z New. Z Yorku do Tokio lub z Paryża do Singapuru, co robimy codziennie od dziesięcioleci z Boeingami i Airbusami napędzanymi naftą.⁸⁰

Co więcej (jak zostanie wyjaśnione w [rozdziale 3](#)), nie mamy łatwych do zastosowania alternatyw na skalę komercyjną, aby energetyzować produkcję czterech materialnych filarów współczesnej cywilizacji wyłącznie za pomocą elektryczności. Oznacza to, że nawet przy obfitych i niezawodnych dostawach energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych musielibyśmy opracować nowe procesy na dużą skalę do produkcji stali, amoniaku, cementu i tworzyw sztucznych.

Nic dziwnego, że dekarbonizacja poza wytwarzaniem energii elektrycznej postępuje powoli. Niemcy wkrótce będą generować połowę energii elektrycznej z

odnawialne źródła energii, ale w ciągu dwóch dekad Energiewende udział paliw kopalnych w dostawach energii pierwotnej w kraju spadł tylko z około 84 procent do 78 procent: Niemcom podobają się nieograniczone prędkości na autostradach i częste loty międzykontynentalne, a niemiecki przemysł szumi na gazie ziemnym i oleju. 81 Jeśli kraj powtórzy swoje przeszłe rekordy, to w 2040 r. jego zależność od paliw kopalnych nadal będzie bliska 70 proc.

A co z krajami, które nie promują odnawialnych źródeł energii nadzwyczajnymi kosztami? Najlepszym przykładem jest Japonia: w roku 2000 około 83 procent jej pierwotnej energii pochodziło z paliw kopalnych; w 2019 r. ten udział (ze względu na utratę energetyki jądrowej po Fukushima i konieczność większego importu paliw)

węgiel – zastąpiony gazu naturalnym i jednostkowymi elektrowniami jądrowymi i wodospadowymi o pojemności dostawach energii pierwotnej w 2019 r. nadal wynosił 80 procent.

Tymczasem udział paliw kopalnych w Chinach spadł z 93 procent w 2000 roku do 85 procent w 2019 roku – ale temu względnemu spadkowi towarzyszył niemal potrojenie krajowego popytu na paliwa kopalne. Wzrost gospodarczy Chin był głównym powodem, dla którego światowe zużycie paliw kopalnych wzrosło o około 45 procent w ciągu pierwszych dwóch dekad XXI wieku i dlaczego pomimo rozległej i kosztownej ekspansji energii odnawialnej, udział paliw kopalnych w światowej podaży energii pierwotnej spadła tylko nieznacznie, z 87 procent do około 84 procent.

83

Roczne światowe zapotrzebowanie na węgiel kopalny wynosi obecnie nieco ponad 10 miliardów ton rocznie — masa prawie pięciokrotnie większa niż niedawne roczne zbiory wszystkich podstawowych zboż karmiących ludzkość i ponad dwukrotnie większa od całkowitej masy wody wypijanej rocznie przez prawie 8 miliardów mieszkańców świata — i powinno być oczywiste, że przemieszczenie i zastąpienie takiego masa nie jest czymś, co najlepiej radzi sobie z celami rządowymi przez lata kończące się na zero lub pięć. Zarówno wysoki względny udział, jak i skala naszego uzależnienia od węgla kopalnego uniemożliwiają jakiekolwiek szybkie zastąpienia: nie jest to stronnicze, osobiste wrażenie wynikające ze słabego zrozumienia globalnego systemu energetycznego – ale realistyczny wniosek oparty na realiach inżynierijnych i ekonomicznych.

W przeciwieństwie do niedawnych pospiesznych deklaracji politycznych, te realia zostały dostrzeżone przez wszystkie starannie przemyślane scenariusze długoterminowego zaopatrzenia w energię. Scenariusz określonych polityk opublikowany przez Międzynarodową Agencję Energetyczną (IEA) w 2020 r. przewiduje spadek udziału paliw kopalnych z 80% całkowitego światowego popytu w 2019 r. do 72% do 2040 r., podczas gdy Scenariusz Zrównoważonego Rozwoju MAE (najagresywniejsza dekarbonizacja

dotychczasowy scenariusz, pozwalający na znacznie przyspieszoną globalną dekarbonizację) przewiduje, że paliwa kopalne będą dostarczać 56% światowego zapotrzebowania na energię pierwotną do 2040 r., co sprawia, że jest wysoce nieprawdopodobne, aby ten wysoki udział mógł zostać zmniejszony do zera w ciągu jednej dekady. [84](#)

Z pewnością zamożny świat – biorąc pod uwagę jego bogactwo, możliwości techniczne, wysoki poziom konsumpcji per capita i towarzyszący temu poziom marnotrawstwa – może podjąć imponujące i stosunkowo szybkie kroki dekarbonizacyjne (mówiąc wprost, powinno to wystarczyć przy mniejszym zużyciu energii uprzejmym). Ale tak nie jest w przypadku ponad 5 miliardów ludzi, których zużycie energii stanowi ułamek tych zamożnych poziomów, którzy potrzebują znacznie więcej amoniaku, aby zwiększyć plony, aby wyżywić rosnącą populację, oraz znacznie więcej stali, cementu i tworzyw sztucznych do budowy ich podstawowa infrastruktura. **To, czego potrzebujemy, to dążenie do stałego zmniejszania naszej zależności od energii, które stworzyły współczesny świat.** Nadal nie znamy większości szczegółów tej nadchodzącej przemiany, ale jedno pozostaje pewne: nie będzie to (nie może być) nagłego porzucenia kopalnego węgla, ani nawet jego gwałtownego zaniku – ale raczej jego stopniowego zanikania. [85](#)

—



2. Zrozumienie produkcji żywności

Spożywanie paliw kopalnych

Zapewnienie wystarczającej ilości i różnorodności odżywcznej pożywienia jest egzystencjalnym imperatywem dla każdego gatunku. Podczas swojej długiej ewolucji nasi przodkowie hominów rozwinęli kluczowe zalety fizyczne – postawę wyprostowaną, dwunożność i stosunkowo duże mózgi – które odróżniały ich od ich małych przodków. Ta kombinacja cech pozwoliła im stać się lepszymi padlinożercami, kolekcjonerami roślin i łowcami małych zwierząt.

Wczesne homininy miały tylko najprostsze narzędzia kamienne (młoty, siekacze), które były przydatne do rzeźni zwierząt, ale nie mieli żadnych artefaktów ułatwiających polowanie i łapanie. Mogły z łatwością zabijać zranione lub chore zwierzęta i małe, wolniej poruszające się ssaki, ale większość mięsa większej ofiary pochodziła z padlinożerców dokonanych przez dzikie drapieżniki. ¹ Ostatecznie długich włóczni, toporów, łuków i strzał, tkanych sieci, koszy i wędekk Umożliwiło polowanie i łowienie szerokiej gamy gatunków. Niektóre grupy — zwłaszcza łowcy mamutów z górnego paleolitu (okres ten zakończył się około 12 000 lat temu) — opanowały rzeź dużych zwierząt, podczas gdy wielu mieszkańców wybrzeża zostało znakomitymi rybakami: niektórzy używali nawet łodzi do zabijania małych migrujących wielorybów.

Przejście od żerowania (polowania i zbierania) do osiadłego trybu życia, wspierane przez wczesne rolnictwo i udomowienie kilku gatunków ssaków i ptaków, zaowocowało ogólnie bardziej przewidywalnym, ale nadal często zawodnym źródłem żywności, które było w stanie utrzymać znacznie wyższe zagięszczanie populacji niż miało to miejsce w przypadku wcześniejszych grup – ale niekoniecznie oznaczało to lepsze przeciętne odżywianie. Żerowanie w suchych środowiskach może wymagać obszaru ponad 100 kilometrów kwadratowych, aby utrzymać jedną rodzinę. Dla dzisiejszych londyńczyków to mniej więcej odległość od Pałacu Buckingham do Wyspy Psów; dla nowojorczyków w ten sposób mewa leci z czubka Manhattanu do środka Central Parku: dużo ziemi do pokonania, aby przeżyć.

W bardziej produktywnych regionach gęstość zaludnienia może wzrosnąć do 2-3 osób na 100 hektarów (co odpowiada około 140 standardowym boiskom piłkarskim). [2](#)
Jedynymi społecznościami żerowniczymi o wysokim zagęszczeniu populacji były grupy przybrzeżne (zwłaszcza na północno-zachodnim wybrzeżu Pacyfiku), które miały dostęp do corocznych migracji ryb i wielu możliwości polowania na ssaki wodne: niezawodne dostawy wysokobiałkowego, wysokotłuszczowego pokarmu pozwoliły niektórym z nich przenieść się na siedzący tryb życia w dużych komunalnych drewnianych domach i pozostawić im wolny czas na rzeźbienie imponujących totemów. W przeciwnieństwie do tego, wczesne rolnictwo, w którym zbierano dopiero co udomowione plony, oznaczało, że można było wyżywić więcej niż jedną osobę na hektar ziemi uprawnej.

W przeciwnieństwie do zbieraczy, którzy mogli zebrać dziesiątki dzikich gatunków, praktycy wczesnego rolnictwa musieli zawężić różnorodność uprawianych roślin, ponieważ kilka podstawowych upraw (pszenica, jęczmień, ryż, kukurydza, rośliny strączkowe, ziemniaki) dominowało w typowych, w przeważającej mierze roślinach. oparte na diecie – ale te uprawy mogą utrzymać gęstość populacji o dwa lub trzy rzędy wielkości większą niż w społeczeństwach koczowniczych. W starożytnym Egipcie gęstość zaludnienia wzrosła z około 1,3 osoby na hektar ziemi uprawnej w okresie przeddynastycznym (przed 3150 p.n.e.) do około [2,5](#) osób na hektar 3500 lat później, kiedy to kraj w potrzebie był prowincją Imperium Rzymskie. obszar kwadratowych, aby wyżywić jedną osobę – lub prawie ~~do poziomu rzędu 4000 metrów~~ 4000 metrowych. Ale ta wysoka gęstość produkcji była (ze względu na niezawodne coroczne zalewanie Nilu) wyjątkowo dobrą wydajnością.

Z biegiem czasu i bardzo powoli, przedindustrialne tempo produkcji żywności rosło jeszcze wyżej, ale stawki 3 osób na hektar osiągnięto dopiero w XVI wieku, a dopiero potem w intensywnie uprawianych regionach Chin Ming; w Europie do XVIII wieku utrzymywały się poniżej 2 osób na hektar.

Ta stagnacja, a przynajmniej bardzo powolny wzrost zdolności żywieniowych w ciągu długiej historii przedindustrialnej oznaczała, że jeszcze kilka pokoleń temu tylko niewielka część dobrze odżywionych elit nie musiała się martwić o wystarczającą ilość jedzenia. Nawet podczas sporadycznych lat ponadprzeciętnych zbiorów, typowe diety pozostawały monotonne, a niedożywienie i niedożywienie były powszechne. Zbiory mogły się nie udać, a plony były często niszczone w wojnach — głód był na porządku dziennym. W rezultacie żadna niedawna transformacja – taka jak zwiększoną mobilność osobista czy większy zakres własności prywatnej – nie była tak egzystencjalnie fundamentalna, jak nasza zdolność do produkowania rok po roku nadmiaru żywności. Obecnie większość ludzi w krajach zamożnych i o średnich dochodach martwi się, co (i ile) najlepiej jeść, aby utrzymać lub

poprawić ich zdrowie i przedłużyć ich długowieczność, a nie czy starczy im na przeżycie.

Nadal istnieje znaczna liczba dzieci, młodzieży i dorosłych, którzy: doświadczają niedoborów żywności, szczególnie w krajach Afryki Subsaharyjskiej, ale w ciągu ostatnich trzech pokoleń ich całkowita liczba spadła z większości na świecie do mniej niż 1 na 10 mieszkańców świata. Organizacja Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) szacuje, że światowy udział osób niedożywionych spadł z około 65 procent w 1950 roku do 25 procent w 1970 roku i około 15 procent w 2000 roku.

Ciągła poprawa (z wahaniem spowodowanymi tymczasowymi niepowodzeniami krajowymi lub regionalnymi spowodowanymi klęskami żywiołowymi lub konfliktami zbrojnymi) obniżała wskaźnik do 8,9% do 2019 r., co oznacza, że rosnąca produkcja żywności zmniejszyła wskaźnik niedo żywienia z 2 na 3 osoby w 1950 r. do 1 na 11. do 2019 roku. [4](#)

To imponujące osiągnięcie jest jeszcze bardziej godne uwagi, jeśli wyrażone jest w sposób, który odpowiada za interweniujący wzrost światowej populacji na dużą skalę, z około 2,5 miliarda ludzi w 1950 roku do 7,7 miliarda w 2019 roku. **Gwałtowne zmniejszenie globalnego niedo żywienia oznacza, że w 1950 roku świat był w stanie dostarczyć odpowiednią żywość dla około 890 milionów ludzi, ale do 2019 roku liczba ta wzrosła do nieco ponad 7 miliardów: prawie ośmiokrotny wzrost w wartościach bezwzględnych!**

Co wyjaśnia to imponujące osiągnięcie? Odpowiadając, że to musi być należne do wyższych plonów jest truizmem. Stwierdzenie, że wzrost jest połączonym efektem lepszych odmian upraw, mechanizacji rolnictwa, nawożenia, nawadniania i ochrony upraw, prawidłowo opisuje zmiany w kluczowych nakładach — ale nadal pomija podstawowe wyjaśnienie. Współczesna produkcja żywności, czy to uprawa polowa, czy chwytanie dzikich gatunków morskich, to swoista hybryda zależna od dwóch różnych rodzajów energii. Pierwszym i najbardziej oczywistym jest Słońce. Ale potrzebujemy również obecnie niezbędnego wkładu paliw kopalnych oraz elektryczności produkowanej i wytwarzanej przez ludzi.

Poproszony o podanie typowych przykładów naszego uzależnienia od paliw kopalnych, mieszkańcy chłodniejszych części Europy i Ameryki Północnej od razu pomyślą o gazie ziemnym używanym do ogrzewania domów. Ludzie na całym świecie będą zwracać uwagę na spalanie paliw płynnych, które napędzają większość naszego transportu, ale najważniejszą — i fundamentalnie egzystencjalną — zależność współczesnego świata od paliw kopalnych jest ich bezpośrednie i pośrednie wykorzystanie w produkcji naszej żywności. Bezpośrednie zastosowanie obejmuje paliwa do zasilania wszystkich maszyn polowych (głównie ciągników, kombajnów i innych kombajnów), transport zbiorów z pól do miejsc przechowywania i przetwarzania oraz

pompy nawadniające. Zastosowanie pośrednie jest znacznie szersze, biorąc pod uwagę paliwa i energię elektryczną wykorzystywaną do produkcji maszyn rolniczych, nawozów i środków agrochemicznych (herbicydów, insektycydów, fungicydów) oraz inne elementy, od szklanych i plastikowych arkuszy do szklarni po urządzenia do globalnego pozycjonowania, które umożliwiają precyzję rolnictwo.

Podstawowa przemiana energetyczna wytwarzająca naszą żywność nie uległa zmianie: Jak zawsze, jemy, bezpośrednio jako pokarm roślinny lub pośrednio jako pokarm zwierzęcy, produkty fotosyntezy – najważniejszej przemiany energii w biosferze, zasilanej promieniowaniem słonecznym. To, co się zmieniło, to intensywność naszych upraw i produkcji zwierzęcej: nie moglibyśmy zebrać takiej obfitości i tak wysoko przewidywalny sposób, bez wciąż rosnących nakładów paliw kopalnych i elektryczności. Bez tych antropogenicznych dopłat energetycznych nie bylibyśmy w stanie zapewnić 90 proc. ludzkości odpowiedniego wyżywienia i nie moglibyśmy do takiego stopnia zmniejszyć globalnego niedożywienia, jednocześnie stale zmniejszając ilość czasu i powierzchnię ziemi uprawnej potrzebnej na wyżywienie jednej osoby.

Rolnictwo — uprawa roślin spożywczych dla ludzi i paszy dla zwierząt — musi być zasilane przez promieniowanie słoneczne, w szczególności przez niebieskie i czerwone części widma widzialnego. Chlorofile i karotenoidy, światłoczułe cząsteczki w komórkach roślinnych, absorbują światło na tych długościach fal i wykorzystują je do zasilania fotosyntezy, wieloetapowej sekwencji reakcji chemicznych, która łączy atmosferyczny dwutlenek węgla i wodę, a także niewielkie ilości pierwiastków, w tym m.in. , azot i fosfor – do produkcji nowej masy roślinnej na zboża, rośliny strączkowe, bulwy, oleje i rośliny cukrowe. Część tych zbiorów jest podawana zwierzętom domowym w celu produkcji mięsa, mleka i jajek, a dodatkowe pożywienie zwierzęce pochodzi od ssaków pasących się na trawach i gatunkach wodnych, których wzrost ostatecznie zależy od fitoplanktonu, dominującej masy roślinnej wytwarzanej przez fotosyntezę wodną.

6

Tak było zawsze, od samych początków osiadłej uprawy sięgającej około 10 tysiącleci – ale dwa wieki temu dodanie niesłonecznych form energii zaczęło wpływać na produkcję roślinną, a później także na chwytanie dzikich gatunków morskich. Początkowo wpływ ten był marginalny i stał się zauważalny dopiero w pierwszych dziesięcioleciach XX wieku.

Aby prześledzić ewolucję tej epokowej zmiany, przyjrzymy się następnie minionym dwóm wiekom amerykańskiej produkcji pszenicy. Mogłem jednak dość łatwo wybrać plony angielskiej lub francuskiej pszenicy albo chińskie lub japońskie plony ryżu; podczas gdy postępy w rolnictwie mogły mieć miejsce w różnym czasie w

uprawianych części Ameryki Północnej, Europy Zachodniej i Azji Wschodniej, nie ma nic wyjątkowego w tej porównawczej sekwencji opartej na danych z USA.

Trzy doliny oddalone o dwa stulecia

Zaczniemy w Dolinie Genesee w zachodniej części Nowego Jorku w 1801 roku. Nowa republika jest w 26. roku swojego istnienia, a jednak amerykańscy rolnicy uprawiają pszenicę chlebową nie w taki sam sposób, jak robili to ich przodkowie, zanim wyemigrowali z Anglii na północ brytyjską. Ameryka kilka pokoleń temu, ale w sposób nie różniący się zbytnio od praktyk w starożytnym Egipcie ponad dwa tysiące lat temu.

Sekwencja zaczyna się od dwóch wołów zaprzęgniętych do drewnianego płyga, którego ostrze jest podkute żelazną płytą. Ziarno ocalone z zeszłorocznych zbiorów wysiewa się ręcznie, a do jego przykrycia używa się bron szczotkowych. Umieszczenie plonu zajmuje około 27 godzin ludzkiej pracy na każdy wysiany hektar. Z A Najbardziej pracochłonne zadania dopiero przed nami. Plon jest zbierany przez cięcie sierpami; cięte łodygi są wiązane w wiązki i ręcznie wiązane w snopy, a następnie układane pionowo (w celu wykonania wstrząsów lub stoków) i pozostawione do wyschnięcia. Snopy są następnie wciągane do stodoły i młócone przez wymachiwanie ich na twardej podłodze, układa się słomę, a ziarno przesiewa się (oddziela od plew), odmierza i pakuje do worków. Zabezpieczenie upraw wymaga co najmniej 120 godzin pracy ludzkiej na hektar.

Pełna sekwencja produkcyjna wymaga około 150 godzin pracy ludzkiej na hektar, a także około 70 godzin pracy. Plon wynosi zaledwie jedną tonę zboża z hektara, z czego co najmniej 10 procent musi zostać odłożone jako materiał siewny pod przyszłoroczny plon. W sumie potrzeba około 10 minut ludzkiej pracy, aby wyprodukować kilogram pszenicy, co z mąki pełnoziarnistej daje 1,6 kilograma (dwa bochenki) chleba. Jest to pracochłonne, powolne i nisko wydajne rolnictwo, ale jest całkowicie słoneczne i nie są wymagane żadne inne nakłady energii poza promieniowaniem słonecznym: uprawy produkują żywność dla ludzi i paszę dla zwierząt; drzewa dają drewno do gotowania i ogrzewania; drewno jest również wykorzystywane do produkcji węgla metalurgicznego do wytapiania rud żelaza i produkcji małych metalowych przedmiotów, w tym płyt do płyga, sierpów, kos, noży i pasów do przykrywania drewnianych kół wozów. We współczesnym żargonie powiedzielibyśmy, że rolnictwo to nie wymaga nakładów energii z nieodnawialnych (paliw kopalnych), a jedynie minimalne dotacje do materiałów nieodnawialnych (elementy żelazne, kamienie do młynów),

oraz że produkcja zarówno upraw, jak i materiałów opiera się wyłącznie na energii odnawialnej wykorzystywanej poprzez wysiłek mięśni ludzkich i zwierzęcych.

Sto lat później, w 1901, większość krajowej pszenicy pochodzi z Wielkich Równin, więc przenosimy się do Doliny Czerwonej Rzeki we wschodniej Dakocie Północnej. Wielkie Równiny zostały zasiedlone, a uprzemysłowienie poczyniło ogromne postępy w ciągu ostatnich dwóch pokoleń – chociaż uprawa pszenicy nadal opiera się na zwierzętach pociągowych, pszenica rosnąca na dużych farmach w Dakocie jest wysoce zmechanizowana. Zaprzęgi czterech potężnych koni ciągną stalowe płyty (wielorządowe) i brony, do sadzenia wykorzystywane są siewniki mechaniczne, kombajny mechaniczne ścinają łodygi i wiążą snopy, a tylko podgarnianie odbywa się ręcznie. Snopy są wciągane na stosy i podawane do młotkarni napędzanych silnikami parowymi, a ziarno do spichlerzy. Cała sekwencja zajmuje mniej niż 22 godziny na hektar, około 1/7 czasu, jaki miał w 1801 roku.

[8](#) W tej ekstensywnej uprawie duże powierzchnie rekompensują niskie plony: plony pozostają niskie na poziomie 1 tony z hektara, ale inwestycja pracy ludzkiej to tylko około 1,5 minuty na kilogram ziarna (w porównaniu do 10 minut w 1801) zwierzęta dodają do około 37 koniogodzin na hektar lub ponad 2 minuty na kilogram ziarna.

Jest to nowy, hybrydowy rodzaj rolnictwa, ponieważ niezbędnym wkładem słonecznym jest wzmacnione nieodnawialnymi energiami antropogenicznymi pochodzący w przeważającej mierze z węgla. Nowy układ wymaga więcej pracy zwierząt niż ludzi, a ponieważ konie robocze (i muły na południu Ameryki) potrzebują paszy zbożowej – głównie owsa – a także świeżej trawy i siana, ich duża liczba stawia znaczne wymagania dla produkcji roślinnej w kraju: Około jedna czwarta wszystkich amerykańskich gruntów rolnych jest przeznaczona na uprawę paszy dla zwierząt pociągowych. [9](#) Wysokowydajne zbiory są możliwe dzięki coraz częstszym dopływom energii kopalnej. Węgiel jest wykorzystywany do produkcji koksu metalurgicznego

wsadowego do wielkich pieców, a żeliwo jest przetwarzane na stal w piecach martenowskich (patrz [rozdział 3](#)). Stal jest potrzebna do maszyn rolniczych, a także do produkcji silników parowych, szyn, wagonów, lokomotyw i statków. Węgiel napędza również silniki parowe oraz wytwarza ciepło i energię elektryczną potrzebną do produkcji płyt, siewników, kombajnów (także pierwszych kombajnów), wagonów i silosów oraz do obsługi kolej i statków, które dostarczają zboże do odbiorców końcowych. Nawozy nieorganiczne pojawiają się po raz pierwszy w importie chilijskich azotanów i fosforanów wydobywanych na Florydzie.

W 2021 r. Kansas jest wiodącym stanem uprawy pszenicy w kraju, więc przenosimy się do doliny rzeki Arkansas. W tym samym sercu amerykańskiego kraju, w którym uprawia się pszenicę, farmy są obecnie zwykle trzy do czterech razy większe niż w wieku 10 lat — a osoby mówiące o rolnictwie i polowaniu na dzikie zwierzęta zazwyczaj nie znały dawnych liczenia zwierząt pociągowych w 1961 roku, a prace polowe są teraz zdominowane przez potężne ciągniki — wiele modeli ma moc ponad 400 koni mechanicznych i osiem gigantycznych opon — ciągnące szerokie narzędzia, takie jak stalowe pługи (z kilkunastoma lub więcej lemieszami), siewniki i rozsiewacze nawozów.

[11](#)

Nasiona pochodzą od certyfikowanych hodowców, a młode rośliny otrzymują optymalne ilości nawozów nieorganicznych — przede wszystkim dużo azotu w postaci amoniaku lub mocznika — oraz ukierunkowaną ochronę przed owadami, grzybami i konkurencyjnymi chwastami. Zbiór i równoczesny omłot odbywa się za pomocą dużych kombajnów, które przenoszą ziarno bezpośrednio do ciężarówek, aby je przetransportować do silosów magazynowych i sprzedać w całym kraju lub wysłać do Azji lub Afryki. Produkcja pszenicy zajmuje teraz mniej niż dwie godziny ludzkiej pracy na hektar (w porównaniu do 150 godzin w 1801), a przy plonach około 3,5 tony z hektara przekłada się to na mniej niż dwie sekundy na kilogram ziarna.

[12](#)

Wiele osób w dzisiejszych czasach z podziwem cytuje wzrost wydajności nowoczesnych komputerów („tyle danych”) lub telekomunikacji („o wiele taniej”) — ale co z plonami? W ciągu dwóch stuleci ludzka praca przy wyprodukowaniu kilograma amerykańskiej pszenicy została skrócona z 10 minut do mniej niż 2 sekund.

Tak naprawdę działa nasz współczesny świat. Jak już wspomniałem, mogłem zrobić podobnie oszałamiające rekonstrukcje spadających nakładów pracy, rosnących plonów i rosnącej wydajności ryżu chińskiego lub indyjskiego. Ramy czasowe byłyby inne, ale względne zyski byłyby podobne.

Większość podziwianych i niewątpliwie niezwykłych postępów technicznych, które przekształciły przemysł, transport, komunikację i codzienne życie byłyby niemożliwe, gdyby ponad 80 procent wszystkich ludzi musiało pozostać na wsi, aby produkować swój chleb powszedni (odsetek populacji USA, która była rolnikami w 1800 r., wynosiła 83 procent) lub ich codzienną miskę ryżu (w Japonii blisko 90 procent ludzi mieszkało na wsiach w 1800 roku). Droga do współczesnego świata zaczęła się od niedrogich stalowych pługów i nawozów nieorganicznych. Trzeba przyjrzeć się bliżej, aby wyjaśnić te niezbędne dane, które sprawiły, że dobrze odżywioną cywilizację uznaliśmy za pewnik.

Co wchodzi?

W rolnictwie przedindustrialnym, wykonywanym pracą ludzi i zwierząt oraz przy użyciu prostych narzędzi drewnianych i żelaznych, jedynym źródłem energii było Słońce. Dzisiaj, jak zawsze, żadne zbiory nie byłyby możliwe bez fotosyntezy napędzanej słońcem, ale wysokie plony wytwarzane przy minimalnych nakładach pracy, a zatem bezprecedensowo niskich kosztach, byłyby niemożliwe bez bezpośrednich i pośrednich zastrzyków energii kopalnej. Niektóre z tych antropogenicznych nakładów energii pochodzą z energii elektrycznej, która może być wytwarzana z węgla, gazu ziemnego lub odnawialnych źródeł energii, ale większość z nich to ciekłe i gazowe węglowodory dostarczane jako paliwa maszynowe i surowce.

Maszyny zużywają energię kopalną bezpośrednio jako olej napędowy lub benzynę do celów polowych operacji, w tym pompowanie wody do nawadniania ze studni, przetwarzanie i suszenie plonów, transport plonów w obrębie kraju ciężarówkami, pociągami i barkami oraz eksport zamorski w lądowniach dużych masowców. Pośrednie wykorzystanie energii w produkcji tych maszyn jest znacznie bardziej złożone, ponieważ paliwa kopalne i elektryczność są wykorzystywane do produkcji nie tylko stali, gumy, tworzyw sztucznych, szkła i elektroniki, ale także montażu tych materiałów do produkcji traktorów, narzędzi, kombajnów, ciężarówek, suszarni do ziarna i silosy. [13](#)

Ale energia potrzebna do produkcji i zasilania maszyn rolniczych jest nikła przez wymagania energetyczne produkcji agrochemikaliów. Nowoczesne rolnictwo wymaga fungicydów i insektycydów, aby zminimalizować straty plonów, oraz herbicydów, aby zapobiec konkurowaniu chwastów o dostępne dla roślin składniki odżywcze i wodę. Wszystko to są produkty bardzo energochłonne, ale stosowane w stosunkowo niewielkich ilościach (tylko ułamki kilograma na hektar). [14](#) W przeciwnieństwie do tego nawozy, które dostarczają trzy podstawowe makroskładniki roślinne – azot, fosfor i potas – wymagają mniej energii na jednostkę produktu końcowego, ale są potrzebne w dużych ilościach, aby zapewnić wysokie plony. [15](#)

Potas jest najtańszy w produkcji, ponieważ wystarczy potas (KCl) z kopalnie odkrywkowej lub podziemne. Nawozy fosforowe rozpoczynają się od wydobycia fosforanów, a następnie ich przetwarzania na syntetyczne związki superfosfatu. Amoniak jest związkiem wyjściowym do wytwarzania wszystkich syntetycznych nawozów azotowych. Każda uprawa pszenicy i ryżu o wysokiej wydajności, a także wielu warzyw, wymaga ponad 100 (czasem nawet 200) kilogramów azotu na hektar, a te wysokie potrzeby sprawiają, że

synteza nawozów azotowych jest najważniejszym pośrednim wkładem energetycznym we współczesnym rolnictwie.¹⁶

Azot jest potrzebny w tak dużych ilościach, ponieważ znajduje się w każdej żywej komórce: znajduje się w chlorofilu, którego moc wzbudzenia fotosyntezy; w kwasach nukleinowych DNA i RNA, które przechowują i przetwarzają całą informację genetyczną; oraz w aminokwasy, które tworzą wszystkie białka niezbędne do wzrostu i utrzymania naszych tkanek. Pierwiastek ten jest obfit — stanowi prawie 80 procent atmosfery, organizmy żyją w nim zanurzone — a jednak jest kluczowym czynnikiem ograniczającym wydajność upraw, a także wzrost człowieka. Jest to jedna z wielkich paradoksalnych rzeczywistości biosfery, a jej wyjaśnienie jest proste: azot istnieje w atmosferze jako niereaktywna cząsteczka (N_2) i tylko kilka naturalnych procesów może rozerwać wiązanie między dwoma atomami azotu i spowodować pierwiastek dostępny do tworzenia reaktywnych związków.

¹⁷

Błyskawica to zrobi: wytwarza tlenki azotu, które rozpuszczają się w deszczu i tworzą azotany, a następnie lasy, pola i łąki otrzymują nawóz z góry — ale oczywiście ten naturalny wkład jest zbyt mały, aby uzyskać plony, które wyżywią prawie 8 miliardów ludzi na świecie. Ludzie. To, co piorun może zrobić z ogromnymi temperaturami i ciśnieniem, enzym (azotogenaza) może zrobić w normalnych warunkach: jest wytwarzany przez bakterie związane z korzeniami roślin strączkowych (strączkowych, a także niektórych drzew) lub żyjące swobodnie w glebie lub w rośliny. Bakterie przyczepione do korzeni roślin strączkowych są odpowiedzialne za większość naturalnego wiązania azotu — to znaczy za rozszczepianie niereaktywnego N_2 i za wbudowywanie azotu do amoniaku (NH_3), wysoce reaktywnego związku, który łatwo przekształca się w rozpuszczalne azotany i może zaopatrywać rośliny w ich zapotrzebowanie na azot w zamian za kwasy organiczne syntetyzowane przez rośliny.

W rezultacie rośliny strączkowe, w tym soja, fasola, groch, soczewica i orzeszki ziemne, są w stanie zapewnić (utrwalic) własne zaopatrzenie w azot, podobnie jak rośliny strączkowe, takie jak lucerna, koniczyna i wyka. Ale żadne zboża podstawowe, żadne rośliny oleiste (z wyjątkiem soi i orzeszków ziemnych) i żadne bulwy nie mogą tego zrobić. Jedynym sposobem na wykorzystanie zdolności roślin strączkowych do wiązania azotu jest obracanie ich z lucerną, koniczyną lub wyką, hodowanie tych utrwalaczy azotu przez kilka miesięcy, a następnie zaoranie ich, aby gleba została uzupełniona reaktywnym azotem, aby być zbierane przez kolejną pszenicę, ryż lub ziemniaki.

¹⁸ W tradycyjnym rolnictwie jedyna inna opcja, aby

wzbogacanie glebowych magazynów azotu miało na celu zbieranie i utylizację nieczystości ludzkich i zwierzęcych. Ale jest to z natury pracochłonny i nieefektywny sposób dostarczania składników odżywczych. Odpady te mają bardzo niską zawartość azotu i podlegają stratom w wyniku ulatniania się (przemiana cieczy w gazy – zapach amoniaku z obornika może być przytaczający).

W uprawach przedprzemysłowych odpady musiały być zbierane we wsiach, miastach, i miasta, fermentowane w hałdach lub dołach i – ze względu na niską zawartość azotu – stosowane na polach w ogromnych ilościach, zwykle 10 ton na hektar, ale czasami do 30 ton (ta ostatnia masa odpowiada 25–30 małym europejskim samochodom), w celu dostarczenia potrzebnego azotu. Nic dziwnego, że było to zwykle najbardziej czasochłonne zadanie w tradycyjnym rolnictwie, pochłaniając co najmniej jedną piątą, a nawet jedną trzecią całej pracy (ludzkiej i zwierzęcej) przy uprawach. Recykling odpadów organicznych nie jest tematem poruszonym przez znanych powieściopisarzy, ale Émile Zola, zawsze zupełny realista, uchwycił jego znaczenie, opisując Claude'a, młodego paryskiego malarza, który „bardzo lubił obornik”. Claude zgłasza się do wrzucenia do dołu „szorstkich targowisk, śmieci, które spadły z tego kolosalnego stołu, pozostały pełne życia i wróciły do miejsca, w którym wcześniej kiełkowały warzywa... Podniósły się ponownie w żyznych plonach i ponownie odeszły rozłożyć się na rynku. Paryż zgniót wszystko i zwrócił wszystko na ziemię, która nigdy nie znudziła się naprawianiem spustoszeń śmierci”. [19](#) Ale jakim kosztem ludzkiego trudu! Ta wielka bariera azotowa dla wyższych plonów została pokonana dopiero w XIX wieku wraz z wydobyciem i eksportem chilijskich azotanów, pierwszego nieorganicznego nawozu azotowego. Bariera ta została ostatecznie przełamana wraz z wynalezieniem przez Fritza Habera w 1909 r. syntezy amoniaku i jej szybką komercjalizacją (pierwszy transport amoniaku nastąpił w 1913 r.), ale późniejsza produkcja rosła powoli i powszechnie stosowanie nawozów azotowych musiało poczekać aż po II wojnie światowej. Wojna Światowa [20](#). Lata 60. nie mogły wyrazić pełnego potencjału plonowania bez syntetycznych nawozów azotowych. A wielka zmiana wydajności, znana jako zielona rewolucja, nie mogłaby mieć miejsca bez tej kombinacji lepszych upraw i wyższych zastosowań azotu.

— Nowe wysokoplenne odmiany pszenicy i ryżu wprowadzone w okresie

[21](#)

Od lat siedemdziesiątych synteza nawozów azotowych jest niewątpliwie primus inter pares wśród dotacji na energię w rolnictwie – ale pełną skalę tej zależności ujawnia się dopiero przy szczegółowym rozliczeniu energii potrzebnej do produkcji różnych powszechnych artykułów spożywczych. wybrałem

trzy z nich do wykorzystania jako przykłady, a wybrałem je ze względu na ich dominację żywieniową. Chleb był podstawą cywilizacji europejskiej od tysiącleci. Biorąc pod uwagę religijne zakazy spożycia wieprzowiny i wołowiny, kurczak jest jedynym powszechnie preferowanym mięsem. I żadne inne warzywo (choć botanicznie owoc) nie przewyższa rocznej produkcji pomidorów, obecnie uprawianych nie tylko jako uprawa polowa, ale coraz częściej w szklarniach plastikowych lub szklanych.

Każdy z tych artykułów spożywczych ma inną rolę żywieniową (chleb jest spożywany ze względu na węglowodany, kurczak ze względu na doskonałe białko, pomidory ze względu na zawartość witaminy C), ale żaden z nich nie mógłby być produkowany tak obficie, tak niezawodnie i tanio bez znacznej ilości paliw kopalnych dotacji. W końcu nasza produkcja żywności ulegnie zmianie, ale na razie iż dając się przewidzieć przyszłości nie możemy wyżywić świata bez polegania na paliwach kopalnych.

Koszty energii chleba, kurczaka i pomidorów

Biorąc pod uwagę ogromną różnorodność pieczywa, zamierzam trzymać się tylko kilku odmian pieczywa na zakwasie, które są powszechnie stosowane w dietach zachodnich, a teraz są dostępne w różnych miejscach, od Afryki Zachodniej (obszar outremer francuskiej bagietki) po Japonię (każdy większy departament). sklep posiada francuską lub niemiecką piekarnię). Musimy zacząć od pszenicy i nie brakuje badań, w których próbowało określić ilościowo wszystkie nakłady paliwa i energii elektrycznej oraz porównać je w przeliczeniu na obszar zbiorów lub jednostkę plonu dla różnych rodzajów upraw zbożowych.

[22](#)

Uprawa zboż znajdują się na dole drabiny dopłat energetycznych i wymaga stosunkowo niewiele w porównaniu z innymi wybranymi przez nas produktami spożywczymi, ale jak zobaczymy, wciąż potrzebuje zaskakująco dużej ilości energii.

Wydajna amerykańska produkcja pszenicy nawadnianej deszczem na dużych polach Wielkich Równin wymaga tylko około 4 megadżuli na kilogram zboża. Ponieważ tak duży udział tej energii ma postać oleju napędowego rafinowanego z ropy naftowej, porównanie może być bardziej namacalne w ekwiwalentach niż w standardowych jednostkach energii (dżulach).

[23](#) Co więcej, wyrażenie

zapotrzebowania na olej napędowy w przeliczeniu na jednostkę produktu jadalnego (czy to 1 kilogram, bochenek chleba, czy posiłek) sprawia, że łatwiej sobie wyobrazić takie dotacje energetyczne.

Z olejem napędowym zawierającym 36,9 megadżuli na litr, typowa energia koszt pszenicy z Wielkich Równin to prawie dokładnie 100 mililitrów (1

decylitr lub 0,1 litra) oleju napędowego na kilogram²⁴ — niewiele mniej niż połowa pomiaru kubka w USA. Wykorzystam określone ekwiwalenty objętościowe oleju napędowego do oznaczenia poszczególnych artykułów spożywczych energią zawartą w ich produkcji.

Podstawowy chleb na zakwasie jest najprostszym rodzajem chleba na zakwasie, podstawą cywilizacji europejskiej: zawiera tylko mąkę chlebową, wodę i sól, a zakwas robi się oczywiście z mąki i wody. Kilogram tego chleba to około 580 gramów mąki, 410 gramów wody i 10 gramów soli. ²⁵ Zmienienie – czyli usunięcie otrębów z nasion, czyli zewnętrznej warstwy – zmniejsza masę zmielonych ziaren o około 25 procent (szybkość ekstrakcji mąki 72–76 ²⁶) Oznacza to, że aby uzyskać 580 gram mąki chlebowej, musimy zacząć procent). z około 800 gramami pełnoziarnistej pszenicy, której produkcja wymaga 80 mililitrów ekwiwalentu oleju napędowego.

Aby wyprodukować mąkę z białego chleba, zmienienie ziarna wymaga równowartości około 50 ml/kg, podczas gdy opublikowane dane dotyczące wypieku na dużą skalę w nowoczesnych, wydajnych przedsiębiorstwach – zużywających gaz ziemny i energię elektryczną – wskazują ekwiwalenty paliwowe 100–200 ml/kg. chleb na ²⁷ Uprawa ziarna, mielenie i pieczenie 1 kilograma zakwasie wymaga zatem wkładu energetycznego równoważnego co najmniej 250 mililitrom oleju napędowego, objętości nieco większej niż amerykańska miarka. W przypadku standardowej bagietki (250 gramów) wbudowany ekwiwalent energetyczny wynosi około 2 łyżki oleju napędowego; dla dużego niemieckiego Bauernbrota (2 kilogramy) byłoby to około 2 filiżanek oleju napędowego (mniej dla bochenka pełnoziarnistego).

Rzeczywisty koszt energii kopalnej jest wciąż wyższy, ponieważ tylko niewielka część chleb jest teraz pieczony tam, gdzie jest kupowany. Nawet we Francji sąsiednie boulangerie znikają, a duże piekarnie rozprowadzają bagietki: oszczędności energii wynikające z wydajności na skalę przemysłową są niwelowane przez zwiększone koszty transportu i całkowity koszt (od uprawy i mielenia ziarna po wypiek w dużej piekarni i dystrybucję chleba). odległych odbiorców) może mieć równoważne zużycie energii nawet 600 ml/kg!

Ale jeśli typowy (około 5:1) stosunek masy jadalnej chleba do masy wbudowana energia (1 kilogram chleba w porównaniu z około 210 gramami oleju napędowego) wydaje się nieprzyjemnie wysoka, przypominam, że już zauważałem, że ziarna – nawet ziarna po przetworzeniu i przetworzeniu w nasze ulubione produkty spożywcze – znajdują się na dole naszej drabiny dotacji na energię żywnościową . Jakie byłyby konsekwencje stosowania się do tak wątpliwej rekomendacji dietetycznej, obecnie wpychanej przez niektórych promotorów pod mylącą etykietą „paleolitu”

dieta", jak unikanie wszystkich zbóż i przejście na dietę składającą się tylko z mięsa, ryb, warzyw i owoców?

Zamiast śledzić koszt energetyczny wołowiny (mięso, które już zostało bardziej oczerniane), zamiast tego obliczyć ilościowo obciążenia energetyczne najbardziej wydajnie produkowanego mięsa — brojlerów hodowanych w dużych oborach w tak zwanych CAFO, centralnych operacjach żywienia zwierząt. W przypadku kurczaków oznacza to trzymanie i karmienie dziesiątek tysięcy ptaków w długich prostokątnych konstrukcjach, gdzie są one stłoczone w słabo oświetlonych przestrzeniach (odpowiednik księżyckowej nocy) i karmione przez około siedem tygodni, zanim zostaną [28 Departament](#) dotyczące rocznej wydajności ~~Polowania zbrojnego na żółte małże ostytki~~ pięćdziesięciu lat te wskaźniki (jednostki paszy wyrażone jako ziarno kukurydzy na jednostkę żywnej wagi) nie wykazują tendencji spadkowych ani w przypadku wołowiny, ani wieprzowiny, ale imponujące wzrosty w przypadku kurczaków. [29](#)

—

W 1950 r. potrzebne były 3 jednostki paszy na jednostkę masy żywego brojlera; teraz ta liczba wynosi zaledwie 1,82, około jednej trzeciej stawki dla świń i jednej siódmej stawki dla bydła. [30](#) Oznacza to, że dla jednej jednostki paszy (606 g) i kości mięśniowej jest zaledwie 2, że najniższy stosunek paszy do mięsa wynosi 3:1. Do wyprodukowania jednego kurczaka amerykańskiego (którego średnia waga jadalna wynosi teraz prawie dokładnie 1 kilogram) potrzeba 3 kilogramów zboża.

[31](#) Wydajna uprawa kukurydzy zasilana deszczem daje wysokie plony i stosunkowo niskie koszty energii — co odpowiada około 50 mililitrom oleju napędowego na kilogram ziarna — ale koszt energii nawadnianej kukurydzy może być dwa razy wyższy niż w przypadku paszy deszczowej, a typowe plony kukurydzy i wydajność żywienia na całym świecie są niższe niż w USA. W rezultacie same koszty paszy mogą wynosić zaledwie 150 mililitrów oleju napędowego na kilogram jadalnego mięsa, a nawet 750 ml/kg.

Dalsze koszty energii wynikają z wielkoskalowego międzynarodowego handlu paszami: jest on zdominowany przez transport amerykańskiej kukurydzy i soi oraz sprzedaż brazylijskiej soi. Brazylijska uprawa soi wymaga równowartości 100 mililitrów oleju napędowego na kilogram ziarna, ale transportowanie plonów z obszarów produkcyjnych do portów i transportowanie ich do Europy podwaja [32](#). Uprawa brojlerów do masy rzeźnej również wymaga energii w stosunku do kosztów energii, i trociny, wywóz i ~~ognisko aktywnego. Wymaga intensywnej zaparzania wodę~~ zależności od lokalizacji (przede wszystkim ze względu na letnie powietrze)

kondycjonowania i ogrzewania zimowego), a zatem w połączeniu z kosztem energetycznym dostarczanej paszy wytwarzany jest szeroki zakres objętości – od 50 do 300 mililitry na kilogram mięsa jadalnego. [33](#)

Najbardziej konserwatywna łączna stawka karmienia i odchowu ptaków byłoby zatem odpowiednikiem około 200 mililitrów oleju napędowego na kilogram mięsa, ale wartości mogą sięgać nawet 1 litra. Dodanie energii potrzebnej do uboju i przetwarzania ptaków (mięso z kurczaka jest teraz w przeważającej mierze sprzedawane jako części, a nie całe brojlery), sprzedaż detaliczna, przechowywanie i chłodzenie w domu, a ewentualne gotowanie podnosi całkowite zapotrzebowanie na energię do umieszczenia kilograma pieczonego kurczaka na obiad talerze do co najmniej 300-350 mililitrów ropy naftowej: objętość równa prawie pół butelce wina (a dla najmniej wydajnych producentów ponad litr).

Minima 300–350 ml/kg to wyjątkowo wydajna wydajność w porównaniu ze stawkami 210–250 ml/kg dla chleba, co znajduje odzwierciedlenie w porównywalnie przystępnych cenach kurczaka: w miastach USA średnia cena kilograma białego chleba jest tylko o około 5 procent niższa od średniej ceny za kilogram całego kurczaka (a chleb pełnoziarnisty jest o 35 procent droższy!), podczas gdy we Francji kilogram standardowego całego kurczaka kosztuje tylko około 25 procent więcej niż średnia cena chleba. [34](#) To pomaga wyjaśnić szybki wzrost roli kurczaka w dominującym mnieście we wszystkich krajach zachodnich (globalnie wieprzowina nadal prowadzi, dzięki огромнemu popytowi w Chinach).

Biorąc pod uwagę, że weganie wychwalają jedzenie roślin, a media obszernie donoszą o wysokich kosztach środowiskowych mięsa, można by pomyśleć, że wzrost kosztów energii kurczaka został przewyższony przez osoby zajmujące się uprawą i marketingiem warzyw. Myliłybyś się, myśląc tak.

W rzeczywistości było odwrotnie i nie ma lepszego przykładu ilustrującego te zaskakująco wysokie obciążenia energetyczne niż przyjrzenie się pomidorom z bliska.

Mają to wszystko – atrakcyjny kolor, różnorodność kształtów, gładką skórę i soczyste wnętrze. Z botanicznego punktu widzenia pomidor jest owocem *Lycopersicon esculentum*, małej rośliny pochodzącej z Ameryki Środkowej i Południowej, która została wprowadzona do reszty świata w epoce pierwszych europejskich rejsów transatlantyckich, ale której uznanie zajęło wiele pokoleń, aby stać się popularną na całym świecie. do [35](#) sosów i dodatków do licznych potraw, ziemniaków, pieczywa, jusków, grzanków i pysznych faworytem przyjmowanym w krajach, od rodzimego Meksyku i Peru po Hiszpanię, Włochy, Indie i Chiny (obecnie jej największy producent).

Kompendia żywieniowe chwalą wysoką zawartość witaminy C: rzeczywiście duża pomidor (200 gramów) może zapewnić dwie trzecie dziennego zalecanego zapotrzebowania dla osoby dorosłej³⁶. Aby jednak uprawa była przynajmniej częściowo zgodna z ogólnym pojęciem zdrowia, należy zwrócić uwagę na zawartość energii; jest to, w przeważającej części, po prostu atrakcyjnie ukształtowany pojemnik na wodę, który stanowi 95 procent jego masy. Pozostała część to głównie węglowodany, trochę białka i zaledwie śladowe ilości tłuszczy.

Pomidory można uprawiać w dowolnym miejscu, gdzie jest co najmniej 90 dni ciepłej pogody, w tym na tarasie nadmorskiego domku w pobliżu Sztokholmu lub w ogrodzie na kanadyjskich preriach (w obu przypadkach z roślin założonymi w pomieszczeniach). Uprawa komercyjna to jednak inna sprawa. Podobnie jak w przypadku wszystkich owoców i warzyw spożywanych we współczesnych społeczeństwach z wyjątkiem niewielkiej części, uprawa pomidorów jest wysoce wyspecjalizowaną sprawą, a większość odmian dostępnych w supermarketach w Ameryce Północnej i Europie pochodzi tylko z kilku miejsc. W USA jest to Kalifornia; w Europie to Włochy i Hiszpania. Aby zwiększyć plony, poprawić ich jakość i zmniejszyć intensywność nakładów energetycznych, pomidory coraz częściej uprawia się w jedno- lub wielotunelowych osłonach z tworzywa sztucznego lub w szklarniach – nie tylko w Kanadzie i Holandii, ale także w Meksyku, Chinach, Hiszpanii i Włochach.

To sprowadza nas z powrotem do paliw kopalnych i elektryczności. Tworzywa sztuczne są tańszą alternatywą dla budowy szklarni wielotunelowych, a uprawa pomidorów wymaga również plastikowych klipsów, klinów i rynien. Tam, gdzie rośliny są uprawiane na wolnym powietrzu, do przykrycia gleby używa się folii z tworzywa sztucznego, aby ograniczyć parowanie wody i zapobiec chwastom. Synteza związków tworzyw sztucznych opiera się na węglowodorach (ropa naftowa i gaz ziemny), zarówno w przypadku surowców (surowców), jak i energii potrzebnej do ich wytworzenia. Surowce obejmują etan i inne płynne gazy ziemne oraz naftę wytwarzaną podczas rafinacji ropy naftowej. Gaz ziemny jest również wykorzystywany do produkcji plastiku i jest (jak już wspomniano) najważniejszym surowcem – źródłem wodoru – do syntezy amoniaku. Inne węglowodory służą jako surowce do produkcji związków ochronnych (insektycydów i fungicydów), ponieważ nawet rośliny wewnętrz szklarni lub plastikowych szklarni nie są odporne na szkodniki i infekcje.

Wyrażenie rocznych kosztów operacyjnych uprawy pomidora w pieniądzach to łatwo zrobić, sumując wydatki na sadzonki, nawozy, agrochemikalia, wodę, ogrzewanie i robociznę oraz proporcjonalnie do kosztów oryginalnych konstrukcji i urządzeń – metalowych podpór, plastikowych osłon, szkła, rur, koryt, grzejników – które są na miejscu od ponad roku. Ale kładąc

całkowite rozliczenie razem za energię nie jest takie proste. Bezpośrednie nakłady energii są łatwe do określenia ilościowego na podstawie rachunków za energię elektryczną i zakupu benzyny lub oleju napędowego, ale obliczenie pośrednich przepływów do produkcji materiałów wymaga specjalistycznej rachunkowości, a zwykle pewnych założeń.

Szczegółowe badania określiły ilościowo te nakłady i pomnożyły je przez typowe koszty energii: na przykład synteza, formułowanie i pakowanie 1 kilograma nawozu azotowego wymaga równowartości prawie 1,5 litra oleju napędowego. Nic dziwnego, że badania te pokazują szeroki zakres sum, ale jedno z badań – **być może najbardziej drobiazgowe badanie uprawy pomidorów w ogrzewanych i nieogrzewanych szklarniach wielotunelowych w Almerii w Hiszpanii – wykazało, że skumulowane zapotrzebowanie na energię w produkcji netto przekracza 500 mililitrów oleju napędowego (ponad dwie filiżanki) na kilogram w przypadku pierwszego (podgrzewanego) i tylko 150 ml/kg w przypadku drugiego zbioru.**³⁷

Ten wysoki koszt energii uzyskujemy w dużej mierze dlatego, że pomidory szklarniowe należą do najbardziej nawożonych roślin uprawnych na świecie: na jednostkę powierzchni otrzymują do 10 razy więcej azotu (a także fosforu) niż do produkcji kukurydzy na ziarno, wiodącej amerykańskiej uprawy polowej.

³⁸ Stosuje się również siarkę, magnez i inne mikroelementy, a także chemikalia chroniące przed owadami i grzybami. Ogrzewanie jest najważniejszym bezpośrednim wykorzystaniem energii w uprawie szklarniowej: wydłuża sezon wegetacyjny i poprawia jakość plonów, ale nieuchronnie, gdy jest stosowane w chłodniejszym klimacie, staje się największym pojedynczym użytkownikiem energii.

Szklarnie plastikowe zlokalizowane w najbardziej wysuniętej na południe części prowincji Almería to największy na świecie zakryty obszar upraw komercyjnych: około 40 000 hektarów (pomyśl o kwadracie o wymiarach 20 km × 20 km) i łatwy do zidentyfikowania na zdjęciach satelitarnych — szukaj w Google Earth. Możesz nawet przejechać się w Google Street View, który oferuje nieziemskie wrażenia z tych niskich, pokrytych plastikiem konstrukcji. Pod tym morzem plastiku hiszpańscy plantatorzy oraz ich lokalni i imigranci afrykańscy robotnicy produkują rocznie (w temperaturach często przekraczających 40°C) prawie 3 miliony ton wczesnych i pozasezonowych warzyw (pomidory, papryka, zielona fasola, cukinia, bakłażan, melony) i niektóre owoce, a około 80 proc. eksportuje ³⁹ Ciężarówka przewożąca 13-tonowy ładunek pomidorów z krajów UE.

Almeria do Sztokholmu pokonuje 3745 kilometrów i zużywa około 1120 litrów oleju napędowego.

⁴⁰ To daje prawie 90 mililitrów na kilogram pomidorów, a transport, przechowywanie i pakowanie w regionalnych centrach dystrybucyjnych oraz dostawy do sklepów podnoszą ten poziom do prawie 130 ml/kg.

Oznacza to, że pomidory kupione w skandynawskim supermarketie z ogrzewanych szklarni plastikowych Almerii mają oszałamiająco wysokie koszty energii związane z produkcją i transportem. Jego całkowita ilość odpowiada około 650 ml/kg, czyli ponad pięciu łyżkom stołowym (każda zawiera 14,8 mililitrów) oleju napędowego na średniej wielkości (125 gramów) pomidor! Możesz z łatwością i bez marnowania wyreżyserować demonstrację na stole tej dotacji na paliwa kopalne, krojąc pomidora tej wielkości, rozkładając go na talerzu i zalewając 5–6 łyżkami ciemnego oleju (olej sezamowy naśladuje dobrze kolor). Jeśli zrobisz pod wrażeniem obciążenia paliwem kopalnym tego prostego jedzenia, możesz przenieść zawartość talerza do miski, dodać dwa lub trzy dodatkowe pomidory, trochę sosu sojowego, sól, pieprz i nasiona sezamu i cieszyć się smaczną sałatką z pomidorów. Ile wegan jedzących sałatkę jest świadomych jej bogatego rodowodu opartego na paliwach kopalnych?

Olej napędowy za owocami morza?

Wysoka produktywność rolnictwa współczesnych społeczeństw sprawiła, że polowanie na lądzie (sezonowe odstrzał niektórych dzikich ssaków i ptaków) stało się marginalnym źródłem pożywienia we wszystkich zamożnych społeczeństwach. Dzikie mięso, w większości nielegalnie upolowane, jest nadal częstsze w całej Afryce Subsaharyjskiej, ale nawet tam dzięki szybko rosnącej populacji przestało być głównym źródłem białka zwierzęcego. W przeciwieństwie do tego polowania morskie nigdy nie były praktykowane szerzej i intensywniej niż obecnie, ponieważ ogromne floty statków – od dużych nowoczesnych pływających fabryk po rozpadające się małe łodzie – przeczesują 41 oceanów świata w poszukiwaniu dzikich ryb i skorupiaków.

Jak się okazuje, uchwycenie tego, co Włosi tak poetycko nazywają frutti di mare to najbardziej energochłonny proces dostarczania żywności. Oczywiście nie wszystkie owoce morza są trudne do złapania, a zbieranie wielu wciąż obfitych gatunków nie wymaga długich wypraw w odległe rejony południowego Pacyfiku.

Wyłapywanie tak licznych gatunków pelagicznych (żijących blisko powierzchni), jak sardele, sardynki czy makrela, można przeprowadzić przy stosunkowo niewielkich nakładach energetycznych — pośrednio w budowę statków i tworzenie dużych sieci, bezpośrednio w paliwie diesla używanym do silników okrętowych. Najlepsze rachunki pokazują, że na ich wychwytywanie zużycie energii wynosi zaledwie 100 ml/kg, co odpowiada mniej niż pół filiżanki oleju napędowego. 42

Jeśli chcesz jeść dzikie ryby o najniższym możliwym śladzie węglowym kopalnym, trzymaj się sardynek. Średnia dla wszystkich owoców morza jest oszałamiająco wysoka — 700 ml/kg (prawie pełna butelka wina oleju napędowego) — a maksymalne wartości niektórych dzikich krewetek i homarów wynoszą, niewiarygodnie, ponad 10 l/kg (wliczając w muszli!), średniej wielkości dzikie krewetki (niedozbrojne) karmiące w warunkach naturalnych 0,5-1 litra oleju napędowego, co odpowiada 2-4 filiżankom paliwa.

Ale, zaprotestujesz, krewetki są teraz głównie hodowane w akwakulturze, a czy te wielkoskalowe, przemysłowe operacje nie miały tych samych zalet, które tak skutecznie wykorzystaliśmy w przypadku brojlerów? Niestety nie, ze względu na ich fundamentalną różnicę metaboliczną. Brojlerzy są roślinożercami, a w zamknięciu ich wydatek energetyczny na aktywność jest ograniczony. Dlatego karmienie ich odpowiednią materią roślinną – obecnie głównie kombinacją mieszanek na bazie kukurydzy i soi – sprawi, że będą szybko rosły. Niestety, preferowane przez ludzi gatunki morskie (łosoś, okoń morski, tuńczyk) sąmięsożerne i do prawidłowego wzrostu muszą być karmione małzką rybną bogatą w białko oraz olejem rybnym pochodząącym z połówów dzikich gatunków takich jak sardele, sardynki , gromadnik, śledź i makrela.

Rozwijająca się akwakultura, której całkowita światowa produkcja, słodkowodna i morska, zbliża się do światowego dzikiego połowa (w 2018 r. wynosiła 82 mln ton w porównaniu do 96 mln ton dzikich gatunków) – zmniejszyła presję na niektóre przełowione dzikie stada preferowanych rybmięsożernych, ale zintensyfikowała eksploatację mniejszych gatunków roślinożernych, których rosnące zbiory są potrzebne do wyżywienia rozwijającej się akwakultury,

[44](#) W rezultacie koszty energii hodowli labraksa w klatkach (głównymi producentami są Grecja i Turcja) wynoszą zwykle nawet 2-2,5 litra oleju napędowego na kilogram (objętość mniej więcej tyle samo, co trzy butelki wina).) — to jest tego samego rzędu wielkości, co koszty energii związane z łapaniem dzikich gatunków o podobnej wielkości.

Zgodnie z oczekiwaniemi, tylko roślinożerne ryby akwakultury, które dobrze rosną, spożywają Pasze roślinne – w szczególności różne gatunki karpia chińskiego (najczęściej występują to duże, srebrzyste, czarne i amurowe) – mają niski koszt energii, zwykle poniżej 300 ml/kg. Ale poza tradycyjnymi kolacjami wigilijnymi w Austrii, Czechach, Niemczech i Polsce, karp jest dość niepopularnym wyborem kulinarnym w Europie i jest rzadko spożywany w Ameryce Północnej, podczas gdy popyt na tuńczyka, którego niektóre gatunki są obecnie jednymi z najbardziej

zagrożone topowymi drapieżnikami morskimi, gwałtownie rośnie dzięki szybkiemu światowemu przyjęciu sushi.

Tak więc dowody są nieuniknione: nasze zapasy żywności — czy to podstawowych zbóż, gdaczących ptaków, ulubionych warzyw czy owoców morza chwalonych za swoje wartości odżywcze — stają się coraz bardziej zależne od paliw kopalnych. Ta fundamentalna rzeczywistość jest powszechnie ignorowana przez tych, którzy nie starają się zrozumieć, jak naprawdę działa nasz świat i którzy obecnie przewidują szybką dekarbonizację. Ci sami ludzie byliby szokowani wiedząc, że naszej obecnej sytuacji nie da się zmienić łatwo i szybko: jak widzieliśmy w poprzednim rozdziale, wszechobecność i skala zależności są na to zbyt duże.

Paliwo i żywność

Kilka badań prześledziło wzrost zależności produkcji żywności od nowoczesnych – w przeważającej mierze kopalnych – nakładów energetycznych, od ich braku na początku XIX wieku do niedawnych wskaźników (od mniej niż 0,25 tony ropy naftowej na hektar w uprawie zbóż do 10 razy więcej). w ogrzewanej uprawie szklarniowej).

[45](#) Być może najlepszym sposobem na uświadomienie sobie wzrostu i zakresu tej globalnej zależności jest porównanie wzrostu zewnętrznych dopłat do energii do ekspansji ziem uprawnych i do wzrostu liczby ludności na świecie.

Między 1900 a 2000 rokiem globalna populacja wzrosła mniej niż czterokrotnie (dokładnie 3,7 razy), podczas gdy powierzchnia gruntów rolnych wzrosła o około 40 procent, ale moje obliczenia pokazują, że antropogeniczne dotacje energetyczne w rolnictwie wzrosły 90-krotnie, głównie dzięki energii zawartej w agrochemikaliach oraz w paliwach bezpośrednio zużywanych przez maszyny.

Obliczyłem również relatywne globalne obciążenie tej zależności.

Nakłady energii antropogenicznej w nowoczesne rolnictwo polowe (w tym cały transport), rybołówstwo i akwakulturę stanowią zaledwie około 4 procent niedawnego rocznego globalnego zużycia energii. Może to być zaskakująco mały udział, ale należy pamiętać, że Słońce zawsze wykona większość pracy związanej z uprawą żywności i że zewnętrzne dotacje na energię są ukierunkowane na te składniki systemu żywieniowego, w przypadku których można oczekwać największych zysków poprzez zmniejszenie lub usunięcie naturalne ograniczenia — czy to przez nawożenie, nawadnianie, zapewnianie ochrony przed owadami, grzybami i konkurencyjnymi roślinami, czy przez szybkie zbieranie dojrzałych roślin. Niski udział można też uznać za kolejny

przekonujący przykład małych nakładów o nieproporcjonalnie dużych konsekwencjach, nierzadkim odkryciem w zachowaniu złożonych systemów: pomyśl o witaminach i minerałach, potrzebnych codziennie w zaledwie miligramach (witamina B6 lub miedź) lub mikrogramach (witamina D, witamina B12) do utrzymania ciała waży kilkadziesiąt kilogramów w dobrej kondycji.

Jednak energia potrzebna do produkcji żywności — uprawa roli, hodowla zwierząt i owoce morza — stanowi tylko część całkowitego zapotrzebowania na paliwo i energię elektryczną związaną z żywnością, a oszacowanie zużycia w całym systemie żywnościowym skutkuje znacznie wyższym udziałem w całkowitej podaży. Nasze najlepsze dane są dostępne dla Stanów Zjednoczonych, gdzie dzięki dominacji nowoczesnych technik i szeroko rozpowszechnionej ekonomii skali bezpośrednie zużycie energii w produkcji żywności wynosi obecnie około 1 procent całkowitej krajowej podaży.

[47](#) Jednak po dodaniu zapotrzebowania na energię w przetwórstwie i marketingu żywności, pakowaniu, transporcie, usługach hurtowych i detalicznych, przechowywaniu i przygotowywaniu żywności w gospodarstwie domowym oraz żywności i usługach marketingowych poza domem, łączna suma w USA osiągnęła prawie 16 procent zaopatrzenia kraju w energię w 2007 r., a teraz jest [48](#). Czynniki napędzające te rosnące potrzeby produkcji – a co za tym idzie ~~zmniejszenie pojętego blisko 20 procent obieżenia dalszej konsumentacji żywności, do większej liczby posiłków spożywanych poza domem i większej ilości gotowej (wygodnej) żywności spożywanej w domu.~~ [49](#) Istnieje wiele powodów, dla których nie powinniśmy kontynuować wielu dzisiejszych praktyk produkcji żywności. Główny wkład rolnictwa w wytwarzanie gazów cieplarnianych jest obecnie najczęściej przytaczanym uzasadnieniem podążania inną ścieżką. Jednak

współczesna uprawa roślin, hodowla zwierząt i akwakultura mają wiele innych niepożądanych skutków dla środowiska, od utraty bioróżnorodności po tworzenie martwych stref w wodach przybrzeżnych (więcej informacji na ten temat w [rozdziale 6](#)) – i nie ma dobrych powodów, aby je utrzymywać. nasza nadmierna produkcja żywności z towarzyszącym jej marnowaniem żywności. Tak więc wiele zmian jest wyraźnie pożądanego, ale jak szybko mogą one faktycznie nastąpić i jak radykalnie możemy zreformować nasze obecne sposoby w rzeczywistości?

Możemy wrócić?

Czy możemy odwrócić przynajmniej niektóre z tych trendów? Czy świat, który wkrótce będzie miał 8 miliardów ludzi, może sam się wyżywić — zachowując różnorodne rośliny uprawne i zwierzęta?

produktów i jakości obowiązujących diet – bez nawozów sztucznych i bez innych agrochemikaliów? Czy moglibyśmy wrócić do czysto organicznych upraw, opierając się na przetworzonych odpadach organicznych i naturalnych środkach zwalczania szkodników, i czy moglibyśmy obejść się bez nawadniania napędzanego silnikiem i bez maszyn polowych, sprowadzając zwierzęta pociągowe? Moglibyśmy, ale rolnictwo czysto organiczne wymagałoby od większości z nas porzucenia miast, przesiedlenia wiosek, zlikwidowania głównych zakładów karmienia zwierząt i sprowadzenia wszystkich zwierząt z powrotem na farmy, aby wykorzystać je do pracy i jako źródła obornika.

Codziennie musielibyśmy karmić i poić nasze zwierzęta, regularnie usuwać ich obornik, fermentując go, a następnie rozprowadzając na polach i doglądając stada i trzody na pastwisku. Kiedy sezonowe zapotrzebowanie na siłę roboczą rosło i malało, mężczyźni kierowali pługami zaprzęgniętymi do zaprzęgów konnych; kobiety i dzieci sadziły i pielęgały działki warzywne; i wszyscy rzucali się w czasie żniw i uboju, układając snopy pszenicy, wykopując ziemniaki, pomagając zamienić świeże ubite świnie i gęsi w żywność. Nie przewiduję, że ekologiczny ekologiczny komentator online uwzględni te opcje w najbliższym czasie. A nawet gdyby byli gotowi opróżnić miasta i przyjąć organiczną ziemistość, nadal mogliby produkować tylko tyle żywności, aby utrzymać mniej niż połowę dzisiejszej globalnej populacji.

Liczby potwierdzające wszystkie powyższe nie są trudne do zebrania. Spadek ludzkiej pracy wymaganej do produkcji amerykańskiej pszenicy, omówiony wcześniej w tym rozdziale, jest doskonałym przybliżeniem ogólnego wpływu, jaki mechanizacja i agrochemikalia wywarły na wielkość siły roboczej w rolnictwie w kraju. W latach 1800-2020 zmniejszyliśmy siłę roboczą potrzebną do wyprodukowania kilograma zboża o ponad 98 procent – i z takim samym dużym marginesem zmniejszyliśmy udział 50 ludności tego kraju zajmującej się rolnictwem. Stanowi przewodnik po głębokich przemianach gospodarczych, które musiałyby nastąpić przy każdym wycofaniu mechanizacji rolnictwa i ograniczeniu stosowania syntetycznych agrochemikaliów.

Im większa redukcja tych usług opartych na paliwach kopalnych, tym większa konieczność opuszczania miast przez siłę roboczą, aby produkować żywność na stare sposoby. Podczas szczytu liczby koni i mułów w Stanach Zjednoczonych przed 1920 r. jedna czwarta gruntów rolnych tego kraju była przeznaczona na uprawę paszy dla ponad 25 milionów amerykańskich koni i mułów pracujących — a w tym czasie amerykańskie farmy musiały wykarmić tylko około 105 milionów ludzie. Oczywiście wyżywienie dzisiejszych ponad 330 milionów ludzi przez rozmieszczenie „tylko” 25 milionów koni byłoby niemożliwe. A bez nawozów syntetycznych plony roślin spożywczych i paszowych

uzeleżniona od recyklingu materii organicznej byłaby ułamkiem dzisiejszych zbiorów. Kukurydza, największa uprawa w Ameryce, przyniosła mniej niż 2 tony z hektara w 51 w 1920 r., a 11 ton z hektara w 2020 r. byłaby pożerana do uprawy praktycznie całkowitej ziemi uprawnej w kraju, a byłoby niemożliwe znalezienie wystarczającej ilości materii organicznej podlegającej recyklingowi (i gorliwych, podobnych do Claude, lubiących obornik!) lub uprawiać wystarczająco duże obszary zielonego nawozu (ziarno obracające się z lucerną lub koniczną), aby dopasować się do składników odżywcznych dostarczanych przez dzisiejsze zastosowania nawozów syntetycznych.

Tę niemożliwość najlepiej ilustruje kilka zestawów prostych porównań.

Recykling materii organicznej jest zawsze bardzo pożądanym, ponieważ poprawia strukturę gleby, zwiększa jej zawartość organiczną i dostarcza energii dla niezliczonych drobnoustrojów glebowych i bezkręgowców. Jednak bardzo niska zawartość azotu w materii organicznej oznacza, że rolnicy muszą stosować bardzo duże ilości słomy lub obornika, aby zapewnić wystarczającą ilość tego niezbędnego dla roślin składnika odżywczego, aby uzyskać wysokie plony. Zawartość azotu w słomach zbożowych (najliczniejsze resztki pożniwne) jest zawsze niska, zwykle 0,3–0,6%; obornik zmieszany ze ściółką dla zwierząt (zwykle słomą) zawiera tylko 0,4–0,6 procent; sfermentowane ludzkie odchody (tzw. ziemia nocna w Chinach) zawierają zaledwie 1–3 procent; a nawozy stosowane na polach rzadko zawierają więcej niż 4 proc.

Natomiast mocznik, obecnie dominujący na świecie stałym nawozem azotowym, zawiera 46 procent azotu, azotan amonu ma 33 procent, a powszechnie stosowane roztwory płynne zawierają 28–32 procent, co najmniej 52 procent. Oznacza to, że ma odpady nadające się do recyklingu. dostarczać taką samą ilość składników odżywcznych niż rosnących upraw, rolnik musiałby zastosować od 10 do 40 razy więcej obornika na masę – a w rzeczywistości potrzeba by go jeszcze więcej, ponieważ znaczna część związków azotowych jest tracona z powodu ulatnianie lub rozpuszczenie w wodzie i przenoszenie poniżej poziomu korzeni, przy czym skumulowane straty azotu z materii organicznej są prawie zawsze wyższe niż w przypadku syntetycznej cieczy lub ciała stałego.

Co więcej, istniałoby więcej niż wspólne roszczenia dotyczące robocizny, ponieważ przenoszenie, transport i rozrzucanie obornika jest znacznie bardziej trudne niż zajmowanie się małymi, sypkimi granulkami, które można łatwo nakładać za pomocą mechanicznych rozrzutników lub (jak ma to miejsce w przypadku mocznika na małych azatyckich polach ryżowych) po prostu zasiewając go ręcznie. I niezależnie od wysiłku, jaki można włożyć w recykling organiczny, całkowita masa materiałów nadających się do recyklingu jest po prostu zbyt mała, aby zapewnić azot wymagany przy dzisiejszych zbiorach.

Globalny spis reaktywnego azotu pokazuje, że sześć głównych przepływów przynosi pierwiastek ziemi uprawnej świata: depozycja atmosferyczna, woda do nawadniania, przyoranie resztek pożniwowych, rozrzucanie obornika, azot pozostawiony w glebie przez rośliny strączkowe, stosowanie nawozów syntetycznych. [53](#)

Osadzanie atmosferyczne – głównie w postaci rozpuszczonego deszczu i śniegu azotany – i resztki pożniwne z recyklingu (słomy i łodygi roślin, które nie są usuwane z pól w celu karmienia zwierząt lub spalane na miejscu) dostarczają około 20 megaton azotu rocznie. Nawozy zwierzęce stosowane na polach, głównie od bydła, świń i kur, zawierają prawie 30 megaton; podobną sumę wprowadzają rośliny strączkowe (okrywowe nawozy zielone, a także soja, fasola, groch i ciecierzyca); a woda do nawadniania przynosi około 5 megaton – w sumie około 105 megaton azotu rocznie. Nawozy syntetyczne dostarczają rocznie 110 megaton azotu, czyli nieco ponad połowę z 210-220 megaton zużytych łącznie. Oznacza to, że co najmniej połowa ostatnich zbiorów zbóż na świecie została wyprodukowana dzięki zastosowaniu syntetycznych związków azotowych, a bez nich niemożliwe byłoby wytworzenie dotychczasowej diety nawet dla połowy z prawie 8 miliardów dzisiejszych ludzi. Chociaż moglibyśmy zmniejszyć naszą zależność od syntetycznego amoniaku jedząc mniej mięsa i marnując mniej żywności, zastąpienie globalnego wkładu około 110 megaton azotu w syntetycznych związkach źródłami organicznymi było możliwe tylko w teorii.

Wiele ograniczeń ogranicza recykling obornika wytwarzanego przez zwierzęta w zamknięciu. [54](#) W tradycyjnym systemie mieszanego obornik był lecz wyrzucały bezpośrednio przetwarzany na sąsiednie pola. Produkcja mięsa i jaj w centralnych zakładach żywienia zwierząt zmniejszyła tę opcję: przedsiębiorstwa te generują tak duże ilości odpadów, że ich zastosowanie na polach przeciążałoby glebę składnikami odżywczymi w promieniu, w którym opłacałoby się je rozrzucać; obecność metali ciężkich i leków [55](#) Podobne ograniczenia pozostałości (z dodatków paszowych) to kolejny problem. wykorzystania osadów ściekowych (biostały) z nowoczesnych [zastosowanie do rozszczepionego pozysekania ścieków!](#) Patogeny odpadów muszą zostać zniszczone przez fermentację i sterylizację w wysokiej temperaturze, ale takie zabiegi nie zabijają wszystkich bakterii odpornych na antybiotyki i nie usuwają wszystkich metali ciężkich.

Pasące się zwierzęta produkują trzy razy więcej obornika niż ssaki i ptaki trzymane w zamknięciu: FAO szacuje, że rocznie pozostawiają one około 90 megaton azotu w odpadach – ale eksploatacja tego dużego źródła jest niepraktyczna.

[56](#) Dostępność ograniczyłaby jakiekolwiek gromadzenie moczu zwierząt i

ekskrementy na ułamek setek milionów hektarów pastwisk, gdzie te odpady są wyrzucane przez pasące się bydło, owce i kozy.

Zebranie go byłoby również kosztowne, jak jego transport do punktów leczenia, a następnie na pola uprawne. Co więcej, interweniujące straty azotu jeszcze bardziej zredukowałyby i tak już bardzo niską zawartość azotu w takich odpadach, zanim składnik odżywczy mógłby dotrzeć na pola. ⁵⁷

Innym wyborem jest rozszerzenie uprawy roślin strączkowych do produkcji 50-60 megaton azotu rocznie, a nie około 30 megaton, jak to się dzieje obecnie, ale tylko przy znacznym koszcie alternatywnym. Sadzenie większej ilości roślin strączkowych, takich jak lucerna i koniczyna, zwiększyłoby podaż azotu, ale również zmniejszyłoby możliwość wykorzystania jednego pola do produkcji dwóch upraw w ciągu roku, co jest istotną opcją dla wciąż powiększającej się populacji krajów o niskich dochodach⁵⁸. Uprawa większej ilości zbóż strączkowych (fasoli, soczewicy, grochu) obniżyłaby ogólne plony energii żywnościowej, ponieważ plonują one znacznie mniej niż zboża i oczywiście zmniejszyłoby to liczbę ludzi, których można by utrzymać z jednostki ziemi uprawnej. ⁵⁹ Co więcej, azot ~~poziom 40 i 50 kg grazu na hektar~~ – byłby mniejszy niż w typowych amerykańskich zastosowaniach nawozów azotowych, które obecnie wynoszą około 75 kg N/ha dla pszenicy i 150 kg N/ ha na ziarno kukurydzy.

Inną oczywistą wadą rozszerzonego płodozmianu z roślinami strączkowymi jest: że w chłodniejszym klimacie, gdzie w ciągu roku można uprawiać tylko jedną roślinę, uprawa lucerny lub koniczyny uniemożliwiłaby corocze sadzenie roślin spożywczych, podczas gdy w cieplejszych regionach z podwójną uprawą zbioru roślin spożywczych. przy niewielkim ~~zwiększały~~ ⁶⁰ ~~wysokim położeniem~~ ^{wysokim położeniem} nieuchronnie zmniejszyłoby to możliwości produkcji żywności we wszystkich miejscach, w których powszechnie jest podwójne zbiory, w tym w dużej części Europy i na Nizinie Północnochińskiej, regionie, w którym produkuje się około połowy chińskiego zboża.

Podwójna uprawa jest obecnie praktykowana na ponad jednej trzeciej ziemi uprawnej w Chinach, a ponad jedna trzecia całego ryżu pochodzi z podwójnej uprawy w południowych Chinach⁶¹. W konsekwencji kraju nie byłby w stanie wyżywić wymaga również stosowania azotu na rekordowym poziomie. Nawet w tradycyjnym chińskim rolnictwie, słynącym z wysokiego wskaźnika recyklingu organicznego i złożonego płodozmianu, rolnicy z najbardziej intensywnie uprawianych regionów nie mogli dostarczać

ponad 120-150 kg N/ha – i wymagało to niezwykle wysokich nakładów pracy, przy czym (jak już podkreślano) zbieranie i nakładanie obornika jest najbardziej czasochłonne.

Mimo to takie farmy mogły produkować tylko w przeważającej mierze diety wegetariańskie dla 10–11 osób na hektar. W przeciwnieństwie do tego, najbardziej produktywne podwójne uprawy w Chinach zależą od stosowania syntetycznych nawozów azotowych średnio ponad 400 kg N/ha i mogą wyprodukować wystarczającą ilość żywności dla 20-22 osób, których dieta zawiera około 40 procent zwierząt i 60 procent roślin [62](#) Globalna uprawa roślin wspierane powszechnie jest dla mniejszości etnicznych i biednych ludzi sprzyjających głównie diety roślinne, ale nie dla prawie 8 miliardów ludzi na dietach mieszanych: przypomnijmy, że nawozy syntetyczne dostarczają obecnie ponad dwa razy więcej azotu niż wszystkie z recyklingu resztek pożniwowych i obornika (a biorąc pod uwagę wyższe straty z zastosowań organicznych, efektywna wielokrotność jest w rzeczywistości bliższa trzem!).

Robić za mniej — i robić bez

Ale nic z tego nie oznacza, że poważne zmiany w naszej zależności od dopłat do paliw kopalnych w produkcji żywności są niemożliwe. Najwyraźniej moglibyśmy ograniczyć produkcję roślinną i zwierzęcą oraz związane z tym dopłaty do energii, jeśli marnowaliśmy mniej żywności. W wielu krajach o niskich dochodach złe przechowywanie upraw (co powoduje, że ziarna i bulwy są podatne na gryzonie, owady i grzyby) oraz brak chłodzenia (przyspieszenie psucia się produktów mlecznych, ryb i mięsa) powoduje marnowanie zbyt dużej ilości żywności, zanim dotrą do swoich rynków. A w krajach zamożnych łańcuchy żywnościowe są dłuższe, a na każdym kroku pojawiają się okazje do nieumyślnych strat żywności.

Mimo to, dobrze udokumentowane globalne straty żywności były zbyt wysokie, głównie z powodu nieuzasadnionej różnicy między produkcją a rzeczywistymi potrzebami: średnie dzienne zapotrzebowanie na mieszkańca dorosłych w dużej mierze zamożnych populacjach prowadzących siedzący tryb życia wynosi nie więcej niż 2000–2100 kilokalorii, znacznie poniżej rzeczywiste dostawy 3200-4000 kilokalorii.⁶³ Według FAO średnia konsumpcja pokarmów wszystkich około jednej trzeciej wszystkich ryb, 30 procent zbóż i jedną piątą wszystkich roślin oleistych, mięsa i nabiału⁶⁴ A produkty Wielkiej Brytanii — lub co najmniej jedną trzecią całkowitej podaży żywności.

Program Działań na rzecz Odpadów i Zasobów ustalił, że niejadalne gospodarstwo domowe

odpady żywnościowe (w tym obierki z owoców i warzyw oraz kości) stanowią tylko 30 procent całości, co oznacza, że 70 procent zmarnowanej żywności było doskonale jadalne i nie zostało skonsumowane, ponieważ się zepsuło lub podano za dużo. [65](#) Zmniejszenie marnowania żywności może wydawać się znacznie łatwiejsze niż reformowanie złożonych procesów produkcyjnych, jednak ten przystępowany, niskowyszczędzający owoce byłby również do zatrudnienia.

Wyeliminowanie marnotrawstwa, które ma miejsce w całym długim i złożonym łańcuchu produkcja-przetwarzanie-dystrybucja-sprzedaż hurtowa-detaliczna-konsumpcja (od pól i stodół po talerze) jest niezwykle trudne. Amerykańskie bilanse żywności pokazują, że ogólnokrajowy udział marnowanej żywności pozostaje stabilny [66](#) I w ciągu ostatnich 40 lat, pomimo odwiecznych poprawy. większe marnotrawstwo żywności towarzyszyło poprawie żywienia w Chinach, wzrastać do gwałtownego poziomu gdzie przesunął się z niepewnej podaży żywności, która dominowała do wczesnych lat 80-tych, do średnich wskaźników per capita, które są obecnie wyższe niż w Japonii.

[67](#)

Wyższe ceny żywności powinny prowadzić do mniejszej ilości odpadów, ale nie jest to pożąданie sposób na rozwiązywanie problemu w krajach o niskich dochodach – gdzie dostęp do żywności dla wielu rodzin znajdujących się w niekorzystnej sytuacji pozostaje niepewny i gdzie żywność nadal ma duży udział w ogólnych wydatkach rodzinnych – podczas gdy w krajach zamożnych, gdzie żywność jest stosunkowo niedroga, wymagałoby to znacznych podwyżek cen, a polityka, która nie ma chętnych promotorów. [68](#)

W zamożnych społeczeństwach lepszym sposobem na zmniejszenie uzależnienia rolnictwa od dopłat do paliw kopalnych jest apelowanie o przyjęcie zdrowych i satysfakcjonujących alternatyw dla dzisiejszych, nadmiernie bogatych i mięsnych diet – najłatwiejszym wyborem jest umiarkowane spożycie mięsa i faworyzowanie mięsa, które można uprawiać o mniejszym wpływie na środowisko.

Dążenie do weganizmu na masową skalę jest skazane na porażkę. Jedzenie mięsa jest równie ważnym elementem naszego ewolucyjnego dziedzictwa, jak nasze duże mózgi (które ewoluowały częściowo z powodu jedzenia mięsa) [69](#). Wszyscy nasi przodkowie hominów byli dwunożni i używali języka gatunki szimpanów (Pan troglodytes i Pan paniscus), symbolicznego wszelkożernego podobnego jak oba homonimy najbliższego nam pod względem genetycznym; uzupełniają dietę roślinną, polując (i dzieląc się) małpami, dzikimi

świnie i żółwie.

[70](#)

Pełna ekspresja ludzkiego potencjału wzrostu na podstawie populacji może zająć miejsce tylko wtedy, gdy diety w dzieciństwie i okresie dojrzewania zawierają wystarczające ilości białka zwierzęcego, najpierw w mleku, a później w innych produktach mlecznych, jajach i mięsie: wzrost wysokości ciała po 1950 r. w Japonii, Korei Południowej i

Chiny, w wyniku zwiększonego spożycia produktów zwierzęcych, są niewątpliwymi świadectwami tej rzeczywistości.⁷¹ I odwrotnie, większość ludzi, którzy zostają wegetarianami lub weganami, nie pozostaje nimi przez resztę swojego życia. Pomyśl, że miliardy ludzi – na całym świecie, nie tylko w zamożnych miastach zachodnich – świadomie nie jedzą żadnych produktów pochodzenia zwierzęcego, albo że rządy będą miały wystarczające poparcie, aby w niedługim czasie to wymusić, jest śmieszna.

Ale nic z tego nie oznacza, że nie moglibyśmy jeść dużo mniej mięsa niż zamożni⁷²

kraje uśredniały się w ciągu ostatnich dwóch pokoleń. — Wyrażona w kategoriach masy tuszy, roczna podaż mięsa w wielu krajach o wysokich dochodach wynosi średnio blisko lub nawet przekracza 100 kilogramów na mieszkańca — ale najlepszą radą żywieniową jest to, że nie musimy jeść więcej niż mięso dorosłego człowieka. ekwiwalent masy ciała w miesiącu rocznie w celu uzyskania odpowiedniej ilości wysokiej jakości białka.⁷³

Podczas gdy weganizm jest marnotrawstwem cennej biomasy (tylko przeżuwanie – czyli bydło, owce i kozy – mogą trawić takie celulozowe tkanki roślinne, jak słoma i łodygi),mięsożerność na wysokim poziomie nie ma udowodnionych korzyści odżywczych: z pewnością nie dodaje żadnych lat średniej długości życia i jest źródłem dodatkowego stresu środowiskowego. Spożycie mięsa w Japonii, kraju o największej na świecie długości życia, spadło ostatnio poniżej 30 kilogramów rocznie; o wiele mniej docenianym faktem jest to, że podobnie niskie wskaźniki spożycia stały się dość powszechnie we Francji, która tradycyjnie jest krajem o wysokim spożyciu mięsa.

Do 2013 roku prawie 40 procent dorosłych Francuzów było drobnymi konsumatorami, jedząc mięso tylko w niewielkich ilościach, dodając do mniej niż 39 kg rocznie, podczas gdy konsumenci ciężkiego mięsa, średnio około 80 kg/rok, stanowili mniej niż 30 procent Francuzów.⁷⁴ dorośli ludzie.

Oczywiście, gdyby wszystkie kraje o wysokich dochodach podążyły za tymi przykładami, mogłyby ograniczyć zbiory — ponieważ większość ich zbiorów zbóż nie jest przeznaczona bezpośrednio na żywność, ale na paszę dla zwierząt.⁷⁵ Nie jest to uniwersalna. Podczas gdy spożycie mięsa w wielu zamożnych krajach spada i może być jeszcze bardziej ograniczone, gwałtownie rośnie w tak modernizujących się krajach, jak Brazylia i Indonezja (gdzie mają ponad

podwoiła się od 1980 r.) oraz Chin (gdzie wzrosły czterokrotnie od 1980 r.).⁷⁶ Co więcej, w Azji i Afryce są miliardy ludzi, których spożycie mięsa pozostaje minimalne i których zdrowie skorzystałoby na bardziej mięsnej diecie.

Dodatkowe możliwości zmniejszenia zależności od syntetycznych nawozów azotowych pojawiają się po stronie produkcyjnej – na przykład poprawa efektywności pobierania azotu przez rośliny. Ale znowu te możliwości są ograniczone. W latach 1961-1980 nastąpił znaczny spadek udziału azotu stosowanego faktycznie przyswojonego przez uprawy (z 68 do 45 procent), a następnie ustabilizował się na poziomie około 47 procent.

[77](#) A w Chinach,

największym światowym konsumecie nawozów azotowych, tylko jedna trzecia stosowanego azotu jest faktycznie wykorzystywana przez ryż; reszta jest tracona w atmosferze oraz w wodach gruntowych i strumieniowych. [78](#) Biorąc pod uwagę, że spodziewamy się co najmniej 2 miliardów ludzi więcej do 2050 r. oraz że ponad dwa razy więcej ludzi w krajach o niskich dochodach Azji i Afryki powinno odczuć dalsze wzrosty – zarówno pod względem ilości, jak i jakości – w zaopatrzeniu w żywność, nie ma krótkoterminowa perspektywa znacznego zmniejszenia globalnego uzależnienia od syntetycznych nawozów azotowych.

Istnieją oczywiste możliwości eksploatacji maszyn polowych bez paliw kopalnych. Nawadnianie bezemisyjne może stać się powszechnie w przypadku pomp zasilanych energią elektryczną generowaną przez energię słoneczną lub wiatrową, a nie silnikami spalinowymi. Baterie o lepszej gęstości energii i niższych kosztach umożliwiłyby przekształcenie większej liczby ciągników i ciężarówek na napęd elektryczny. [79](#) A w następnym rozdziale wyjaśnię alternatywy dla dominującej syntezy amoniaku opartej na gazie ziemnym. Ale żadnej z tych opcji nie można zastosować ani szybko, ani bez dodatkowych (i często znaczących) inwestycji.

Te postępy są obecnie bardzo odległe. Będą zależeć od niedrogie wytwarzanie energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych wsparcie odpowiednim magazynowaniem na dużą skalę, połączenie, które nie zostało jeszcze skomercjalizowane (a alternatywa dla dużych elektrowni szczytowo-pompowych nie została jeszcze wynaleziona; więcej informacji można znaleźć w [rozdziale 3](#)). Prawie idealnym rozwiązaniem byłoby wyhodowanie roślin zbożowych lub oleistych o zdolnościach wspólnych dla roślin strączkowych – to znaczy, których korzenie zawierają bakterie zdolne do przekształcania obojętnego azotu atmosferycznego w azotany. Naukowcy zajmujący się roślinami marzyli o tym od dziesięcioleci, ale nigdy nie pojawią się komercyjne odmiany pszenicy lub ryżu wiążące azot wkrótce. [80](#) Nie jest też prawdopodobne, że wszystkie kraje zamożne i zamożniejsze modernizujące się gospodarki przyjmą na dużą skalę dobrowolne redukcje ilości i różnorodności swoich typowych diet lub że zasoby (paliwo, nawozy i maszyny) zaoszczędzone dzięki takim wycofaniom zostaną przeniesione do Afryki, aby poprawić wciąż ponure odżywianie kontynentu.

Pół wieku temu Howard Odum — w swoim systematycznym badaniu energii i środowisko — zauważałem, że nowoczesne społeczeństwa „nie rozumiały zaangażowanej energetyki i różnych środków, za pomocą których energie wchodzące w złożony system są przekazywane z powrotem jako dotacje pośrednio do wszystkich części sieci energia ~~stacjonarnego i dynamicznej, ją zasila i z której korzysta~~. z

81

Pięćdziesiąt lat później ta egzystencjalna zależność wciąż nie jest dostatecznie doceniana – ale czytelnicy tej książki rozumieją teraz, że nasza żywność składa się częściowo nie tylko z ropy, ale także z węgla, który był używany do produkcji koksu potrzebnego do wytopu żelaza potrzebnego do pracy na polu., transport i maszyny do przetwarzania żywności; gazu ziemnego, który służy zarówno jako surowiec, jak i paliwo do syntezy nawozów azotowych; oraz energii elektrycznej wytwarzanej przez spalanie paliw kopalnych, która jest niezbędna do przetwarzania upraw, opieki nad zwierzętami oraz przechowywania i przygotowywania żywności i pasz.

Wyższe plony współczesnego rolnictwa nie są uzyskiwane przy użyciu ułamka pracy, która była wymagana zaledwie kilka lat temu, ponieważ poprawiliśmy wydajność fotosyntezy, ale ponieważ zapewniliśmy lepsze odmiany upraw z lepszymi warunkami do ich wzrostu, dostarczając im odpowiednie składniki odżywcze i wodę, zmniejszając chwasty konkurencyjne o te same nakłady i chroniąc je przed szkodnikami. Jednocześnie nasze znacznie zwiększone chwytanie dzikich gatunków wodnych zależało od rozszerzenia zakresu i intensywności połówów, a rozwój akwakultury nie mógłby nastąpić bez zapewnienia odpowiednich wygodzeń i wysokiej jakości paszy.

Wszystkie te krytyczne interwencje wymagały znacznych i rosnących nakładów paliw kopalnych; i nawet jeśli spróbujemy zmienić światowy system żywnościowy tak szybko, jak to realistycznie możliwe, będziemy spożywać przetworzone paliwa kopalne, czy to w postaci bochenków chleba, czy ryb, przez nadchodzące dziesięciolecia.



3. Zrozumienie naszego materialnego świata

Cztery filary współczesnej cywilizacji

Tam, gdzie ma to znaczenie, ranking jest niemożliwy – a przynajmniej niewskazany. Serce nie jest ważniejsze niż mózg; witamina C jest nie mniej niezbędna dla ludzkiego zdrowia niż witamina D. Zaopatrzenie w żywność i energię, dwie egzystencjalne potrzeby omówione w poprzednich rozdziałach, byłoby niemożliwe bez masowej mobilizacji wielu materiałów wytworzonych przez człowieka – metali, stopów, niemetali i związki syntetyczne — i to samo dotyczy wszystkich naszych budynków i infrastruktury oraz wszystkich środków transportu i komunikacji. Oczywiście nie wiedziałbyś o tym, gdybyś oceniał znaczenie tych materiałów na podstawie uwagi, jaką przyciągają (a raczej nie otrzymują), nie tylko z „wiadomości” w środkach masowego przekazu, ale także z rzekomo znacznie bardziej wznowistnych analiz lub prognoz ekonomicznych znaczących wydarzeń.

Cały ten artykuł dotyczy w przeważającej mierze tak niematerialnych, niematerialnych zjawisk, jak roczny procentowy wzrost PKB (jak zachodni ekonomiści zwykli omamić dwucyfrowe stopy Chin!), rosnące wskaźniki zadłużenia krajowego (nieistotne w świecie Nowoczesnej Teorii Monetarnej, z podaż pieniądza postrzegana jako nieograniczona), rekordowe sumy przebrane na nowe pierwsze oferty publiczne (dla tak krytycznych egzystencjalnie wynalazków, jak aplikacje do gier), korzyści z bezprecedensowej łączności mobilnej (oczekiwanie na sieci 5G jako coś bliskiego drugiemu nadzieję) czy obietnice sztucznej inteligencji nieuchronnie przemieniając nasze życie (pandemia była doskonałym dowodem całkowitej pustki takich roszczeń).

Najpierw najważniejsze. Moglibyśmy mieć zasłużonego i dość zamożnego cywilizacja, która zapewnia mnóstwo pożywienia, wygod materialnych, dostęp do edukacji i opieki zdrowotnej, bez połoprzewodników, mikroukładów czy komputerów osobistych: mieliśmy ją odpowiednio do połowy lat 50. (pierwsze komercyjne zastosowania tranzystorów), do początku lat 70. (pierwsze mikroprocesory firmy Intel) i na początku lat 80. (pierwsze posiadanie komputerów PC na większą skalę). I do lat 90. udało nam się zintegrować gospodarki, zmobilizować niezbędne

inwestycje, buduj niezbędną infrastrukturę i łącz świat samolotami szerokokadłubowymi bez smartfonów, mediów społecznościowych i dziecięcych aplikacji. Ale żaden z tych postępów w elektronice i telekomunikacji nie mógłby się odbyć bez zapewnienia energii i materiałów wymaganych do urzeczywistnienia wynalazków w nieskończonych komponentach, urządzeniach, zespołach i systemach zużywających energię elektryczną, od małekich mikroprocesorów po ogromne centra danych.

Krzem (Si) rozrobiony na cienkie wafle (podstawowe podłożę mikrochipów) to materiał sygnaturowy ery elektronicznej, ale bez niego miliardy ludzi mogłyby żyć dostatnio; nie jest egzystencjalnym ograniczeniem współczesnej cywilizacji. Wytwarzanie dużych kryształów krzemu o wysokiej czystości (99.999999999 procent czystości), które są cięte na wafle, jest złożonym, wieloetapowym i bardzo energochłonnym procesem: kosztuje dwa rzędy wielkości więcej energii pierwotnej niż wytwarzanie aluminium z boksytu i trzy rzędy o wielkości większej niż wytop żelaza.² Adecydujące jest bardzo obfity (Si jest drugim najpowszechniejszym pierwiastkiem w skorupie ziemskiej — prawie 28%, w porównaniu do 49% tlenu), a roczna produkcja krzemu klasy elektronicznej jest bardzo mała w porównaniu z innymi niezbędnymi materiałami, ostatnio na zamówienie 10 000 ton wafli.³

Oczywiście roczne zużycie materiału nie jest najlepszym wskaźnikiem jego niezbędność, ale w tym przypadku werdykt jest jasny: tak pożyteczne i tak transformujące, jak postępy elektroniki po 1950 r., nie stanowią nieodzownych materialnych fundamentów współczesnej cywilizacji. I chociaż nie może być bezspornego uporządkowania naszych potrzeb materialnych w oparciu o twierdzenia o ich ważności, mogę zaproponować obronny ranking, który uwzględnia ich niezbędność, wszechobecność i wielkość popytu. Cztery materiały zajmują najwyższe miejsce w tej łącznej skali i tworzą to, co nazwałem czterema filarami współczesnej cywilizacji: cement, stal, tworzywa sztuczne i amoniak.⁴

Fizycznie i chemicznie te cztery materiały wyróżnia ogromna różnorodność właściwości i funkcji. Jednak pomimo tych różnic w atrybutach i konkretnych zastosowaniach, łączy je coś więcej niż tylko ich niezbędność dla funkcjonowania nowoczesnych społeczeństw. Są one potrzebne w większych (i wciąż rosnących) ilościach niż inne niezbędne środki. W 2019 roku świat zużył około 4,5 miliarda ton cementu, 1,8 miliarda ton stali, 370 milionów ton tworzyw sztucznych i 150 milionów ton amoniaku i nie da się ich łatwo zastąpić innymi materiałami – z pewnością nie w najbliższej przyszłości ani w przyszłości. skalę globalną.⁵

Jak zauważono w rozdziale 2, tylko niemożliwy całkowity recykling wszystkich odpadów uśmierconych przez wypasane zwierzęta, wraz z niemal idealnym recyklingiem wszystkich innych źródeł azotu organicznego, może zapewnić ilość azotu stosowanego corocznie do upraw w nawozach na bazie amoniaku. Tymczasem nie ma innych materiałów, które mogłyby konkurować z kombinacją plastyczności, trwałości i lekkości oferowanej przez wiele rodzajów tworzyw sztucznych. Podobnie, nawet gdybyśmy byli w stanie wyprodukować identyczne masy tarcicy budowlanej czy kamieniołomu, nie mogły one dorównać wytrzymałości, wszechstronności i trwałości żelbetu. Moglibyśmy budować piramidy i katedry, ale nie eleganckie, długie przęsła łukowych mostów, gigantyczne tamy hydroelektryczne, wielopasmowe drogi czy długie pasy startowe na lotniskach. A stal stała się tak wszechobecna, że jej niezastąpione zastosowanie determinuje naszą zdolność do pozyskiwania energii, produkcji żywności i schronienia populacji, a także zapewniania zasięgu i jakości całej niezbędnej infrastruktury: żaden metal nie może, nawet w oddali, stać się jej substytutem.

Inna kluczowa wspólna cecha tych czterech materiałów jest szczególnie godna uwagi, gdy rozważamy przyszłość bez węgla kopalnego: produkcja na masową skalę wszystkich z nich w dużym stopniu zależy od spalania paliw kopalnych, a niektóre z tych paliw dostarczają również surowce do syntezy amoniaku i do produkcji tworzyw sztucznych.

[6](#) Wytop rudy żelaza w wielkich piecach wymaga koksu z węgla (a także gazu ziemnego); energia do produkcji cementu pochodzi głównie z miału węglowego, koksu naftowego i ciężkiego oleju opałowego. Ogromna większość prostych cząsteczek, które są połączone w długie łańcuchy lub rozgałęzienia w celu wytworzenia tworzyw sztucznych, pochodzi z ropy naftowej i gazów ziemnych. A w nowoczesnej syntezie amoniaku gaz ziemny jest zarówno źródłem wodoru, jak i energii przetwarzania.

W rezultacie globalna produkcja tych czterech niezbędnych materiałów pochłania około 17 procent światowych dostaw energii pierwotnej i 25 procent wszystkich emisji CO₂ pochodzących ze spalania paliw kopalnych – a obecnie nie ma dostępnych na rynku i łatwo wdrażanych na skalę masową alternatywy dla zastąpienia tych ustalonych procesów.

[7](#) Chociaż nie brakuje propozycji i eksperymentalnych technik produkcji tych materiałów bez polegania na węglu kopalnym – począwszy od nowych katalizatorów syntezy amoniaku po wytwarzanie stali opartej na wodorze – żadna z tych alternatyw nie została skomercjalizowana, a nawet jeśli agresywne dążenie do nie- miałyby mieć miejsce opcje węglowe, oczywiście zajęłyby dziesięciolecia, aby zastąpić istniejące moce produkcyjne, po przystępnych cenach, z rocznymi stawkami od [8](#) setek milionów do miliardów ton.

Aby naprawdę docenić znaczenie tych materiałów, wyjaśnię ich podstawowe właściwości i funkcje, krótko opisuję historię postępu technicznego i epokowych wynalazków, które uczyniły je powszechnie dostępnymi i przystępными cenowo, oraz opisuję ogromną różnorodność ich współczesnych zastosowań. Zacznę od amoniaku — ponieważ jest niezbędny do wyżywienia rosnącej części światowej populacji — i przejdę, w kolejności rocznej globalnej produkcji masowej, do tworzyw sztucznych, stali i cementu.

Amoniak: gaz, który żywi świat

Spośród czterech substancji (i mimo mojej niechęci do rankingów!) to właśnie amoniak zasługuje na pierwsze miejsce jako nasz najważniejszy materiał. Jak wyjaśniono w poprzednim rozdziale, bez jego zastosowania jako dominującego nawozu azotowego (bezpośrednio lub jako surowca do syntezy innych związków azotowych) niemożliwe byłoby wyżywienie co najmniej 40 proc., a nawet 50 proc. dzisiejszych prawie 8 miliardów ludzi. . Upraszczając: w 2020 roku prawie 4 miliardy ludzi nie żyłoby bez syntetycznego amoniaku. Żadne porównywalne egzystencjalne ograniczenia nie dotyczą tworzyw sztucznych czy stali, ani cementu potrzebnego do produkcji betonu (ani, jak już wspomniano, krzemu).

Amoniak jest prostym związkiem nieorganicznym jednego azotu i trzech wodorów (NH_3), co oznacza, że azot stanowi 82 procent jego

⁹ mas. – Pod ciśnieniem atmosferycznym jest niewidocznym gazem o charakterystycznym ostrym zapachu niespłukanych toalet lub rozkładającego się nawozu zwierzęcego. Wdychanie go w niskich stężeniach powoduje bóle głowy, nudności i wymioty; wyższe stężenia podrażniają oczy, nos, usta, gardło i płuca; a wdychanie bardzo wysokich stężeń może być natychmiast śmiertelne. Natomiast amon⁺ (~~N₂H₄ jest to nietoksyczny związek, który po spaleniu daje gęsty dym karkowodzie, jest~~)

Syntezą tej prostej cząsteczki była zaskakująco trudna. Historia wynalazków obejmuje słynne przypadki przypadkowych odkryć; w tym rozdziale poświęconym materiałom historia teflonu może być najlepszym przykładem.

W 1938 roku Roy Plunkett, chemik z DuPont, i jego asystent Jack Rebok opracowali tetrafluoroetylen jako nowy związek chłodniczy. Po przechowywaniu go w chłodzonych butlach odkryli, że związek przeszedł nieoczekiwana polimeryzację, zamieniając się w politetrafluoroetylen, biały, woskowy, śliski proszek. Po II wojnie światowej Teflon stał się jednym z

najbardziej znane materiały syntetyczne i być może jedyne, które weszły do politycznego żargonu (mamy prezydentów z Teflonu, ale pozornie nie ma prezydentów bakelitu – choć była Żelazna Dama). [10](#)

Synteza amoniaku z jego pierwiastków należy do przeciwej klasy odkryć — tych, które mają jasno określony cel, do którego dążą jedni z najlepiej wykwalifikowanych naukowców, a do których ostatecznie doszedł wytrwały badacz. Potrzeba tego przełomu była oczywista. W latach 1850-1900 całkowita populacja uprzemysłowionych krajów Europy i Ameryki Północnej wzrosła z 300 milionów do 500 milionów, a szybka urbanizacja pomogła w przejściu żywieniowym z ledwie wystarczającej podaży zdominowanej przez zboża na ogólnie wyższe spożycie energii zawierającej więcej zwierząt produkty i [11](#) cukru. bezprecedensowa eksplansja ziem uprawnych: w latach 1850-1900 około 200 milionów hektarów północno- i południowodemperduzszalny i dojrzalskich azotanów skutkująby awspółstaniem przekształconych w pola zbożowe. [12](#) Dojrzewanie nauk agronomicznych wyjaśniło, że jedynym sposobem na zapewnienie odpowiedniej ilości pożywienia dla większych populacji w XX wieku było zwiększenie plonów poprzez zwiększenie podaży azotu i fosforu,

dwoch kluczowych makroskładników roślinnych. Wydobycie fosforanów (najpierw w Karolinie Północnej, a następnie na Florydzie) i ich obróbka kwasami otworzyły drogę do niezawodnych dostaw nawozów fosforowych. [13](#) Nie było jednak porównywalnie pewnego źródła azotu. Wydobycie guana (nagromadzone ptasie odchody, umiarkowanie bogate w azot) na suchych tropikalnych wyspach szybko wyczerpało najbogatsze złóżek, a do importu dalszych krajów nieco dalej był niewystarczający, aby zaspokoić przyszłego globalnego popytu.

[14](#)

Wyzwaniem było zapewnienie ludzkości wystarczającej ilości azotu, aby utrzymać rosnącą liczbę. Potrzebę wyjaśnił w możliwie najjaśniejszy sposób w 1898 r. William Crookes, chemik i fizyk, do Brytyjskiego Stowarzyszenia Postępu Naukowego, w jego przemówieniu prezydenckim poświęconym tak zwanemu problemowi pszenicy. Ostrzegł, że „wszystkie cywilizowane narody stoją w śmiertelnym niebezpieczeństwie braku wystarczającej ilości jedzenia”, ale widział wyjście: nauka przychodzi na ratunek, wykorzystując praktycznie nieograniczoną masę azotu w atmosferze (obecną jako niereaktywna cząsteczka N₂). oraz przekształcanie go w związki przyswajalne przez rośliny. Słusznie stwierdził, że to wyzwanie „różni się materialnie od innych substancji chemicznych

odkrycia, które są, że tak powiem, w powietrzu, ale nie są jeszcze dojrzałe. Wiązanie azotu ma zasadnicze znaczenie dla postępu cywilizowanej ludzkości. Inne odkrycia służą naszemu zwiększonemu komfortowi intelektualnemu, luksusowi lub wygodzie; służą ułatwieniu życia, przyspieszeniu zdobywania bogactwa, zaoszczędzeniu czasu, zdrowia lub zmartwień. Wiązanie azotu to kwestia niedalekiej przyszłości".¹⁵ Wizja Crookesa zrealizowała się zaledwie 10 lat po jego przemówieniu. Synteza

amoniaku z jego pierwiastków, azotu i wodoru, poszukiwało wielu wysoko wykwalifikowanych chemików (m.in. Wilhelm Ostwald, laureat Nagrody Nobla w dziedzinie chemii w 1909 r.), ale w 1908 r. Fritz Haber – ówczesny profesor chemii fizycznej i elektrochemii na Technische Hochschule w Karlsruhe – pracującą ze swoim angielskim asystentem Robertem Le Rossignolem i wspierana przez BASF, wiodące przedsiębiorstwo chemiczne w Niemczech (i na świecie), była pierwszym badaczem, który odniósł sukces. Jego rozwiązanie polegało na ~~użyciu żelazowego związku~~, który zwiększa szybkość reakcji chemicznej bez zmiany własnego składu) i zastosowaniu niespotykanego ciśnienia reakcji.

Nie mniejszym wyzwaniem było zwiększenie eksperymentalnego sukcesu Habera do komercyjne przedsiębiorstwo. Pod kierownictwem Carla Boscha, eksperta w dziedzinie inżynierii chemicznej i metalurgicznej, który dołączył do BASF w 1899 roku, sukces osiągnięto w ciągu zaledwie czterech lat. Pierwsza na świecie instalacja do syntezy amoniaku została uruchomiona w Oppau we wrześniu 1913 roku i od tego czasu termin „proces Haber Boscha” trwa do¹⁷ dziś.

W ciągu roku amoniak z fabryki w Oppau został przekierowany do produkcji azotanu potrzebne do produkcji materiałów wybuchowych dla armii niemieckiej. Teraz, znacznie większa fabryka amoniaku została ukończona w 1917 r. w Leuna, ale niewiele to zrobiło, aby zapobiec klęsce Niemiec. Powojenna ekspansja syntezy amoniaku przebiegała pomimo kryzysu gospodarczego lat 30. i trwała podczas II wojny światowej, ale do 1950 r. syntetyczny amoniak był nadal znacznie mniej powszechny niż oborników zwierzęcych.¹⁸

Kolejne dwie dekady przyniosły ośmiokrotny wzrost produkcji amoniaku do nieco ponad 30 milionów ton rocznie, ponieważ nawozy syntetyczne umożliwiły Zieloną Rewolucję (rozpoczętą w latach 60.) – przyjęcie nowych, lepszych odmian pszenicy i ryżu, które po dostarczeniu odpowiedniej ilości azotu dawały niespotykane plony. Kluczowymi innowacjami stojącymi za tym wzrostem było zastosowanie

gaz ziemny jako źródło wodoru oraz wprowadzenie wydajnych sprężarek odśrodkowych i lepszych katalizatorów.

[19](#)

Następnie, podobnie jak w wielu innych przypadkach nowoczesnego rozwoju przemysłowego, prym przejęły Chiny po Mao. Mao był odpowiedzialny za najstraszliwszy głód w historii (1958-1961), a kiedy zmarł w 1976 r., podaż żywności w kraju per capita była niewiele lepsza niż wtedy, gdy ogłosił istnienie [20](#) pierwszej poważnej transakcji biznesowej w Chinach, która nastąpiła po komunistycznym państwie w 1949.

Wyjazd prezydenta Nixona do Pekinu w 1972 roku był zamówieniem na 13 najnowocześniejszych na świecie zakładów amoniaku-mocznika od MW Kellogg z Teksasu.

[21](#) Do

1984 r. kraj zniósł miejskie racjonowanie żywności, a do 2000 r. jego średnia dzienna podaż żywności na mieszkańca była wyższa niż w Japonii.

[22](#) Jedynym sposobem, aby to osiągnąć, było przełamanie bariery azotowej kraju i zwiększenie rocznych zbiorów zbóż do ponad 650 milionów ton rocznie.

Najlepszy opis ostatnich przepływów azotu w rolnictwie Chin pokazuje, że około 60 procent składników odżywcznych dostępnych dla upraw w kraju pochodzi z syntetycznego amoniaku: karmienie trzech na pięciu chińskich populacji w ten sposób [23](#) tego związku. średnia wynosi około 50 procent. Ta zależność jest jednym z głównych przyczyn głodu i głębokiej stagnacji gospodarczej Chin. Wystarczy spojrzeć na historię amoniaku Habera-Boscha, aby móc najbardziej doniosły postępem technicznym w historii. Inne wynalazki, jak słusznie ocenił William Crookes, służą naszej wygodzie, wygodzie, luksusowi, bogactwu lub produktywności, a inne jeszcze ratują nasze życie przed przedwczesną śmiercią i przewlekłymi chorobami – ale bez syntez amoniaku nie moglibyśmy zapewnić przetrwania dużych udziałów

dzisiejszej i jutrzyszcej populacji.

[24](#)

Spieszę dodać, że 50 procent ludzkości zależnej od amoniaku to nie niezmienne przybliżenie. Biorąc pod uwagę dominujące diety i praktyki rolnicze, syntetyczny azot żywii połowę ludzkości – lub, jeśli wszystko inne jest równe, połowa światowej populacji nie mogłaby się utrzymać bez syntetycznych nawozów azotowych. Ale udział ten byłby mniejszy, gdyby zamożny świat przestawił się na w większości bezmięsną dietę indyjską, i byłby wyższy, gdyby cały świat jedł tak samo, jak Chińczycy dzisiaj, nie mówiąc już o powszechnym przyjęciu amerykańskiej diety. [25](#) Moglibyśmy również zmniejszyć naszą zależność od nawozów azotowych, ograniczając marnowanie, wykorzystując nowe technologie i rozwijając alternatywne źródła dostarczające substytutami nawozów.

Około 80 procent światowej produkcji amoniaku jest wykorzystywane do nawożenia upraw; reszta służy do produkcji kwasu azotowego, materiałów wybuchowych, paliw rakietowych, barwników,

włókna oraz środki do czyszczenia okien i podłóg. ²⁶ Przy odpowiednich środkach ostrożności i specjalnym sprzęcie amoniak może być aplikowany bezpośrednio ²⁷ na polach gleby, zatrzymywany jako niezbędny surowiec do produkcji stałych i płynnych nawozów azotowych. Dominuje mocznik, nawóz stały o najwyższej zawartości azotu (46%). ²⁸ Ostatnio stanowi około 55 procent całego azotu stosowanego na ~~polach gleby, zatrzymywanych na stosowanych w Chinach i Indiach~~ i Indiach – dwóch najludniejszych krajach świata – oraz do gwarantowania dobrych plonów. w pięciu innych krajach azjatyckich liczących ponad 100 milionów mieszkańców. ²⁹ Mniej ważne nawozy azotowe to saletra amonowa, siarczan amonu i saletra wapniowo-amonowa oraz różne roztwory płynne. Po zastosowaniu nawozów azotowych na polach prawie niemożliwe

jest kontrolowanie ich naturalnych strat spowodowanych ulatnianiem się (ze związków amoniaku), wymywaniem (azotany są łatwo rozpuszczalne w wodzie) i denitryfikacją (wywołana przez bakterie konwersja azotanów z powrotem do azotu cząsteczki w powietrzu).

30

Obecnie istnieją tylko dwa skuteczne bezpośrednie rozwiązania strat azotu w polu: rozprowadzanie drogich związków o powolnym uwalnianiu; i, bardziej praktycznie, przejście na rolnictwo precyzyjne i stosowanie nawozów tylko w razie potrzeby na podstawie analiz gleby. ³¹ Jak już zauważono, ~~działalność rolnicza jest zbyt intensywna i pozytywna~~ – mogą być skuteczne, ale nie cieszą się dużą popularnością. W rezultacie jest mało prawdopodobne, aby jakakolwiek realistycznie wyobrażalna kombinacja tych rozwiązań mogła spowodować radykalną zmianę w światowym zużyciu nawozów azotowych. Obecnie rocznie syntetyzuje się około 150 megaton amoniaku, z czego około 80 procent jest wykorzystywane jako nawóz. Prawie 60 procent tego nawozu stosuje się w Azji, około jedna czwarta w Europie i Ameryce Północnej, a mniej niż 5 procent w Afryce. ³² Większość bogatych krajów z pewnością mogłaby i powinna wycofać swoje wysokie wskaźniki stosowania (ich średnia podaż żywieniowa mieszkańca jest już zbyt wysoka), a Chiny i Indie – dwaj intensywni konsumenci mają wiele możliwości ograniczenia nadmiernego stosowania nawozów.

Jednak Afryka, kontynent o najszybciej rosnącej populacji, pozostaje pozbawiony składników odżywczych i jest znaczącym importerem żywności. Wszelka nadzieja na większą samowystarczalność żywnościową opiera się na zwiększeniu wykorzystania azotu: w końcu niedawne zużycie amoniaku na kontynencie stanowiło mniej niż jedną zwiększających pozycję ³³ najlepszych (i od dawna poszukiwanych) rozwiązań

podaży byłoby wyposażenie roślin innych niż strączkowe w zdolność wiążania azotu, obiecująca inżynieria genetyczna jeszcze nie została zrealizowana, podczas gdy mniej radykalna opcja – zaszczepianie nasion bakterią wiążącą azot – jest niedawną innowacją, której ostateczny zasięg komercyjny jest nadal niejasny.

Tworzywa sztuczne: różnorodne, użyteczne, kłopotliwe

Tworzywa sztuczne to duża grupa syntetycznych (lub półsyntetycznych) materiałów organicznych, których wspólną cechą jest to, że nadają się do formowania (formowania). Synteza tworzyw sztucznych zaczyna się od monomerów, prostych cząsteczek, które można łączyć w długie łańcuchy lub rozgałęzienia, tworząc polimery. Dwa kluczowe monomery, etylen i propylen, powstają w procesie krakingu parowego (ogrzewanie do 750–950°C) surowców węglowodorowych, a węglowodory również energetyzują kolejne [34](#) Plastyczność tworzyw sztucznych umożliwia ich różne kształty, co pozwala na wiele różnych zastosowań. Tworzywa sztuczne są lekkie, łatwe do obróbki, mają niską cieplną przewodliwość i wytrzymałe pojemniki na odpady.

Globalna produkcja została zdominowana przez tworzywa termoplastyczne – polimery, które łatwo miękną po podgrzaniu i ponownie twardnieją po schłodzeniu.

Polietylen o niskiej i wysokiej gęstości (PE) stanowi obecnie ponad 20 procent światowych polimerów plastikowych, polipropylen (PP) około 15 procent, a

polichlorek winylu (PVC) o ponad 10 proc. [35](#) Natomiast tworzywa termoutwardzalne (w tym poliuretany, poliimidy, melamina i formaldehyd mocznika) są odporne na zmiękczenie po podgrzaniu.

Niektóre tworzywa termoplastyczne łączą niski ciężar właściwy (lekki ciężar) z dość dużą twardością (trwałość). Trwałe aluminium waży tylko jedną trzecią tego, co stal węglowa, ale gęstość PVC wynosi mniej niż 20 procent, a PP mniej niż 12 procent w porównaniu ze stalą; i podczas gdy ostateczna wytrzymałość na rozciąganie stali konstrukcyjnej wynosi 400 megapaskali, polistyren jest, przy 100 megapaskalach, dwa razy wyższy niż drewna lub szkła i tylko 10 procent mniej niż aluminium. [36](#) To połączenie niskiej wagi i wysokiej wytrzymałości sprawiło, że tworzywa termoplastyczne

preferowany wybór do takich zastosowań, jak rury i kołnierze o dużej wytrzymałości, powierzchnie antypoślizgowe i zbiorniki chemiczne. Polimery termoplastyczne znalazły szerokie zastosowanie we wnętrzach i na zewnątrz samochodów (zderzaki z PP, deski rozdzielcze i części samochodowe z PVC, poliwęglanowe soczewki reflektorów); lekka wysoka temperatura lub

we wnętrzach nowoczesnych samolotów dominują termoplasty trudnopalne (poliwęglan, mieszanki PVC/akryl); tworzywa sztuczne wzmacnione włóknem węglowym (materiały kompozytowe) są obecnie wykorzystywane do budowy płatowców samolotów. [37](#)

Pierwsze tworzywa sztuczne, przede wszystkim celuloid z azotanu celulozy i kamfory (później łatwopalna podstawa przemysłu filmowego, wyparta dopiero w latach 50.), były produkowane w niewielkich ilościach w ostatnich trzech dekadach XIX wieku, ale pierwszy materiał termoutwardzalny materiał (formowany w temperaturze 150–160°C) został przygotowany w 1907 roku przez Leo Hendrika Baekelanda, belgijskiego chemika pracującego w Nowym Jorku. [38](#) Jego General Electric Company produkcja celulozy, który był sprzedawany na kawałki, od izolatorów elektrycznych po czarne telefony z obrotową tarczą, a podczas II wojny światowej był używany do produkcji lekkich części broni. Tymczasem celofan został wynaleziony w 1908 roku przez Jacquesa Brandenbergera.

W latach międzywojennych pojawiły się pierwsze syntezy PCW na dużą skalę, które odkryto już w 1838 r., ale nigdy nie były używane poza laboratorium. DuPont w USA, Imperial Chemical Industries (ICI) w Wielkiej Brytanii i IG Farben w Niemczech (bardzo udane) badania poświęcone odkryciu nowych materiałów z tworzyw sztucznych. [39](#) Przed II wojną światową zaowocowało to komercyjną produkcją octanu celulozy (obecnie w chłonnych ścierkach i ścierkach), neoprenu (kauczuk syntetyczny), poliestru (do tkanin i tapicerki), polimetakrylanu metylu (inaczej zwanego pleksiglasem, a teraz jeszcze więcej). Powszechnie stosowane dzięki wywołanemu przez COVID odrodzeniu przegród i osłon). Nylon jest produkowany od 1938 roku (pierwszymi produktami komercyjnymi były szczeciny i pończochy szczoteczki do zębów; obecnie stosuje się go w różnych produktach, od sieci rybackich po spadochrony) i – jak już wspomniano – również Teflon, wszechobecną powłokę zapobiegającą przywieraniu. [Tania produkcja styrenu rozpoczęła się również w latach 30. XX wieku, a obecnie materiał ten jest głównie używany jako polistyren \(PS\) w materiałach opakowaniowych oraz jednorazowych kubkach i talerzach.](#)

IG Farben wprowadziła poliuretany w 1937 roku (pianki meblowe, izolacje); ICI zastosowała bardzo wysokie ciśnienie do syntezy polietylenu (stosowanego w opakowaniach i izolacji) i rozpoczęła produkcję metakrylanu metylu (do klejów, powłok i farb) w 1933 roku. Politereftalan etylenu (PET) – od lat 70. XX wieku plaga planety w postaci zużyte butelki po napojach — zostały opatentowane w 1941 roku i masowo produkowane od wczesnych lat pięćdziesiątych (piekielny PET [40](#). Najbardziej znana butelka po drugiej dodatki obejmują poliwęglany (do ~~sztucznego światła w jasnych zakładach pakietów typu achrolit~~) róże mid (do rurek medycznych), polimery ciekłokrystaliczne (przede wszystkim do

elektronika) oraz tak słynne znaki towarowe DuPont, jak Tyvek® (1955), Lycra® (1959) i Kevlar® (1971). rodzaje tworzyw sztucznych były na rynku ⁴¹ globalny, zatrudniaćność – wraz z rosnącym zapotrzebowaniem na najczęściej używane związki (PE, PP, PVC i PET) – doprowadziła do gwałtownego wzrostu popytu.

Globalna produkcja wzrosła z zaledwie około 20 000 ton w 1925 roku do 2 milionów ton w 1950 roku, 150 milionów ton do roku 2000 i około 370 milionów ton do 2019 roku.

⁴² Najlepszym sposobem na docenienie wszechobecności tworzyw sztucznych w naszym codziennym życiu jest zauważenie, ile razy dziennie dotykają się nasze dłonie, nasze oczy widzą, nasze ciała spoczywają, a nasze stopy depczą po plastiku: możesz być zdumiony częstotliwością takich spotkań! Kiedy to piszę: klawisze mojego laptopa Dell i mysz bezprzewodowa pod moją prawą dlonią są wykonane z akrylonitrylo-butadieno-styrenu, siedzę na obrotowym krześle obitym tkaniną poliestrową, a jego nylonowe kółka spoczywają na macie ochronnej z poliwęglanu który pokrywa dywan poliestrowy...

Branża, która rozpoczęła się od dostaw małych części przemysłowych (dźwignia zmiany biegów) pokrętło w Rolls-Royce z 1916 r. było pierwszym zastosowaniem) i różne artykuły gospodarstwa domowego znacznie rozszerzyły te dwie oryginalne nisze komercyjne (przede wszystkim z elektroniką użytkową dodającą miliardy nowych przedmiotów zależnych od plastiku każdego roku) i dodały zastosowania na masową skalę, od samochodów korpusy i kompletne wnętrza samolotów po rury o dużych średnicach.

Jednak tworzywa sztuczne znalazły swoją najbardziej niezastąpioną rolę w opiece zdrowotnej w ogóle, a w szczególności w szpitalnym leczeniu chorób zakaźnych. Współczesne życie zaczyna się teraz (na oddziałach położniczych) i kończy (na oddziale nie miały oddziałów) w otoczeniu plastikowych ⁴³ tworzyw sztucznych we współczesnej opiece zdrowotnej zyskało swoją lekcję dzięki COVID-19. Pandemia nauczyła nas tego w często drastyczny sposób, ponieważ lekarzom i pielęgniarkom w Ameryce Północnej i Europie zabrakło środków ochrony osobistej (PPE) – jednorazowych rękawiczek, masek, tarcz, czapek, fartuchów i butów – a rządy przeliczytoły się nawzajem. w celu przetransportowania drogą lotniczą ograniczonych (i bardzo przecenionych) dostaw z Chin, do których zachodni producenci ŚOI, mając obsesję na punkcie cięcia kosztów, przenieśli większość swoich linii produkcyjnych, tworząc niebezpieczne, ale całkowicie możliwe do uniknięcia niedobory dostaw.

⁴⁴

Artykuły plastikowe w szpitalach wykonane są przede wszystkim z różnego rodzaju PVC: giętkie rurki (stosowane do karmienia pacjentów, dostarczania tlenu i monitorowania ciśnienia krwi), cewniki, pojemniki dożylnie, worki na krew, opakowania sterylne, różne tace i miski, baseny i łóżka barierki, koce termiczne,

i niezliczoną ilość sprzętu laboratoryjnego. PVC jest obecnie podstawowym składnikiem ponad jednej czwartej wszystkich produktów ochrony zdrowia, a w nowoczesnych domach występuje w membranachściennych i dachowych, ramach okiennych, żaluzjach, wężach, izolacji kabli, komponentach elektronicznych, wciąż rosnącej liczbie materiały biurowe i zabawki – a także jako karty kredytowe używane do zakupu wszystkich powyższych.⁴⁵

W ostatnich latach pojawiły się rosnące obawy związane z zanieczyszczeniem plastikiem na lądzie, a jeszcze bardziej w oceanach, wodach przybrzeżnych i plażach. Wróć do tego w rozdziale dotyczącym środowiska, ale to nieodpowiedzialne wyrzucanie plastiku nie jest argumentem przeciwko właściwemu wykorzystaniu tych różnorodnych i często naprawdę niezbędnych materiałów syntetycznych. Co więcej, jeśli chodzi o mikrowłókna, błędem jest zakładanie, jak wielu robi, że większość ich obecności w wodzie oceanicznej wynika ze zużycia tekstyliów syntetycznych. Te polimery stanowią obecnie dwie trzecie globalnej produkcji włókien, ale badanie próbek wody morskiej wykazało, że włókna oceaniczne są głównie (>90 procent) pochodzenia naturalnego.

[46](#)

Stal: wszechobecna i nadająca się do recyklingu

Stale (liczba mnoga jest dokładniejsza, ponieważ istnieje ponad 3500 odmian) to stopy z dominacją żelaza (Fe).⁴⁷ Surówka lub żeliwo, gorący metal wytwarzany w wielkich piecach, zawiera zwykle 95-97% żelaza, 1,8-4 procent węgla i 0,5-3 procent krzemu, ze śladowymi ilościami kilku innych pierwiastków.⁴⁸ Wysoka zawartość węgla prowadzi do gęstości i ciągliwość (zdolność do rozciągania), a jego wytrzymałość na rozciąganie (odporność na zerwanie przy rozciąganiu) jest gorsza od brązu czy mosiądzu. Stal przedprzemysłowa była wytwarzana w Azji i Europie różnymi rzemieślniczymi metodami — to znaczy zawsze pracochłonnymi i kosztownymi —⁴⁹ dlatego nigdy nie była dostępna do powszechnego użytku.

Nowoczesne stale wytwarzają się z żeliwa poprzez zmniejszenie jego wysokiej zawartości węgla do 0,08-2,1 procenta wagowo. Właściwości fizyczne stali z łatwością pokonują właściwości najtwardszych kamieni, a także pozostałych dwóch najpopularniejszych metali. Granit ma podobną wytrzymałość na ściskanie (wytrzymałość na obciążenia, które skracają materiał), ale jego wytrzymałość na rozciąganie jest o rząd wielkości niższa: kolumny granitowe przenoszą obciążenie tak samo jak stal, ale belki stalowe mogą wytrzymać siedem ładunki 15-30 razy wyższe. Wytrzymałość stali prawie taka sama jak żelazko; jego twardość jest odpowiednio cztero i osmiokrotnie wyższa; i jest żaroodporny – aluminium topi się w 660°C, miedź w 1085°C, stal tylko w 1425°C.

można podzielić na cztery główne kategorie. [51](#) Stale węglowe (90 procent wszystkich stali stale na rynku zawierają 0,3-0,95 procent węgla) są wszędzie, od mostów po lodówki i od kół zębatych po nożyce. Stale stopowe zawierają różne udziały jednego lub więcej pierwiastków (najczęściej manganu, niklu, krzemu i chromu, ale także aluminium, molibdenu, tytanu i wanadu), dodawanych w celu poprawy ich właściwości fizycznych (twardość, wytrzymałość, ciągliwość). Stal nierdzewna (10-20% chromu) została wyprodukowana po raz pierwszy dopiero w 1912 roku dla naczyń kuchennych, a obecnie jest szeroko stosowana w chirurgii [52](#) Stale narzędziowe mają instrumenty, silniki, części maszyn i konstrukcje. wytrzymałość na rozciąganie 2-4 razy wyższa od konstrukcyjnych, służą do cięcia stali i innych metali na matryce (do tłoczenia, wyrażania innych metali lub tworzyw sztucznych), a także do ręcznego cięcia i kucia.

A wszystkie stale (z wyjątkiem niektórych odmian nierdzewnych) są magnetyczne i dlatego nadają się do produkcji maszyn elektrycznych.

Stal determinuje wygląd współczesnej cywilizacji i umożliwia jej najbardziej podstawowe funkcje. Jest to najczęściej używany metal, który tworzy niezliczone widoczne i niewidoczne krytyczne elementy współczesnego świata.

Co więcej, prawie wszystkie inne używane przez nas wyroby metalowe i niemetalowe zostały wydobyte, przetworzone, ukształtowane, wykończone i rozprowadzone za pomocą narzędzi i maszyn wykonanych ze stali, a żaden środek współczesnego transportu masowego nie mógłby funkcjonować bez stali. Naga stal jest wszechobecna wewnętrz i na zewnątrz naszych domów, w przedmiotach małych (sztućce, noże, garnki, patelnie, gadżety kuchenne, narzędzia ogrodowe) i dużych (sprzęty, kosiarki, rowery, samochody).

Zanim wielkie budynki miejskie wzrosną, można zobaczyć masywne stalowe maszyny do wbijania pali, które wbijają fundamenty w stal lub stal zbrojony betonem, a potem na całe miesiące teren jest zdominowany przez wysokie stalowe dźwigi budowlane. W 1954 roku nowojorski Socony-Mobil Building był pierwszym wieżowcem w całości pokrytym stalą nierdzewną, a ostatnio Burdż Chalifa w Dubaju o wysokości 828 metrów

wykorzystuje teksturowane panele spandreli ze stali nierdzewnej i pionowe stalowe kołki rurowe. [53](#)

Stal jest zarówno kluczowym elementem konstrukcyjnym, jak i cechą projektową wielu eleganckich mostów wspornikowych i wiszących: Gate Bridge jest stale odmalowywany na pomarańczowo; [54](#) Japoński most Akashi Kaikyō ma najdłuższą na świecie centralną głowicę wieżową pokrytą a plecone stalowe kable o średnicy 1,12 metra. [55](#) [56](#)

Ulice miasta są wyłożone regularnie rozmieszczonymi słupami oświetleniowymi wykonanymi z gorącej kąpieli stal ocynkowana i malowana proszkowo dla odporności na rdzę; walcowana stal sprawia,

przydrożne znaki drogowe i konstrukcje do oznakowania napowietrznego; i falistej stali jest używany do barier zderzeniowych. Stalowe wieże podtrzymują grube stalowe druty, które podnoszą miliony narciarzy zjazdowych i przewożą gości kolejkami linowymi na wysokie szczyty. Wieże radiowe i telewizyjne (maszty odciągane) pobiły wiele rekordów wysokości dla konstrukcji stworzonych przez człowieka, a współczesne krajobrazy zawierają pozornie niekończące się powtórzenia wież przesyłowych wysokiego napięcia. Dwa ostatnie, znaczące dodatki to zawrotnie wysokie wieże z odciągami (do przenoszenia sygnałów telefonii komórkowej) i grupy dużych wież turbin wiatrowych, zarówno na lądrze, jak i na morzu; a najbardziej masywne stalowe zespoły w oceanie to ogromne platformy do produkcji ropy i gazu.

[57](#)

Pod względem wagi stal prawie zawsze stanowi największą część sprzętu transportowego. Duży wyjątek stanowią odrzutowce (dominują stopy aluminium i włókna kompozytowe), a stal stanowi około 10 procent wagi samolotu. [58](#) Przeciętny samochód [59](#) Przy prawie 100 milionach pojazdów ~~wysokowartościowe i lekkie~~ ~~około 90% składających się z stalowych nadwozi i silników~~ to na około 90 milionów t_m metalu, z czego około 60 procent to stal o wysokiej wytrzymałości, która sprawia, że pojazdy są o 26-40 procent lżejsze niż stal konwencjonalna. [60](#) Chociaż nowoczesne pociągi dużych prędkości (aluminiowe nadwozia, plastikowe wnętrza) są wykonane tylko w około 15 procentach ~~z stalami (kolej osiąga najwyższą i silniejszą i bardziej wytrzymałą)~~ ~~zawierających silniki i ich eksploatacją wymagającą~~ [61](#) Kadłuby statków, zbiornikowców do przewozu ropy naftowej i gazu skroplonego oraz masowców przewożących rudy, zboże lub cement, wykonuje się poprzez gięcie dużych płyt ze stali o wysokiej wytrzymałości na pożądane kształty i zespawanie ich ze sobą. Jednak największą rewolucją w powojennej żegludze było rozmieszczenie kontenerowców (więcej szczegółów w rozdziale 4). Przewożą ładunki w stalowych skrzyniach o znormalizowanych wymiarach. [62](#) Te stalowe skrzynie mają około 2,5 metra wysokości i szerokości (długość jest różna) i są ułożone w stosy wewnątrz kadłubów i wysoko nad pokładem. Są szanse, że wszystko, co nosisz, zostało dostarczone do końcowego punktu sprzedaży w stalowym kontenerze, który rozpoczął swoją podróż w fabryce w Azji.

A jak powstały te wszystkie narzędzia i maszyny? Przeważnie przez inne maszyny i zespoły wykonane głównie ze stali, które wykonują odlewanie, kucie, walcowanie, obróbkę subtrakcyjną (toczenie, frezowanie, drążenie i wiercenie), gięcie, spawanie, ostrzelenie i cięcie, te ostatnie operacje są możliwe dzięki niesamowitemu narzędziu Stale, które tną stal węglową tak łatwo, jak nóż przechodzi przez miękkie masło. A maszyny, które produkują maszyny, są

w większości zasilane energią elektryczną, której wytwarzanie (a więc i cały wszechświat elektroniki, informatyki i telekomunikacji) jest niemożliwe bez stali: wysokie kotły napełnione stalowymi rurami i wypełnione wodą pod ciśnieniem; reaktory jądrowe zamknięte w grubych naczyniach ciśnieniowych; rozprężające się duże turbiny parowe, których długie wały są obrabiane z surowych, masywnych odkuwek stalowych.

Stal, która jest niewidoczna pod ziemią, obejmuje stałe i ruchome podpory w kopalniach głębinowych oraz miliony kilometrów rur poszukiwawczych, osłonowych i produkcyjnych w odwiertach ropy naftowej i gazu ziemnego. Przemysł naftowy i gazowy jest również uzależniony od stali zakopanej blisko powierzchni (1–2 metry na głębokość) w rurociągach odbiorczych, przesyłowych i dystrybucyjnych. Linie magistralne wykorzystują rury o średnicy większej niż 1 metr, podczas gdy linie gazu dystrybucyjnego mogą mieć zaledwie 5 centymetrów [63](#) Rafinerie przez. ropy naftowej to zasadniczo lasy ze stali, z wysokimi kolumnami destylacyjnymi, krakerami katalitycznymi, rozległymi rurociągami i zbiornikami magazynowymi.

Na koniec muszę zauważać, jak stal ratuje życie w szpitalach (od wirówek i maszyn diagnostycznych po skalpele ze stali nierdzewnej, haki chirurgiczne i zwijacze) i jak również zabija: armie i floty z ich ogromnymi arsenałami broni są niczym innym jak ogromnymi magazynami stali przeznaczonymi do zniszczenia. [64](#) Czy możemy zapewnić niezbędną masową dostawę stali i jaki wpływ ma globalna produkcja tego metalu? Czy mamy

wystarczające zapasy rudy żelaza, aby wytwarzać stal przez wiele przyszłych pokoleń? Czy możemy wyprodukować jej wystarczającą ilość, aby zbudować nowoczesną infrastrukturę i podnieść standard życia w krajach o niskich dochodach, gdzie średnie zużycie stali na mieszkańca jest nawet niższe niż w zamożnych gospodarkach sto lat temu? Czy produkcja stali jest przyjazna dla środowiska czy wyjątkowo szkodliwa? Czy możemy wyprodukować metal bez użycia paliw kopalnych?

Odpowiedź na drugie pytanie jest jednoznacznie pozytywna. Żelazo jest dominującym masowo pierwiastkiem na Ziemi, ponieważ jest ciężkie (prawie osiem razy więcej. Ale jest też ciężki jak woda) i dlatego, że tworzy rdzeń planety. obfite w [65](#) skorupie ziemskiej: tylko trzy pierwiastki (tlen, krzem i glinka) są bardziej powszechnie; żelazo, z prawie 6%, plasuje się na czwartym miejscu. [66](#) Roczna produkcja rudy żelaza — kierowana przez Australię, Brazylię i Chiny — wynosi obecnie około 2,5 miliarda ton; światowe zasoby przekraczają 800 miliardów ton i zawierają prawie 250 miliardów ton tego metalu. To jest zasób/produkcja

(R/P) ponad 300 lat, daleko poza wszelkie możliwe planowanie

horyzonty (wskaźnik R/P dla ropy naftowej to zaledwie 50 lat).

[67](#)

Ponadto stal jest łatwo poddawana recyklingowi poprzez topienie jej w elektrycznym piecu łukowym (EAF) – masywnym cylindrycznym, żaroodpornym pojemniku wykonanym z ciężkich stalowych płyt (wyłożonych cegłami magnezowymi), ze zdejmowaną, przypominającą kopułę, chłodzoną wodą pokrywą, przez którą trzy masywne elektrody węglowe są włożone. Po załadowaniu złomu stalowego elektrody są w nim zanurzane, a przepływający przez nie prąd elektryczny tworzy łuk, którego wysoka temperatura (1800°C) z łatwością topi naładowany metal. [68](#) Jednak ich zapotrzebowanie na energię elektryczną jest ogromne: nawet bardziej wydatne niż produkcja elektrowni jądrowych i kopalni koksów, kiedy gospodarka kieruje się elektrownią węglową, co skutkuje konsumpcją energii elektrycznej każdego z 150 000 mieszkańców.

[69](#)

Recykling pojazdu poprzedza spuszczenie wszystkich płynów, wyrwanie tapicerki, i usuwanie baterii, serwomotorów, opon, radia i pracujących silników, a także elementów plastikowych, gumowych, szklanych i aluminiowych. Kruszarki samochodowe następnie spłaszcują obnażone ciała, przygotowując się do rozdrabniania. Zdecydowanie najtrudniejszą operacją recyklingu jest demontaż dużych statków oceanicznych, wykonywany głównie na plażach w Pakistanie (Gadani, na północny zachód od Karaczi), Indiach (Alang w Gujarat) i Bangladeszu (w pobliżu Chittagong). Ogołocone kadłuby z ciężkich stalowych płyt muszą być cięte palnikami gazowymi i plazmowymi — niebezpieczna i zanieczyszczająca praca wykonywana zbyt często przez ludzi pracujących bez odpowiedniego sprzętu ochronnego.

[70](#)

Zamożne gospodarki poddają recyklingowi prawie cały swój złom samochodowy, podobnie wysoki wskaźnik (>90 procent) w przypadku ponownego wykorzystania belek i płyt ze stali konstrukcyjnej i tylko nieco niższy wskaźnik w przypadku recyklingu urządzeń gospodarstwa domowego, a Stany Zjednoczone niedawno poddały recyklingowi ponad 65 procent prętów zbrojeniowych w betonie, co jest wskaźnikiem podobnym do recyklingu puszek stalowych do napojów i żywności. [71](#) Złom stalowy stał się jednym z najcenniejszych towarów eksportowych na świecie, ponieważ kraje o długiej historii produkcji stali i dużej ilości nagromadzonego złomu sprzedają go rozwijającym się producentom. UE jest największym eksporterem, za nią plasują się Japonia, Rosja i Kanada; a największymi nabywcami są Chiny, Indie i Turcja. procent całkowitej rocznej produkcji metalu, przy czym udziały krajowe wahają się od 100 procent w przypadku [72](#) Stakówek cywilnych i stoczniowych do prawie 70 procent w USA, około 40 procent w UE i poniżej 12 procent w Chinach. [73](#)

Oznacza to, że nadal dominuje pierwotna produkcja stali, która każdego roku produkuje ponad dwa razy więcej surówki niż jest poddawane recyklingowi — prawie 1,3 miliarda ton w

2019. Proces rozpoczyna się od wielkich pieców (wysokie konstrukcje żelazne i stalowe wyłożone materiałami żaroodpornymi), które wytwarzają płynne (żeliwo lub surówkę) żelazo poprzez wytop rudy żelaza, koksu i wapienia⁷⁴ Drugi etap – obniżenie wysokiej zawartości węgla w żeliwie i wytworzenie stali – odbywa się w konwertorze tlenowym (BOF; przymiotnik odnosi się do właściwości chemicznych wytwarzanego żużla). Proces został wynaleziony w latach czterdziestych XX wieku i został szybko skomercjalizowany po połowie lat pięćdziesiątych. ⁷⁵ Dzisiejsze BOF to duże, gruszkowate naczynia z otwartą góra, służące do ładowania do 300 ton gorącego żelaza, które jest wysadzane tlenem wdmuchiwanym zarówno od góry, jak i od dołu. Reakcja zmniejsza zawartość węgla w metalu (do zaledwie 0,04%) w około 30 minut.

Połączenie wielkiego pieca i konwertora tlenowego jest podstawą nowoczesnej zintegrowanej produkcji stali. Ostatnie etapy obejmują przeniesienie gorącej stali do maszyn do ciągłego odlewania w celu wytworzenia kęsik stalowych, kęsów (kwadratowych lub prostokątnych) oraz taśm, które ostatecznie są przetwarzane na końcowe wyroby stalowe.

Wytwarzanie żelaza jest bardzo energochłonne, przy czym około 75% całkowitego zapotrzebowania zgłasza wielkie piece. Dzisiejsze najlepsze praktyki mają łączny popyt na zaledwie 17–20 gigadżuli na tonę gotowego produktu; mniej wydajne operacje wymagają 25–30 GJ/t. ⁷⁶ Oczywiście koszt energii stali wtórnej wytwarzanej w elektrycznych piecach łukowych jest znacznie niższy niż koszt produkcji zintegrowanej: dzisiejsze najlepsze wyniki wynoszą nieco powyżej 2 GJ/t. Do tego należy dodać koszty energii związane z walcowaniem metalu (głównie 1,5–2 GJ/t), a zatem reprezentatywne stawki globalne dla całkowitego kosztu energii mogą wynosić około 25 GJ/t Całkowita dla zintegrowanej produkcji stali i 5 GJ/t dla stali z recyklingu. ⁷⁷ energia zapotrzebowanie na globalną produkcję stali w 2019 roku wyniosło około 34 eksadżuli, czyli około 6 procent światowych dostaw energii pierwotnej.

Biorąc pod uwagę zależność przemysłu od węgla koksującego i gazu ziemnego, hutnictwo stali również w dużym stopniu przyczynia się do antropogenicznego wytwarzania gazów cieplarnianych. Światowe Stowarzyszenie Stali szacuje średnią globalną stawkę na 500 kilogramów węgla na tonę, przy czym niedawna produkcja stali pierwotnej emitemie około 900 megaton węgla rocznie lub 7–9 procent bezpośrednich emisji z globalnego spalania paliw kopalnych. ⁷⁸ Ale jednym głównym materiałem odpowiedzialnym za znaczną część emisji CO₂ : cement jest znacznie mniej energochłonny, ale ponieważ jego globalna produkcja jest prawie trzy razy większa niż stali, jego produkcja odpowiada za bardzo podobny udział (około 8 proc.) wyemitowanego węgla.

Beton: świat stworzony przez cement

Cement jest niezbędnym składnikiem betonu i jest wytwarzany przez ogrzewanie (do co najmniej 1450°C) zmielonego wapienia (źródło wapnia) oraz gliny, łupków lub materiałów odpadowych (źródła krzemku, aluminium i żelaza) w dużych [79](#) Te wysokie metrów) pochylone metalowe cylindry. W wyniku spiekania termicznego powstaje [100–120](#) der (stopiony wapień i glinokrzemiany), który jest mielony na drobny, sproszkowany cement.

Beton składa się głównie (65–85 proc.) z kruszyw, a także z wody (15–20 proc.).

[80](#) Drobniejsze kruszywa, takie jak piasek, dają mocniejszy beton, ale wymagają więcej wody w mieszance niż grubsze kruszywa, które wykorzystują różne rozmiary żwiru. Mieszanina jest utrzymywana razem przez cement — zwykle 10–15 procent końcowej masy betonu — którego reakcja z wodą najpierw wiąże mieszaninę, a następnie ją utwardza.

Rezultatem jest obecnie najbardziej masowo stosowany materiał współczesnej cywilizacji, twardy i ciężki, który jest w stanie wytrzymać dziesięciolecia morderczego użytkowania, zwłaszcza gdy jest wzmacniony stalą. Zwykły beton jest dość dobry w ściskaniu (a najlepsze współczesne odmiany są pięć razy silniejsze niż te, które [81](#) Stal pokolenia temu), ale słabe w rozciąganiu. Wytrzymałość konstrukcji ma rozcięcie dwa rodzaje zbrojenia (siatka stalowa, pręty stalowe, włókna szklane lub stalowe, PP) zostały wykorzystane do zawężenia tej ogromnej szczeliny.

Od 2007 roku większość ludzkości mieszka w miastach, które są możliwe dzięki betonowi. Oczywiście w budynkach miejskich nie brakuje innych materiałów: drapacze chmur mają stalowe szkielety pokryte szkłem lub metalem; domy wolnostojące na przedmieściach Ameryki Północnej są zbudowane z drewna (studnie, sklejka, płyta wiórowa) i płyt gipsowo-kartonowych (i często są osłonięte cegłą lub kamieniem); drewno budowlane jest obecnie wykorzystywane do budowy wielopiętrowych mieszkań. [82](#) Ale drapacze chmur i wysokie budynki mieszkalne stoją na betonowych palach, beton wchodzi nie tylko w fundamenty i piwnice, ale także w wiele ścian i sufitów, i jest wszechobecny we wszystkich infrastrukturze miejskiej — od podziemnych sieci inżynierijnych (duże rury, kanały kablowe, kanały ściekowe, metro). fundamenty, tunele) do naziemnej infrastruktury transportowej (chodniki, drogi, mosty, pirsy żeglugowe, pasy startowe lotnisk). Nowoczesne miasta — od São Paulo i Hongkongu (z ich wielopiętrowymi apartamentowcami) po Los

Angeles i Pekin (z ich rozległą siecią autostrad) – to ucieleśnienia betonu.

Cement romański był mieszanką gipsu, wapna palonego i piasku wulkanicznego, i okazał się doskonałym i trwałym materiałem dla dużych konstrukcji, w tym ekspansywnych sklepień. Panteon, nienaruszony po prawie dwóch tysiącleciach (został ukończony w 126 roku n.e.) wciąż rozciąga się na większą odległość niż jakakolwiek inna konstrukcja wykonana z niezbrojonego betonu.

Ale wytwarzanie nowoczesnego

cementu opatentował dopiero w 1824 roku Joseph Aspdin, angielski murarz.

Jego zaprawa hydrauliczna została wykonana przez wypalanie wapienia i gliny w wysokich temperaturach: obecne w tych materiałach wapno, krzemionka i tlenek glinu są zeszkalone lub przekształcone w substancję podobną do szkła, której zmielenie 84 cement produkowane Portland Aspdin wybrało tę nazwę (do dziś powszechnie stosowaną), ponieważ po stwardnieniu i reakcji z wodą szklisty klinkier miał barwę zbliżoną do wapienia z wyspy Portland w Kanale La Manche.

Jak już wspomniano, nowy materiał był doskonały w ściskaniu, a dzisiejsze najlepsze betony wytrzymują ciśnienie przekraczające 100 megapaskali, czyli mniej więcej wagę afrykańskiego byka słonia wyważonego na monecie.

85

Napięcie to inna sprawa: siła ciągu zaledwie 2 do 5 megapaskali (mniej niż rozdzieranie ludzkiej skóry) może rozbić beton. Dlatego też komercyjne zastosowanie betonu w budownictwie na dużą skalę nastąpiło dopiero po stopniowym postępie w dziedzinie zbrojenia stali, które sprawiło, że nadaje się on do elementów konstrukcyjnych narażonych na duże naprężenia.

W latach 60. i 70. XIX wieku pierwsze patenty wzmacniające zostały zgłoszone przez François Coigneta i Josepha Moniera we Francji (Monier, ogrodnik, zaczął używać żelaznej siatki do wzmacniania swoich donic), ale prawdziwy przełom nastąpił w 1884 r. dzięki stalowym prętom wzmacniającym Ernesta Ransome'a. 86 Najwcześniejsze projekty nowoczesnych cementowych pieców obrotowych, w których minerały są zeszkalone w temperaturze do 1500°C, pojawiły się w latach 90. XIX wieku i umożliwiły zastosowanie niedrogiego betonu w dużych projektach. Szesnastopiętrowy budynek Ingalls Building w

Cincinnati stał się pierwszym na świecie żelbetowym wieżowcem w 1903 roku.

87

Zaledwie trzy lata później Thomas Edison przekonał się, że beton powinien zastąpić drewno w budowie amerykańskich domów jednorodzinnych, i zaczął projektować i odlewać betonowe domy w New Jersey; w 1911 próbował wskrzesić nieudany projekt, oferując także tanie betonowe meble, w tym całe komplety sypialni, a nawet wykonał z betonu fonograf, jeden ze swoich ulubionych wynalazków.

88

Jednocześnie, w przeciwnieństwie do porażki Edisona, Robert Maillart, Szwajcar był pionierem trendu w budownictwie betonowym, który wciąż się utrzymuje: żelbetowe mosty, począwszy od stosunkowo krótkiego Zuoz w 1901 roku i Tavanasa w 1906 roku. Jego najsłynniejszy projekt, śmiały łuk Salginatobel nad alpejskim wąwozem, został ukończony w 1930 roku i jest obecnie międzynarodowy historyczny punkt orientacyjny inżynierii lądowej.⁸⁹ Wczesne betonowe projekty były teatrów i apartamentów w Paryżu (eleganckie apartamenty i Théâtre des Champs-Élysées) oraz Frank Lloyd Wright w USA. Do najsłynniejszych międzywojennych projektów betonowych Wrighta należą: Imperial Hotel w Tokio, ukończony tuż przed trzęsieniem ziemi w 1923 r., które zrównało miasto z ziemią i uszkodziło nową konstrukcję, oraz Fallingwater w Pensylwanii, ukończony w 1939 r. Muzeum Guggenheima w Nowym Jorku było jego ostatnim słynnym betonowym projektem, ukończonym w 1959.

[90](#)

Wytrzymałość stali zbrojeniowej na rozciąganie została dodatkowo poprawiona poprzez wylewanie betonu do form, których druty lub pręty były napinane tuż przed wylaniem betonu (sprężanie wstępne, za pomocą kotew końcowych, które służą do napinania stali i są zwalniane po związaniu betonu z metalem) lub po nim (po sprężeniu, za pomocą stalowych cięgien zablokowanych w tulejach ochronnych). Pierwszy duży sprężony projekt, most Plougastel Eugène'a Freyssineta w pobliżu [91](#). Jego odważny, biały, przypominający

żagiel projekt Jørn Brest został ukończony w 1930 roku.

Opera w Sydney w Utzon (zbudowana w latach 1959-1973) jest prawdopodobnie najbardziej znana na świecie konstrukcja ze sprężonego betonu.⁹² Sprężanie jest obecnie powszechnie, a najdłuższe mosty żelbetowe nie przecinają rzek ani wąwozów, lecz wiadukty kolejowe dla pociągów dużych prędkości. Rekord trafia do 164,8-kilometrowego mostu Danyang-Kunshan w Chinach (ukończonego w 2010 r.), będącego częścią linii szybkiej kolei Pekin-Szanghaj.

Żelbet znajduje się obecnie w każdym dużym nowoczesnym budynku i w każdej infrastrukturze transportowej, od pirsów portowych po pierścienie segmentowe instalowane przez nowoczesne maszyny drążące tunele (pod Kanałem i Alpami). Standardowa konfiguracja US Interstate Highway System to warstwa około 28 centymetrów niezbrojonego betonu na wierzchu dwukrotnie grubszej warstwy naturalnego kruszywa (kamienie, żwir, piasek) – a cały system Interstate zawiera około 50 milionów ton cementu, 1,5 miliarda ton kruszyw i tylko około 6 milionów ton stali (na podpory konstrukcyjne i rury przepustowe).

[94](#) Pasy startowe lotnisk (do 3,5 km długości) mają fundamenty żelbetowe, najgłębsze (do 1,5 m) w strefie przyziemienia do

radzić sobie z powtarzającymi się uderzeniami setek tysięcy lądowań każdego roku przez samoloty ważące do około 380 ton (Airbus 380). Na przykład najdłuższy pas startowy w Kanadzie (4,27 km w Calgary) wymagał ponad 85 000 metrów sześciennych betonu i 16 000 ton stali zbrojeniowej. ⁹⁵ Jednak zdecydowanie najbardziej masywne konstrukcje zbudowane ze zbrojonego

betonu to największe tamy na świecie. Era tych megastruktur rozpoczęła się w latach 30. XX wieku wraz z budową zapory Hoovera na rzece Kolorado i zapory Grand Coulee na rzece Columbia. Zawrotna zapora Hoovera, położona w wąwozie na południowy wschód od Las Vegas, wymagała około 3,4 miliona metrów sześciennych betonu i 20 000 ton stali zbrojeniowej, dwa razy więcej stali na płyty i rury oraz 8 000 ton stali konstrukcyjnej. W drugiej połowie XX wieku zbudowano setki tych masywnych konstrukcji, a największa na świecie zapora – chińska Sanxia (Trzy Przełomy) na [Jangzi](#), wytwarzająca energię elektryczną od 2011 roku – ma prawie 28 milionów metrów sześciennych betonu wzmacnionego 256 500 ton stali. ⁹⁷ Roczne zużycie cementu w Ameryce wzrosło dziesięciokrotnie w latach 1900-1928, kiedy osiągnęło 30 milionów ton, a powojenny boom budowlany

– w tym budowa autostrady międzystanowej i rozbudowa lotnisk – potroił się do końca stulecia. Szczyt osiągnięto na poziomie około 128 milionów ton w 2005 r., a ostatnie wskaźniki wynoszą około ⁹⁸. Jest to obecnie maleńki ułamek rocznego zapotrzebowania na 100 milionów ton rocznie. Chiny, największy światowy konsument cementu. W 1980 roku, na początku dążenia do modernizacji, roku wyprzedził Stany Zjednoczone i stała się największym producentem. W 1985 świecie, a w 2019 roku jego produkcja wynosząca około 2,2 miliarda ton stanowiła nieco ponad połowę globalnej produkcji. ⁹⁹

Być może najbardziej zdumiewającym rezultatem tego wzrostu jest to, że w ciągu zaledwie dwóch lat – 2018 i 2019 – Chiny wyprodukowały prawie tyle samo cementu (około 4,4 miliarda ton), co Stany Zjednoczone w całym XX wieku (4,56 miliarda ton). Nic dziwnego, że kraj ten ma obecnie najbardziej rozbudowane na świecie systemy autostrad, szybkich pociągów i lotnisk, a także największą liczbę gigantycznych elektrowni wodnych i nowych wielomilionowych miast. Kolejną zdumiewającą statystyką jest to, że świat zużywa obecnie w ciągu roku więcej cementu niż przez całą pierwszą połowę XX wieku. I (na szczęście i niestety) te ogromne masy nowoczesnego betonu nie przetrwają tak długo, jak kasetonowa kopuła Panteonu.

Zwykły beton budowlany nie jest materiałem bardzo trwałym i jest narażony na wiele ataków środowiskowych. [100](#) Odsłonięte powierzchnie zanurzone w wodzie morskiej, gąbki i glonów (szczególnie w tropikach), osadzanie się kwasów i wibracje. Zakopane konstrukcje betonowe cierpią z powodu nacisków wywołujących pęknięcia oraz uszkodzeń spowodowanych przez reaktywne związki przesączające się z góry. **Wysoka alkaliczność betonu (świeżo wylany materiał ma pH około 12,5) skutecznie chroni przed korozją stali zbrojeniowej, ale pęknięcia i odpryski narażają metal na korozyjny rozpad.**

Chlorki atakują beton zanurzony w wodzie morskiej i beton na drogach zimowych, gdzie do odladzania używa się soli.

W latach 1990-2020, masowa konkretyzacja współczesnego świata pochłonęła prawie 700 miliardów ton twardego, ale powoli kruszącego się materiału. Trwałość konstrukcji betonowych jest bardzo zróżnicowana: chociaż nie można podać średniej długości życia, wiele z nich pogorszy się już po dwóch lub trzech dekadach, podczas gdy inne będą dobrze radzić sobie przez 60-100 lat.

Oznacza to, że w XXI wieku będziemy musieli zmierzyć się z bezprecedensowym obciążeniem niszczeniem, odnawianiem i usuwaniem betonu (ze szczególnie poważnym problemem w Chinach), ponieważ struktury będą musiały zostać wyburzone — w celu zastąpienia lub zniszczenia — lub porzucone. Konstrukcje betonowe można powoli wyburzać, stal zbrojeniową można oddzielić, a oba materiały można poddać recyklingowi: nie tanie, ale jak najbardziej możliwe. Po kruszeniu i przesiewaniu kruszywo można włączyć do nowego betonu i

stal zbrojeniową można poddać recyklingowi. [101](#) Nawet teraz wszędzie potrzebny jest beton zastępczy i nowy.

W krajach zamożnych o niskim wzroście populacji główną potrzebą jest naprawa niszczącej infrastruktury. Najnowszy raport dotyczący Stanów Zjednoczonych nie przyznaje niczego poza ocenami od słabych do bardzo słabych wszystkim sektorom, w których dominuje tamami, drogami [102](#) This i lotnictwem, które otrzymują ocenę D, a ogólną średnią ocenę, zaledwie D+. Ocena ta daje wyobrażenie o tym, z czym Chiny mogą się zmierzyć (w ujęciu masowym i finansowym) do 2050 r. Dla kontrastu, najbiedniejsze kraje potrzebują niezbędnej infrastruktury, a najbardziej podstawową potrzebą w wielu domach w Afryce i Azji jest zastąpienie podłóg błotnych podłogami betonowymi w celu poprawy ogólnej higieny i zmniejszenia zachorowalności na choroby pasożytnicze o blisko 80 proc. [103](#)

Starzejące się populacje, migracja do miast, globalizacja ekonomiczna i powszechnie spadki regionalne, więcej betonu zostanie po prostu porzucone na całym świecie. Betonowe ruiny fabryk samochodów w Detroit, opuszczone przedsiębiorstwa w starych przemysłowych regionach Europy i wszystkie te obecnie opuszczone zakłady i

pomniki budowane przez sowieckich centralnych planistów na równinie rosyjskiej i na Syberii to tylko pierwsze fale tego trendu. [104](#) Innymi powszechnymi i widocznymi reliktami betonu są grubościennne bunkry obronne, takie jak w Normandii i Linii Maginota, oraz masywne silosy betonowe, w których dawniej mieściły się pociski nuklearne, a teraz stoją puste na Wielkich Równinach Ameryki.

Perspektywy materiałowe: stare i nowe dane wejściowe

W pierwszej połowie XXI wieku – przy wolniejszym globalnym wzroście populacji i stagnacji, a nawet spadku liczebności w wielu zamożnych krajach – gospodarki nie powinny mieć problemów z zaspokojeniem popytu na stal, cement, amoniak i tworzywa sztuczne, zwłaszcza przy wzmożonym recyklingu. Ale jest mało prawdopodobne, aby do 2050 r. wszystkie te branże zlikwidowały swoją zależność od paliw kopalnych i przestaną być znaczącymi uczestnikami globalnej emisji CO₂. Jest to szczególnie mało prawdopodobne w dzisiejszych modernizujących się krajach o niskich dochodach, których ogromne potrzeby infrastrukturalne i konsumenckie będą wymagały zwiększenia na dużą skalę wszystkich podstawowych materiałów.

Powielenie chińskich doświadczeń po 1990 r. w tych krajach oznaczałoby 15-krotny wzrost produkcji stali, ponad 10-krotny wzrost produkcji cementu, ponad dwukrotny wzrost syntezy amoniaku i ponad 30-krotny wzrost syntezy tworzyw sztucznych.

[105](#) Oczywiście, nawet jeśli inne

modernizujące się kraje osiągną tylko połowę lub nawet tylko jedną czwartą ostatnich postępów materialnych Chin, kraje te nadal będą świadkami zwiastunkiem ich obecnych zastosowań. Wymagania dotyczące węgla kopalnego były – i przez dziesięciolecia nadal będą – ceną, jaką płacimy za wiele korzyści wynikających z naszego uzależnienia od stali, cementu, amoniaku i tworzyw sztucznych. A ponieważ nadal rozwijamy konwersję energii odnawialnej, będziemy potrzebować większych mas starych materiałów, a także bezprecedensowych ilości materiałów, które wcześniej były potrzebne w niewielkich ilościach.

[106](#)

Tę rozwijającą się zależność materialną ilustrują dwa wybitne przykłady. Nie Konstrukcje są bardziej oczywistymi symbolami „zielonego” wytwarzania energii elektrycznej niż wielkie turbiny wiatrowe – ale te ogromne nagromadzenia stali, cementu i tworzyw sztucznych są również ucieleśnieniem paliw kopalnych. [107](#) Ich fundamenty są żelbetowe, ich wieże, gondole i wirniki są ze stali (w sumie prawie 200 ton na każdy megawat zainstalowanej mocy wytwórczej), a ich masywne łopaty są energochłonne – i trudne do recyklingu – z tworzywa sztucznego

żywice (około 15 ton na turbinę średniej wielkości). Wszystkie te gigantyczne części muszą być przywiezione na miejsce instalacji dużymi ciężarówkami i zmontowane za pomocą dużych stalowych dźwigów, a przekładnie turbin muszą być wielokrotnie smarowane olejem. Pomnożenie tych wymagań przez miliony turbin, które byłyby potrzebne do wyeliminowania energii elektrycznej wytwarzanej z paliw kopalnych, pokazuje, jak mylące są wszelkie rozmowy o nadchodzącej dematerializacji zielonych gospodarek.

Samochody elektryczne są prawdopodobnie najlepszym przykładem nowych i ogromnych zależności materiałowych. Typowa litowa bateria samochodowa ważąca około 450 kilogramów zawiera około 11 kilogramów litu, prawie 14 kilogramów kobaltu, 27 kilogramów niklu, ponad 40 kilogramów miedzi i 50 kilogramów grafitu – a także około 181 kilogramów stali, aluminium oraz tworzywa sztuczne. Zaopatrzenie jednego pojazdu w te materiały wymaga przetworzenia około 40 ton rud, a biorąc pod uwagę niską koncentrację wielu pierwiastków w ich rudach, wymaga wydobycia i przetworzenia około 225 ton surowców. [108](#) Ponownie musielibyśmy to pomnożyć przez blisko 100 milionów sztuk, co stanowi rozszerzającą się światową produkcję pojazdów elektrycznych. Musimy się zastępować surowcami, pochodzącego z kopalni, które

Niepewność co do przyszłego tempa adopcji pojazdów elektrycznych jest duża, ale szczegółowa ocena potrzeb materiałów, oparta na dwóch scenariuszach (przy założeniu, że 25 lub 50 procent globalnej floty w 2050 r. stanowiąby pojezd elektryczne), wykazała, że: od 2020 do 2050 r. zapotrzebowanie na lit wzrośnie o współczynniki 18- 20, dla kobaltu o 17-19, dla niklu o 28-31, a współczynniki 15-20 miałyby zastosowanie dla większości innych materiałów od 2020 roku.

[109](#) Oczywiście wymagałoby to nie tylko drastycznej ekspansji litu, kobaltu (w dużej części pochodzi on teraz z niebezpiecznie ręcznie wykopanych głębokich szybów w Kongu oraz z powszechniej pracy dzieci) oraz wydobycia i przetwarzania niklu, ale także szeroko zakrojonych poszukiwań nowych zasobów. . A te z kolei nie mogłyby się odbyć bez dużych dodatkowych konwersji paliw kopalnych i energii elektrycznej. Generowanie płynnie rosnących prognoz przyszłej własności pojazdów elektrycznych to jedno; tworzenie tych nowych dostaw materiałów na masową skalę globalną to zupełnie inna sprawa.

Współczesne gospodarki zawsze będą związane z ogromnymi przepływami materiałów, niezależnie od tego, czy nawozy na bazie amoniaku, aby nakarmić wciąż rosnącą populację świata; tworzywa sztuczne, stal i cement potrzebne do nowych narzędzi, maszyn, konstrukcji i infrastruktury; lub nowe nakłady potrzebne do produkcji ogniw słonecznych, turbin wiatrowych, samochodów elektrycznych i akumulatorów. I dopóki wszystkie energie się nie zużyją

aby wydobyć i przetworzyć te materiały pochodzące z konwersji odnawialnych, współczesna cywilizacja pozostanie zasadniczo zależna od paliw kopalnych wykorzystywanych do produkcji tych niezbędnych materiałów. Żadna sztuczna inteligencja, żadne aplikacje i żadne wiadomości elektroniczne tego nie zmienią.



4. Zrozumieć globalizację

Silniki, mikroczipy i nie tylko

Globalizacja przejawia się na niezliczone, codzienne sposoby. Statki załadowane wieloma tysiącami zazębających się stalowych kontenerów przywożą gadżety elektroniczne i kuchenne, skarpetki i spodnie, narzędzia ogrodnicze i sprzęt sportowy z Azji do centrów handlowych Europy i Ameryki Północnej, a także do sprzedawców tanich ubrań i naczyń kuchennych w Afryce i Ameryka Łacińska. Gigantyczne tankowce przewożą ropę naftową z Arabii Saudyjskiej do rafinerii w Indiach i Japonii, a skroplony gaz ziemny z Teksasu do zbiorników magazynowych we Francji i Korei Południowej. Duże masowce pełne rudy żelaza opuszczają Brazylię do Chin i wracają puste (podobnie jak tankowce) do swoich portów macierzystych. Zaprojektowane w Ameryce iPhone'y Apple są montowane w tajwańskiej fabryce (Hon Hai Precision, działającej jako Foxconn) w Shenzhen, w chińskiej prowincji Guangdong, z części pochodzących z kilkunastu krajów, a następnie telefony są dystrybuowane na całym świecie w bardzo choreografowany wyczyn zintegrowanej inżynierii i marketingu.

[1](#)

Migracje międzynarodowe obejmują rodziny z Pendżabu lub Libanu przybywające do Toronto i Sydney w regularnych lotach odrzutowych; migranci ryzykujący życiem w gumowych pontonach, gdy próbują dotrzeć do Lampedusy lub Malty; oraz młodzi dorośli poszukujący wyższego wykształcenia za granicą w Londynie, Paryżu lub w małych uczelniach w [2](#) Iowa i Kansas. – Podróże w celach rekreacyjnych osiągnęły taki poziom, że w wielu przypadkach przedpandemiczna etykietka „overtourism” była jedynie łagodnym opisem tego, co działo się w rzymskim San Pietro, gdzie bazylika była zapchana kijkami do selfie turystów na szybkim opakowaniu europejskim. wycieczki lub na

Azjatyckie plaże, które stały się tak zdegradowane, że musiały zostać zamknięte dla odwiedzających.³

Wybuch pandemii COVID-19 doprowadził do nowych ostrych kryzysów związanych z nadmierną turystyką, gdy setki starszych osób zostało zamkniętych na statkach wycieczkowych u wybrzeży Japonii lub Madagaskaru wczesną wiosną 2020 r. – a jeszcze przed końcem roku, nawet jako nowi fale infekcji szybko rosły na całym świecie,

duże firmy reklamowały nowe rejsy megastatkami na 2021 r. (to współczesny niepokój!).

Statystyki dotyczące przepływów pieniężnych znacznie nie doceniają rzeczywistych (w tym masowych nielegalnych) przepływów. Globalny handel towarami zbliża się obecnie do 20 bilionów dolarów rocznie, a roczna wartość światowego handlu usługami komercyjnymi jest bliska 6 bilionów dolarów. ⁴ Globalne bezpośrednie inwestycje zagraniczne podwoiły się w latach 2000-2019 i obecnie zbliżają się do 1,5 biliona dolarów rocznie, do roku 5 i 2020 globalny handel walutami wyniósł prawie 7 bilionów dolarów. ⁵ Podczas gdy liczby opisujące globalne przepływy informacji są o wiele rzędów wielkości wyższe niż te przekazy pieniężne — nie tylko w terabajtach lub petabajtach, ale w bajtach danych. ⁶ exa (10^{18}) i yotta (10^{24}) —

Oczywiście nie można zrozumieć, jak naprawdę działa współczesny świat, nie doceniając ewolucji, zakresu i konsekwencji tego wieloaspektowego procesu, który pociąga za sobą (według tego, co uważam za najlepszą związkową definicję) „rosnący współzależność światowych gospodarek, kultur i populacji, spowodowana transgranicznym handlem towarami i usługami, technologią oraz przepływami inwestycji, ludzi i informacji” ⁷. miejsc pracy do krajów o niskich kosztach pracy (arbitraż siły roboczej) jest tylko jednym z kilku niezbędnych czynników; i nie ma najmniejszego związku z przekonaniem na temat globalizacji. Pyć może, że jest to historyczna nieuchronność z góry przesądzone przez gospodarkę i społeczeństwo. Nie tak – globalizacja nie jest, jak twierdził były prezydent USA, „ekonomicznym odpowiednikiem siły natury, takiej jak wiatr czy woda”; to tylko kolejna ludzka konstrukcja, a obecnie panuje rosnący konsensus, że pod pewnymi względami zaszła już za daleko i wymaga ponownego dostosowania.

8

W tym rozdziale pokażę, że globalizacja to proces o znaczej historii (chociaż w przeszłości rosnące przepływy towarów, inwestycji i ludzi nie były ujmowane pod tą etykietą), a niedawne zainteresowanie zjawiskiem eskalowało ze względu na jego zasięg, a nie ze względu na jego nowość. Wykresy Google Ngram Viewer dostarczają doskonałych ilustracji długoterminowych trendów zwracania uwagi na ważne zmiany. Wykres globalizacji składa się z niemal zerowej linii płaskiej do połowy lat 80., następnie gwałtownego wzrostu zainteresowania w ciągu następnych dwóch dekad – 40-krotnego wzrostu częstotliwości między 1987 a 2006 r., kiedy zainteresowanie osiągnęło szczyt – po którym następuje 33 procentowy spadek do 2018 roku.

Gdyby niskie koszty pracy były jedynym powodem lokowania nowych fabryk za granicą – jak wielu ludzi wydaje się błędnie wierzyć – wtedy Afryka Subsaharyjska byłaby najbardziej oczywistym wyborem, a Indie prawie zawsze byłyby lepsze od Chin. Jednak w drugiej dekadzie XXI wieku, Chiny dokonywały średnio około 230 miliardów dolarów bezpośrednich inwestycji zagranicznych rocznie, w porównaniu z mniej niż 50 miliardami dolarów w Indiach i zaledwie około 40 miliardami dolarów w całej Afryce Subsaharyjskiej (wyłączeniem RPA). —przede wszystkim do stany związkowe i jedynie państwa, które mogłyby zagwarantować stabilność polityczną i akceptowalne warunki inwestowania; duża, wysoce jednorodna i piśmienna populacja; i ogromny rynek krajowy – co sprawiło, że był preferowanym wyborem w stosunku do Nigerii, Bangladeszu, a nawet Indii, co zaowocowało niezwykłą zmową między największym państwem komunistycznym na świecie a prawie kompletną gamą wiodących światowych przedsiębiorstw kapitalistycznych.

[10](#)

Globalizacja została połączona z aprobatą z korzyściami, korzyściami, twórczą destrukcją, nowoczesnością i postępem, jaki przyniosła całym narodom. Chiny są zdecydowanie największym beneficjentem, ponieważ reintegracja tego kraju z globalną gospodarką pomogła zmniejszyć liczbę osób żyjących w skrajnym ubóstwie o 94 procent w latach 1980-2015. proces, z niezadowoleniem, które wynikają z utraty dobrze płatnych miejsc pracy na offshoring (ze stratami po 2000 roku szczególnie widocznymi w kilku sektorach gospodarki USA), z wyścigu na dno, ponieważ arbitraż pracowniczy prowadzi do coraz niższych wynagrodzeń oraz z rosnących nierówności i nowych rodzajów zubożenia.

[11](#)
[12](#)

Chociaż w tych reakcjach i analizach można się wiele z tym zgodzić i nie zgodzić, rozdział ten nie będzie ani powtórzeniem często opowiadanych narracji, które zapłniły publikacje ekonomiczne ostatnich dwóch pokoleń, ani polemiką na temat atrakcyjności tego zjawiska. . Moim celem jest wyjaśnienie, w jaki sposób czynniki techniczne – przede wszystkim nowe siły napędowe (silniki, turbiny, silniki) oraz nowe środki komunikacji i informacji (przechowywanie, przesyłanie i wyszukiwanie) – umożliwiły kolejne fale globalizacji, a następnie wskazanie jak ten postęp techniczny był uzależniony od panujących warunków politycznych i społecznych. W rezultacie nie ma nic nieuniknionego w kontynuacji i dalszej intensyfikacji tego procesu, a znaczący, trwający dziesięciolecia odwrót od globalizacji po 1913 r., a także niedawne odwrócenia i obawy dotyczące bezpieczeństwa istniejących łańcuchów dostaw służą jako oczywiste przypomnienia tej rzeczywistości.

Odległe początki globalizacji

W swojej najbardziej fundamentalnej postaci fizycznej globalizacja jest i pozostanie po prostu ruchem masy — surowców, artykułów spożywczych, produktów gotowych i ludzi — oraz przekazywaniem informacji (ostrzeżeń, wskazówek, wiadomości, danych, pomysłów) i inwestycji w obrębie kontynentów i między nimi, dzięki technikom, które umożliwiają takie transfery na dużą skalę oraz w przystępny i niezawodny sposób. Nieuchronnie transfery te pociągają za sobą konwersję energii i chociaż przemieszczanie masy i przekazywanie informacji może odbywać się poprzez rozmieszczenie mięśni ludzkich i zwierzęcych (przenoszenie ciężarów, wysyłanie posłańców na koniach), te ożywione siły poruszające mają bardzo ograniczoną moc, wytrzymałość i zasięg — i, oczywiście nie są w stanie połączyć oceanów.

Żagle, wracając do Egiptu sprzed ponad 5000 lat, były pierwszymi Przetworniki energii nieożywionej, które umożliwiły takie połączenia, ale tylko silniki parowe, wspomagane lepszymi środkami nawigacyjnymi, przyniosły wielkoskalową, tanią i niezawodną wymianę — i dopiero wraz z dyfuzją silników spalinowych po 1900 r. (na lądzie, na oceanie i w powietrzu) oraz przyjęcie elektroniki półprzewodnikowej (półprzewodnikowej) po 1955 roku spowodowało, że proces ten wzrósł do niespotykanych dotąd poziomów. Ale te innowacje zintensyfikowały globalizację; nie uruchomili go. Proces ten (w przeciwnieństwie do jego rozgłosu po 1985 roku) nie jest nowym zjawiskiem i w tym rozdziale prześledzę zarówno czas, jak i zasięg jego minionych fal — oraz granice ich ostatecznego zasięgu i intensywności.

Proces rozpoczął się dawno temu, ale jego pierwsze rundy były z natury ograniczone. Handel obsydianem wzdłuż prehistorycznych szlaków w częściach Starego Świata ponad 6000 lat temu nie jest, jak ostatnio twierdzono, przykładem 13 Ameryki było ~~starej kierunkowej i regularnej przepływu europejskiej gospodarki globalizacji~~. Stateki regularnie płynęły z Berenike, portu Morza Czerwonego w rzymskim Egipcie, do Indii, podobnie jak z Basry: Kasjusz Dio napisał w 116 roku n.e., jak cesarz Trajan, podczas swojej tymczasowej okupacji Mezopotamii, stał nad brzegiem Zatoki Perskiej, obserwując statek wyjeżdżającą do Indii i żałuje, że nie jest tak młody jak Aleksander, który prowadził swoje armie do tego odległego kraju.

[14](#) Chiński

jedwab dotarł do Rzymu przez Imperium Partów, podobnie jak regularne dostawy zboża i niezwykle ciężkie ładunki starożytnych obelisków z Egiptu oraz dzikie zwierzęta z Mauretanii Tingitana (północne Maroko).

[15](#)

Jednak rozproszone połączenie części Europy, Azji i Afryki jest dalekie od prawdziwie globalnego zasięgu. Dopiero włączenie Nowego Świata (począwszy od 1492) i pierwsze okrążenie Ziemi (1519) zaczęło spełniać tę definicję, a zaledwie sto lat później wymiana handlowa związała państwa europejskie z wnętrzem Azji, Indiami i Dalekim Wschodem, a także z przybrzeżnymi regionami Afryki i obiema Amerykami – i tylko Australia pozostała na uboczu. Niektóre z tych wczesnych powiązań były równie trwałe, co przeobrażające. Kompania Wschodnioindyjska, z siedzibą w Londynie i działającą w latach 1600-1874, handlowała szeroką gamą towarów — głównie z i na subkontynent indyjski — od tekstyliów i metali po przyprawy i opium. Vereenigde Oost-Indische Compagnie (Holenderska Kompania Wschodnioindyjska) importowała przyprawy, tkaniny, klejnoty i kawę głównie z Azji Południowo-Wschodniej; utrzymała nieprzerwany monopol na handel z Japonią przez dwa stulecia (między 1641 a 1858), a holenderska dominacja Indii Wschodnich zakończyła się dopiero w 1945 roku.

16

Jednocześnie możliwości techniczne nakładają wyraźne ograniczenia na częstotliwość i intensywność tych wczesnych wymian, a tutaj będę się posługiwał ich kluczowymi wyznacznikami — maksymalną mocą i szybkością poszczególnych środków transportu oraz coraz większą możliwością komunikowania się na duże odległości szybko i niezawodnie — aby prześledzić cztery różne epoki globalizacji.

Rozpoczynająca się globalizacja ostatecznie połączyła świat z rozległą, ale niezbyt intensywną wymianą, którą umożliwiały żaglowce. Silniki parowe sprawiły, że te połączenia stały się bardziej powszechnie, intensywniejsze i znacznie bardziej przewidywalne, podczas gdy telegraf zapewnił pierwszy prawdziwie globalny środek (niemal natychmiastowej) komunikacji. Połączenie pierwszych silników wysokoprężnych, lotu i radia zwiększyło i przyspieszyło te czynniki globalizacji. A duże diesle (w żegludze), turbiny (w locie), kontenery (umożliwiające transport intermodalny) i mikroczipy (umożliwiające bezprecedensową kontrolę dzięki ilości i szybkości przetwarzania informacji) doprowadziły globalizację do najwyższego etapu.

Globalizacja napędzana wiatrem

Już na początku łatwo można określić granice globalizacji zależnej wyłącznie od siły ożywionej. Mięśnie ludzkie i zwierzęce były jedynymi siłami poruszającymi się na lądzie, ograniczając wagę towarów, które mogły być przewożone przez tragarzy (maksymalnie 40–50 kilogramów) lub przez karawany zwierząt (konie lub

wielbłady, obciążenia 100-150 kilogramów na zwierzę) i ograniczenie ich dziennego postępu. [17](#) Przyczepy campingowe na Jedwabnym Szlaku (z Tanais nad Morzem Czarnym przez Sarai do Pekinu) zajęło rok, co oznacza średnią prędkość około 25 kilometrów dziennie. Statki z drewnianymi żaglami podejmujące dalekie podróże nie były liczne, miały niewielkie pojemności, poruszały się powoli, brakowało im dokładnych środków nawigacyjnych i często nie kończyły podróży.

Szczegółowe zapisy holenderskiej wysyłki do Azji dokumentują te ograniczenia. [18](#) Pokazują, że średni czas podróży do Batavii (dzisiejsza Dżakarta) wynosił 238 dni (osiem miesięcy) w XVII wieku i kolejny miesiąc z Batavii do Dejimy, małej holenderskiej placówki w porcie Nagasaki. A średnie prędkości w XVIII wieku były nieco wolniejsze, a podróże trwały 245 dni. Biorąc pod uwagę odległość 15 000 mil morskich (27 780 kilometrów) między Amsterdalem a Batavią, oznacza to średnią prędkość 4,7 km na godzinę, odpowiednik raczej wolnego marszu! Ta kiepska średnia wynika z kilku na pół przyzwoitych prędkości podczas biegu pod wiatr (wiatr wiejący bezpośrednio za statkiem) i innych dni, kiedy statki były uspokajane przez równikowy zastój lub gdy długie okresy silnych wiatrów wymagały pracochłonnego halsowania —lub oddanie się i czekanie, aż wiatr się zmieni.

W XVII i XVIII wieku Holendrzy zbudowali tylko 1450 nowych statków dla handlu azjatyckiego (średnio siedem rocznie) o pojemności zaledwie 700–1000 ton. To było wystarczająco dobrze, aby zarobić na tak wartościowych ładunkach, jak przyprawy, herbata i porcelana, ale całkowicie nieopłacalne w przypadku handlu towarami masowymi (głównym wyjątkiem była cenna japońska miedź).

I podczas gdy rejsy do Batawii były ograniczone dostępnością statków i ryzykiem podróży, rejsy do Japonii były ograniczone przez szogunów Tokugawa do nie więcej niż 2-7 statków rocznie i tylko jednego przybycia rocznie w latach 90. XVIII wieku. A ponieważ Holenderska Kompania Wschodnioindyjska prowadziła szczegółowe rejesty, znamy również liczbę osób, które weszły na pokład ponad 4700 statków płynących z Holandii do Indii Wschodnich: prawie milion osób odbył tę podróż w latach 1595-1795, ale to tylko 5000 rocznie, a około 15 procent z nich zmarło przed dotarciem do Cejlonu lub Batavii.

[19](#)

Mimo to w II wieku ery nowożytnej (1500–1800) społeczeństwa na czele tej wciąż skromnej, ale wschodzącej fali globalizacja była pod wpływem tych dalekosiążnych przesiadek. [20](#) Nic dziwnego, biorąc pod uwagę ich nowo zdobyte bogactwa i kontakt z innymi

kontynentów, życie miejskich elit podczas Złotego Wieku Republiki Holenderskiej (1608–1672) jest prawdopodobnie najlepszym przykładem tych nowych korzyści. Ich rosnący zakres posiadłości i doświadczeń był oczywistymi wyznacznikami zysków czerpanych z handlu oraz wymiany materialnej i kulturalnej, a wielu znanych malarzy stanowi fascynujący zapis tego początkowego bogactwa.

Prace Dircka Halsa, Gerarda ter Borcha, Fransa van Mierisa, Jana Vermeera van Delfta i wielu pomniejszych mistrzów pokazują, że te nowe zyski zamieniono w wyłożone kafelkami podłogi, szklane okna, dobrze wykonane meble, grube obrusy i [21](#) instrumentów muzycznych.

— Niektórzy twierdzą, że to wszystko można odrzucić, ponieważ to gatunek malarstwa przedstawiał świat fantasy, który nigdy nie istniał w rzeczywistości.[22](#) Przesada i stylizacja były z pewnością obecne, ale, jak wyjaśnia historyk Jan de Vries, to, co nazywa „Nowym Luksusem” (generowanym przez społeczeństwo miejskie) było prawdziwe: nie dążenie do wielkości i nadmiaru, ale przejawiające się w produktach dobrego rzemiosła – od mebli po gobeliny, od płytek Delft po srebrne naczynia – w tym około 3 milionów obrazów należących do rodzin w Holandii w latach 60. XVI wieku.

[23](#)

Były też inne, bardziej bezpośrednie dowody sięgania i sprowadzania: obecność Afrykanów w Amsterdamie, popularność map, dochodowy biznes sporządzania i publikowania atlasów, konsumpcja cukru i owoców egzotycznych, import przypraw (holenderska kolonizacja Indii Wschodnich rozpoczęła się w 1607 r. od przejęcia Ternate, największego producenta goździków, a wkrótce potem zajęła rosnącą gałkę muszkatołową Wyspy Banda) oraz picie herbaty i kawy.

[24](#)

— Ale te wczesne wymiany miały ograniczony wpływ ekonomiczny, ponieważ nigdy nie wyszły poza małe segmenty ludzi, którzy skorzystali z nowych przedsięwzięć. Wieś pozostała ze swoimi tradycyjnymi obyczajami. To była tylko początkowa, selektywna i ograniczona globalizacja bez znaczących ogólnokrajowych skutków, nie mówiąc już o prawdziwie globalnych konsekwencjach. Na przykład ekonomista Angus Maddison oszacował, że w latach 1698–1700 eksport towarów z Indii Wschodnich stanowił zaledwie 1,8 proc. później (1778–1780) oba te udziały wynosiły tylko 1,7 proc.

[25](#)

Parowozy i telegraf

Pierwszy skok ilościowy w procesie globalizacji nastąpił dopiero dzięki połączeniu bardziej niezawodnej nawigacji, mocy pary (co skutkuje większymi pojemnościami statków i szybszymi prędkościami) oraz telegrafu — pierwszego środka (prawie natychmiastowej komunikacji na duże odległości). Nawigacja pojawiła się jako pierwsza, w 1765 roku, wraz z czwartym bardzo dokładnym zegarem morskim Johna Harrisona, chronometrem, który umożliwiał określenie dokładnej długości geograficznej. Jednak skok prędkości i wydajności musiał poczekać, aż silniki parowe wyprą żagle w żegludze międzynarodowej, kiedy śruby sprawiły, że koła łopatkowe stały się przestarzałe, a statki o stalowych kadłubach stały się dominujące. [26](#) Pierwsze parowe przeprawy transatlantyckie na zachód miały miejsce w 1838 r., ale żaglowce pozostały konkurencyjne przez kolejne cztery dekady. Z wiatrem jako głównym motorem, koszt przewozu jednostki ładunku na jednostkę odległości przez żaglowiec był w dużej mierze niezależny od długości podróży; podczas gdy im dłuższa podróż parowcem, tym więcej nośności statku musiało być załadowane węglem do napędzania stosunkowo nieefektywnych silników, pozostawiając mniej miejsca na ładunek. Stacje paliw zmniejszyły tę wadę, ale jej nie wyeliminowały.

[27](#)

Ta długa koegzystencja żagla i pary jest dobrze udokumentowana przez Niemców przejście: do 1873 r. żaglowce przegrały konkurencję na trasach wewnętrzueuropejskich, podczas gdy na trasach międzynarodowych żagle miały przewagę do 1880 r., ale później szybko ją straciły dzięki zastosowaniu [28](#) wydajniejszych silników.

Wszystkie pionierskie parowce przepływające przez Atlantyk były napędzane kołami łopatkowymi, ale napęd śrubowy został wprowadzony na rynek w latach 40. XIX wieku; aw 1877 Lloyd's Register of Shipping zatwierdził stal jako materiał konstrukcyjny podlegający ubezpieczeniu, podobnie jak nowe metody produkcji sprawiły, że metal był dostępny i dostępny (patrz [rozdział 3](#)). Stalowe kadłuby i śruby oraz duże silniki parowe umożliwiły niezawodne przejednanie 30, a następnie 40 km/h w porównaniu ze średnią 20 km/h dla najszybszych klipsów z lat 50. XIX wieku, a wraz z eksportem nowe rynki zdobywała również żegluga dalekobieżna. żywego bydła i — od lat 70. XIX wieku — schłodzonego mięsa (przewożonego prawie wyłącznie przez liniowce pasażerskie) oraz masła z USA, Australii i Nowej Zelandii. [29](#) Telegraf praktyczny został opracowany pod koniec lat trzydziestych i na początku lat czterdziestych XIX wieku; pierwszy (krótkotrwały) kabel transatlantycki ułożono w 1858 r.; a pod koniec stulecia kable podmorskie połączyły wszystkie kontynenty.

[30](#) Dla

po raz pierwszy w historii handel mógł uwzględniać wiedzę o popycie i cenach w różnych częściach świata – a dostępność nowego, potężnego czynnika napędzającego może przełożyć te informacje na dochodowe wymiany międzynarodowe: kiedy cena wołowiny z Iowa była tańsza niż Brytyjska wołowina gorszej jakości i nowe techniki chłodzenia stały się dostępne, na przykład eksport mrożonego amerykańskiego mięsa gwałtownie wzrósł – ponad czterokrotnie między końcem lat 70. XIX wieku a końcem XX wieku.

Podczas tej fali globalizacji napędzanej parą rolą telefonu: urządzenie znacznie lepsze od telegrafu do bezpośredniej komunikacji osobistej – pozostało ograniczone.³¹ Po jego patentowaniu i pierwszej publicznej demonstracji w 1876 r. natychmiast pozwane zostało rozpowszechnianie usług za pośrednictwem ręcznych wymian. Własność telefonów w USA wzrosła z mniej niż 50 000 w 1880 do 1,35 miliona w 1900 (jeden telefon na 56 Amerykanów); stopniowo zwiększały się odległości połączeń (połączenie z Nowego Jorku do Chicago można było wykonać dopiero w 1892 r.); pierwsze połączenia międzykontynentalne do San Francisco (poprzez wielokrotne wymiany) przyszły w 1915 roku; a trzyminutowa rozmowa kosztowała około 20 dolarów, czyli ponad 500 dolarów w 2020 roku. Pierwsze połączenie międzykontynentalne – z USA do Wielkiej Brytanii – nadeszło dopiero w 1927 r. i nawet zmonopolizowana usługa krajowa pozostała stosunkowo droga przez następne dwa pokolenia. ³²

Jednak postępy w żegludze międzykontynentalnej, w połączeniu z szybką budową kolei po 1840 r. – w Europie i Ameryce Północnej, a także w Indiach, innych regionach Azji i Ameryce Łacińskiej – stworzyły pierwszą falę globalizacji na naprawdę dużą skalę. Całkowity wolumen światowego handlu wzrósł czterokrotnie w latach 1870-1913; udział handlu (eksportu i importu) w światowym produkcie gospodarczym wzrósł z około 5 proc. w 1850 r. do 9 proc. w 1870 r. i 14 proc. w 1913 r.; a najlepsze szacunki dla 13 krajów (w tym Australii, Kanady, Francji, Japonii, Meksyku i Wielkiej Brytanii) pokazują, że ich łączny udział wzrósł z 30 procent w 1870 roku do 50 procent tuż przed

33 I wojna światowa.

Duże parowce były również w stanie przemieszczać pasażerów na niespotykany dotąd skala. W epoce żeglarstwa statki pakietowe przewoziły 250–700 pasażerów; do pierwszej dekady XX wieku parowiec mógł przewozić ponad 2000 pasażerów.

³⁴ Podróże rekreacyjne, forma tymczasowej migracji, dawniej zarezerwowana dla klas uprzewilejowanych, rozpoczęła się w wielu przejawach wraz z pociągami i statkami z napędem parowym. Z Thomasem Cookiem na czele w 1841 roku, biura podróży oferowały zorganizowane wycieczki, a spa i wakacje nad morzem stały się modne, gdy ludzie odwiedzali Baden-Baden,

Karlsbad i Vichy oraz udał się do Trouville na francuskim wybrzeżu Atlantyku lub na Capri.

Niektóre z tych podróży miały charakter transkontynentalny: zamożne rodziny rosyjskie jeździły pociągami z Moskwy i Sankt Petersburga na Riwierę Francuską. Niektórzy podróżnicy szukali wyzwań fizycznych (nowo modne alpinizmy), podczas gdy inni wybierali się na (bardziej przystępne) religijne 35. Ta nowa wygnańcami ~~mobilność jazdy pociągiem nie jest typowe dla ludzi, którzy~~ schronienia w obcych krajach: najsłynniejsze, że prawie wszyscy przyszli wybitni przywódcy bolszewicki (Lenin, Lew Trocki, Nikołaj Bucharin, Grigorij Zinowiew) spędzili wiele lat za granicą w Europie i USA.

36

I myślę, że całkiem rozsądne jest twierdzenie, że globalizacja parowa również pomogła stworzyć nowy rodzaj wrażliwości literackiej, której mistrzem jest Joseph Conrad (Józef Korzeniowski). Dzięki masowemu handlowi i podróżom epoki (Nostromo w Ameryce Południowej, Jim w Azji, Marlow w Afryce) bohaterowie jego trzech największych powieści znajdują się daleko od swoich domów, a ich życie i nieszczęścia wiążą się ze statkami parowymi: Nostromo w tytułową nowelą, znana jako Capataz de Cargadores (Główny Doker); Życie Jima przybiera tragiczny obrót, gdy pomaga przetransportować muzułmańskich pielgrzymów z Azji do Mekki w Lord Jim; a transformacja Marlowa nie mogłaby się odbyć bez sprowadzenia zachodnich towarów w głąb dorzecza Konga w Jądrze Ciemności.

Pierwsze silniki diesla, lot i radio

Kolejnym fundamentalnym postępem w dziedzinie napędów, który zwiększył możliwości żeglugi dalekobieżnej, było zastąpienie silników parowych silnikami wysokoprężnymi — maszynami o najwyższej sprawności i niezawodnych osiągach.³⁷ Dwoma równoległymi procesami, które promowały dalszą globalizację, były wynalezienie samolotów napędzanych tłokowymi silnikami benzynowymi oraz komunikacja radiowa. Pierwsze krótkie loty — braci Wright — odbyły się pod koniec 1903 roku; setki samolotów latały w walce podczas I wojny światowej; ³⁸ Pierwsza lotnicza, holenderska KLM, została założona w 1921 r. Pierwszy transatlantyczny linii sygnał radiowy dotarł w grudniu 1901 r.; armia francuska wdrożyła pierwsze przenośne nadajniki do komunikacji powietrze-ziemia w

1916; a pierwsze komercyjne stacje radiowe zaczęły nadawać na początku lat dwudziestych.

[39](#)

Rudolf Diesel celowo postanowił zaprojektować nowy, wydajniejszy silnik napędzający, a do 1897 roku jego pierwszy (ciężki i stacjonarny) silnik osiągnął sprawność 30 procent, dwukrotnie wyższą od najlepszych silników parowych.

[40](#)

Ale pierwszy silnik okrętowy zainstalowano dopiero w 1912 roku na duńskim frachtowcu Christian X. Statki napędzane olejem napędowym przewoziły znacznie mniej paliwa niż parowce opalone węglem, ale mogły podróżować dalej bez tankowania, ponieważ nowe silniki były prawie dwa razy wydajniejsze – i ponieważ olej napędowy zawiera prawie dwa razy więcej energii na jednostkę masy. Amerykański inżynier, który po dziewczęcej podróży do Nowego Jorku w 1912 roku zobaczył pierwszy statek z silnikiem Diesla, stwierdził, że: „historię morską pisze pojawienie się silnika Diesla”.

[41](#)

W latach 30. XX wieku, kiedy silniki wysokoprężne podbiły rynek żeglugowy, szybko dojrzewający przemysł lotniczy zaczął dostarczać pierwsze samoloty zdolne do opłacalnego latania na długich dystansach. W 1936 roku pojawiły się pierwsze dostawy Douglasa DC-3, dwusilnikowego samolotu zdolnego do przenoszenia do 32

pasażerów nieco szybciej niż prędkość lądowania nowoczesnych samolotów pasażerskich.[42](#)

Trzy lata później pojawił się Boeing 314 Clipper, latająca łódź dalekiego zasięgu o imponującym zasięgu 5633 kilometrów — wciąż za mało, by przepłynąć Pacyfik, ale więcej niż wystarczająco, by dotrzeć do Honolulu z San Francisco przed kontynuowaniem podróży do Midway, Wake, Guam, i Manila, aby dotrzeć do Azji.

Clipperowi nie brakowało fizycznych udogodnień dla 74 pasażerów — w tym kabina i jadalnia, garderoby i siedzenia, które zamieniono w prycze – ale nie było sposobu na wyeliminowanie hałasu i vibracji silników tłokowych, a najwyższa wysokość przelotowa (5,9 km) była wciąż zbyt niska, aby umieścić ją powyżej najbardziej burzliwe warstwy atmosferyczne. Przy trzech przystankach podróż z Nowego Jorku do Los Angeles zajęła 15½ godziny, a pierwsze połączenie Londynu z Singapurem w 1934 r. zajęło osiem dni z 22 międzylądowaniami, w tym w Atenach, Kairze, Bagdadzie, Basrze, Szardży, Jodhpur, Kalkucie i Rangunie.

[43](#) Ale tak długo, jak było, była to znaczna poprawa w stosunku do około 30 dni potrzebnych na podróż statkiem z Southampton przez Kanał Sueski.

Radio miało kluczowe znaczenie dla lepszej nawigacji morskiej i powietrznej oraz w porównaniu z telegrafem był to również lepsze narzędzie do masowego rozpowszechniania natychmiastowych informacji. Wdrożono łączność radiową

najpierw na transatlantycznych liniowcach: dzięki komunikatowi o niebezpieczeństwie „CQD Titanic 41.44 N 50.24 W”, wysłanemu 15 kwietnia 1912 r. o godzinie 12:15 — Carpathia uratowała 700 osób w łodziach ratunkowych.⁴⁴ Radionawigacja poczyniła wielkie postępy w latach 30. XX wieku dzięki wprowadzeniu stacji zasięgu: samoloty lecące na lotnisko słyszały ciągły sygnał dźwiękowy; osoby zbaczające z kursu słyszały kod Morse'a N (- •) po lewej stronie ścieżki, A (• -) po prawej stronie.

[45](#)

Transmisje bezprzewodowe nie wymagały kosztownych kabli podmorskich i mogły uzyskać szeroki zasięg i powszechny dostęp (każdy z prostym odbiornikiem może słuchać). Nic dziwnego, że odbiorniki radiowe zaczęły się szybko upowszechniać: w ciągu dziesięciu lat od ich wprowadzenia miało je 60 procent amerykańskich rodzin – prawie tak szybko, jak telewizory czarno-białe (które również powstały w latach 20. XX wieku) po Druga Wojna Światowa i szybsze tempo niż późniejsza dyfuzja telewizji kolorowej, która w Stanach Zjednoczonych gwałtownie nabrała tempa na początku lat sześćdziesiątych.

[46](#)

Morskie silniki wysokoprężne i silniki tłokowe pozostały technicznymi czynnikami globalizacji w dwóch dekadach międzywojennych, a ich masowe zastosowanie w decydujący sposób przyczyniło się do wyniku II wojny światowej. Do końca konfliktu Stany Zjednoczone zbudowały prawie 296 000 samolotów w porównaniu do około 112 000 w Niemczech i 68 000 w Japonii.

[47](#) W

1945 roku Stany Zjednoczone stały się dominującą potępą świata, a ożywienie gospodarcze Europy Zachodniej nastąpiło szybko. Dzięki amerykańskim inwestycjom (plan Marshalla z 1948 r.) wszystkie kraje regionu przekroczyły przedwojenny (1934–1938) poziom produkcji przemysłowej do 1949 r., podczas gdy ożywienie Japonii zostało przyspieszone przez wkład przemysłu tego kraju w [48.](#) wojnę koreańską.

W ten sposób przygotowano scenę na okres bezprecedensowego rozwoju i integracji, a także szerokich interakcji społecznych i kulturowych.

Gospodarki komunistyczne, na czele z ZSRR i Chinami, byłygodnymi uwagi wyjątkami: chociaż odnotowały imponujące tempo wzrostu gospodarczego, były wysoce autarkiczne i działały z bardzo niewielkim handlem zagranicznym poza swoim blokiem (i powstrzymywały swoich obywateli przed podróżowaniem za granicę).

Duże diesle, turbiny, pojemniki i mikroczipy

Ten wyraźny i intensywny, ale wciąż daleki od powszechnego okres globalizacji po 1950 r. – który zakończył się w latach 1973–1974 dwoma rundami podwyżek cen ropy przez OPEC, a po którym nastąpił 15 lat względnej stagnacji – był możliwy dzięki połączeniu czterech podstawowe postępy techniczne. Były to szybkie przyjęcie znacznie mocniejszych i wydajniejszych konstrukcji silników wysokoprężnych; wprowadzenie (i jeszcze szybsza dyfuzja) nowego głównego napędu, turbiny gazowej używanej do napędu samolotów odrzutowych; doskonałe projekty dla żeglugi międzykontynentalnej (masywne masowce do przewozu płynów i ciał stałych oraz konteneryzacja innych ładunków); oraz skoki kwantowe w informatyce i przetwarzaniu informacji.

Te postępy rozpoczęły się wraz z pierwszymi komputerami elektronicznymi – które wykorzystywały zawodne i nieporęczne lampy próżniowe i zostały zbudowane podczas i tuż po II wojnie światowej – a ich postęp został zrewolucjonizowany przez opatentowanie (1947-1949) i komercjalizację (od 1954 r.) pierwszych tranzystorów, urządzeń, które pozostają podstawą nowoczesnej elektroniki półprzewodnikowej. Następnym krokiem (późne lata pięćdziesiąte – początek lat sześćdziesiątych) było umieszczanie coraz większej liczby tranzystorów na mikrochipie w celu tworzenia układów scalonych, a w 1971 roku Intel wypuścił swój 4004, pierwszy na świecie mikroprocesor. Zawierał 2300 tranzystorów, tworząc kompletną jednostkę centralną ogólnego przeznaczenia, odpowiednią do wielu programowalnych aplikacji.

I pomimo niedawnych wyobrażeń o transformacyjnym charakterze techniki, zdolności wdrażanych od początku XXI wieku (przede wszystkim postępy w sztucznej inteligencji i biologii syntetycznej), nasz świat nadal jest związany z tymi krytycznymi osiągnięciami sprzed 1973 roku. Co więcej, ponieważ nie ma natychmiast dostępnych alternatyw, które można by zastosować do tych samych zadań na podobnie masową skalę, będziemy polegać na tych technikach – czy to gigantycznych okrętowych silnikach wysokoprężnych, kontenerowcach i szerokokadłubowych odrzutowcach, czy też mikroprocesorach – przez dziesięciolecia, aby chodź. I dlatego też te techniki zasługują na bliższe przyjrzenie się.

Skala globalnej ekspansji gospodarczej w latach 1950-1973 jest najlepsza ilustruje rosnąca produkcja czterech materialnych filarów współczesnej cywilizacji (ich ocena, patrz rozdział 3) oraz rosnąca światowa 49. Produkcja stali prawie rozdział 1, około 190 do 698 megatonów rocznie (patrz rozdział 1), sześciokrotnie (z 133 do 770 megaton), synteza amoniaku prawie ośmiokrotnie (z niespełna 5 do 37 megaton azotu), a produkcja tworzyw sztucznych była ponad 26-krotnie wyższa (z niespełna 2 do 45 megaton). Pierwotna energia

produkcia prawie potroiła się, a zużycie ropy naftowej wzrosło prawie sześciokrotnie, ponieważ świat stał się coraz bardziej zależny od ropy z Bliskiego Wschodu. W rezultacie nie ma żadnej rywalizacji, która technika w największym stopniu przyczyniła się do umożliwienia transportu na masową skalę w gospodarce światowej: bez silników wysokoprężnych handel międzykontynentalny ładunkami masowymi – od zboża po ropę naftową – byłby tylko niewielki. część ostatnich przesyłek.

Po II wojnie światowej tankowce były pierwszymi statkami, które zwiększyły swoją pojemność, ponieważ szybki wzrost gospodarczy Europy Zachodniej i Japonii zbiegł się z dostępnością nowo odkrytych pól naftowych na Bliskim Wschodzie (odkryto największe na świecie Ghawar w Arabii Saudyjskiej w 1948 r. i zaczął płynąć w 1951 r.), a eksport tego niedrogiego paliwa (do 1971 r. sprzedawano go za mniej niż 2 dolary za baryłkę) wymagał statków o coraz większej pojemności.

Typowe tankowce sprzed 1950 r. miały pojemność zaledwie 16 000 ton nośności (głównie ładunek statku, ale także jego paliwo, balast, zaopatrzenie i załogę). Pierwszy tankowiec o nośności ponad 50 000 ton został zwodowany w 1956 r., a do połowy lat 60. japońskie stocznie zaczęły wodować bardzo duże transportowce (VLCC) o nośności od 180 000 do 320 000 ton. Poza tym w latach 70. zwodowano ultraduże lotniskowce (ULCC) i siedem statków o nośności przekraczającej 500 000 ton, które były zbyt duże, aby umożliwić elastyczne trasowanie, ponieważ można je pomieścić tylko w [50](#). Ta rosnąca flota umożliwiła zwiększenie głębokości portów dostawy ropy z Bliskiego Wschodu z mniej niż 50 megaton w 1950 roku do około 850 megaton w 1972 roku.

[51](#)

Nawet gdy eksport ropy naftowej gwałtownie rósł w późnych latach pięćdziesiątych i na początku lat sześćdziesiątych nie było możliwości przesyłania gazu ziemnego, paliwa czystszego niż węgiel lub rafinowany olej napędowy, a także dobrze nadającego się zarówno do zastosowań przemysłowych, jak i domowych oraz do wysoce wydajnego wytwarzania energii elektrycznej. Międzykontynentalne dostawy gazu ziemnego stały się możliwe dzięki wprowadzeniu pierwszych tankowców skroplonego gazu ziemnego (LNG) (przewożących paliwo w temperaturze -162°C w izolowanych pojemnikach), które umożliwiły eksport z Algierii do Wielkiej Brytanii od 1964 roku i z Alaski do Japonii w 1969 roku.

[52](#) Jednak przez dziesięciolecia statki miały małą

ładowność, a rynek ograniczał się do długoterminowych kontraktów z niewielką liczbą nabywców.

Rosnący handel międzykontynentalny wymagał nowych form wyspecjalizowanej żeglugi. Masowce z dużymi przedziałami i masywnymi wodoszczelnymi włazami zostały zaprojektowane do transportu węgla, zboża, rud, cementu i nawozów, a także mogły być szybko ładowane i rozładowywane. Ale największa wysyłka

innowacja pojawiła się w 1957 roku, kiedy kierowca ciężarówki z Północnej Karoliny Malcolm McLean w końcu przekształcił swój pomysł sprzed II wojny światowej – przewożenie ładunku w stalowych skrzyniach o jednakowych rozmiarach, które można łatwo załadować dużymi dźwigami portowymi i można je wyładować bezpośrednio na oczekujące ciężarówki lub pociągi lub tymczasowo ułożone w stosy do późniejszej dystrybucji – w rzeczywistość komercyjną.

W październiku 1957 r. Gateway City, frachtowiec, którego ładownia została wyposażona w przedziały komórkowe, aby pomieścić 226 ułożonych w stos kontenerów, stał się pierwszym na świecie prawdziwym kontenerowcem, a firma McLean's Sea-Land rozpoczęła regularne usługi kontenerowe do Europy (Newark–Rotterdam) w kwietniu 1966 i do Japonii w 1968.

[53](#) Potrzebne były również nowe statki, aby rozszerzyć międzykontynentalny eksport samochodów. Rynek amerykański otworzył się najpierw na Volkswagena Garbusa (pierwszy samochód sprowadzony już w 1949 r.), a następnie na małe japońskie konstrukcje (Toyopet od 1958, Honda N600 od 1969, Honda Civic od 1973) oraz nowe roll-on/roll-off. Statki off-owe (głównie z wbudowanymi wysuwanymi rampami załadunkowymi) zostały zaprojektowane w celu zaspokojenia tych potrzeb. Po latach powolnej adaptacji sprzedaż VW osiągnęła najwyższy poziom 570 000 sztuk w 1970 r., a japońskie projekty nadal zdobywały udział w rynku amerykańskim w nadchodzących dziesięcioleciach. [54](#)

Na szczęście nie było problemu z zaspokojeniem potrzeb napędowych tych nowych dużych statków. Rozmiary największych silników wysokoprężnych sprzed drugiej wojny światowej wzrosły ponad dwukrotnie pod koniec lat pięćdziesiątych – do ponad 10 megawatów – ponieważ ich sprawność zbliżała się do 50%. moc tych masywnych wielocylindrowych silników maksymalnie 35 megawatów pod koniec lat 60. i do ponad 40 megawatów w 1973 roku. Każdy silnik wysokoprężny o mocy powyżej 30 megawatów może zasilać największy ULCC, a zatem wielkość tych statków nigdy nie była ograniczona przez dostępność odpowiednich sił napędowych.

Poszukiwanie praktycznej turbiny gazowej, radykalnie nowego głównego napędu, w którym paliwo jest rozpylane w strumieniu sprężonego powietrza w celu wytworzenia gazu o wysokiej temperaturze, który rozpręża się i opuszcza maszynę z dużą prędkością, co zaowocowało pierwszą stacjonarną turbiną (do wytwarzania energii elektrycznej) w 1938 roku, podobnie jak pierwsze praktyczne konstrukcje silników odrzutowych pojawiły się – niezależnie i prawie w tym samym czasie Anglia i Niemcy. [Frank Whittle](#) i Hans von – w przedwojennej Ohain byli pierwszymi inżynierami, którzy testowali turbiny, które były wystarczająco wydajne i niezawodne, aby zasilać samoloty wojskowe. Niewielka liczba tych odrzutowców została użyta w walce pod koniec 1944 r., zbyt późno, aby wpłynąć na z góry ustalony przebieg wojny, ale po jej zakończeniu przemysł brytyjski wykorzystał swoją przewagę

aw 1949 Comet stał się pierwszym na świecie komercyjnym odrzutowcem, napędzanym czterema silnikami turboodrzutowymi de Havilland Gheet.⁵⁷

Niestety, do 1954 roku seria śmiertelnych wypadków (nie związanych z silnikami) wymusiła wycofanie samolotu ze służby, a kiedy przeprojektowany Comet powrócił w 1958 roku, szybko został przyjmiony przez Boeinga ⁵⁸. Drugi w 707, pierwszy projekt wciąż rodzina odrzutowców. Linia była trzysilnikowym Boeingiem 727, a w 1967 roku pojawiła się Boeing 737, najmniejszy samolot z tej serii. W 1966 roku William Allen, prezes firmy, podjął odważną decyzję — zainwestował ponad dwukrotnie więcej wartości firmy, a tym samym postawił swoją przyszłość na sukcesie projektu — aby opracować pierwszy szerokokadłubowy odrzutowiec.

Oczekiwano, że odrzutowce naddźwiękowe przejmą trasy międzykontynentalne - rozwój brytyjsko-francuskiego Concorde rozpoczął się w 1964 roku - ale lot naddźwiękowy pozostał ograniczony do drogiego i hałaśliwego Concorde i był Boeing 747, który stał się najbardziej rewolucyjnym projektem samolotu w historii. ⁵⁹ Samolot został właściwie pomyślany jako frachtowiec: jego szeroki korpus pozwalał na umieszczenie obok siebie dwóch standardowych kontenerów okrętowych, a kokpit w górnej bańce umożliwiał podniesienie dzioba w celu załadunku od przodu. Prototyp wystartował niecałe trzy lata po zamówieniu przez Pan Am 25 Boeingów 747, a pierwszy komercyjny lot wyleciał z Nowego Jorku do Londynu 21 stycznia 1970 roku.

Wielkość samolotu (maksymalna masa startowa 333 ton) została osiągnięta w ⁶⁰. Inaczej niż było to możliwe dzięki zastosowaniu czterech silników turbowentylatorowych Pratt & Whitney. silniki turboodrzutowe, w których całe sprężone powietrze przepływa przez komorę spalania, w turbowentylatorach większe masy mniej skompresowanego, a tym samym wolniej poruszającego się powietrza, omijają komorę spalania i pomagają generować wyższy ciąg podczas startu (i robią to przy mniejszym hałasie). Silniki 707 miały współczynnik obejścia 1:1, w 747 4,8:1, przy prawie pięciokrotnie większej ilości powietrza omijającego turbinę.

Całkowite dostawy 747 wyniosły 1548 samolotów w ciągu pół wieku produkcji, a Boeing szacuje, że w ciągu tych pięćdziesięciu lat samoloty przewiozły 5,9 miliarda ludzi, co stanowi równowartość około 75 procent światowej ⁶¹ Rewolucyjny projekt samolotu zmienił populację przetransportowanej ludności na całym świecie, co jest jednym z największych sukcesów technologii lotniczej. Samoloty Boeinga 747 stały się jednym z najbardziej rozpoznawalnych symboli lotnictwa i bezpieczeństwa, a ich wpływy na przemysł lotniczy i gospodarkę są niezmiernie duże.

Integracja światowej gospodarki była ściśle powiązana z wprowadzeniem szerokokadłubowych samolotów pasażerskich – z Boeingiem 747 i jego późniejszymi emulatorami Airbusa (A340 i A380). Ich usługi były szczególnie ważne dla eksporterów z Azji, którzy wykorzystują je do dostarczania w krótkim czasie wielu bardzo poszukiwanych lub sezonowych towarów (najnowszych marek telefonów komórkowych, prezentów świątecznych) na rynki Ameryki Północnej i Europy. A samoloty szerokokadłubowe umożliwiły masową turystykę do wcześniej rzadko odwiedzanych miejsc (pasy startowe wystarczająco długie, aby pomieścić 747 są na Bali i Teneryfie, Nairobi i Tahiti), międzynarodowe podróże imigracyjne i wymiany edukacyjne.

Oczywiście postępy globalizacji były ściśle związane nie tylko z rosnącymi możliwościami i lepszą wydajnością potężnych napędów, ale także z nieustanną miniaturyzacją komponentów potrzebnych do obliczeń, przetwarzania informacji i komunikacji. Rozwój radia, a później telewizji i pierwszych komputerów elektronicznych zależał od zastosowania w pierwszej dekadzie XX wieku różnych lamp próżniowych, poczynając od diod i triod. Cztery dekady później nasza zależność od tych wielkich zespołów gorącego szkła stała się czynnikiem ograniczającym rozwój komputerów elektronicznych.

ENIAC, pierwszy elektroniczny komputer cyfrowy ogólnego przeznaczenia, miał 17 648 lamp próżniowych, objętość około 80 metrów sześciennych (powierzchnia około dwóch kortów do badmintona), z zasilaniem i systemem chłodzenia ważył około 30 ton i był często używany. Przerwy były spowodowane powtarzającymi się awariami lamp, które wymagały niemal stałej konserwacji i ⁶² Pierwsze praktyczne tranzystory — urządzenia szklanych obudów półprzewodnikowych, wykonane w technice flutacji, pieczęciowej i wa przed końcem dekady pomysły kilku amerykańskich wynalazców (Robert Noyce, Jack Kilby, Jean Hoerni, Kurt Lehovec i Mohamed Atalla) zaowocowały produkcją pierwsze układy scalone z elementami aktywnymi (tranzystory) i pasywnymi (kondensatory, rezystory) zbudowanymi i połączonymi ze sobą na cienkiej warstwie krzemu (materiał półprzewodnikowy). Obwody te mogą wykonywać dowolne określone funkcje obliczeniowe, a ich pierwsze praktyczne zastosowania dotyczyły rakiet i eksploracji kosmosu.

[63](#)

Kolejny krytyczny krok został wykonany przez firmę Intel w 1969 r., kiedy zaczął projektować pierwszy na świecie mikroprocesor, w którym na jednej płytce krzemowej umieszczano ponad 2000 tranzystorów w celu wykonywania pełnego zestawu zalecanych funkcji: w przypadku pionierskiego procesora 4044 firmy Intel było prowadzenie małej

Japoński kalkulator elektroniczny. [64](#) Model 4044 ugruntował trwającą dziesięciolecia pozycję Intela w projektowaniu mikrochipów, co doprowadziło do powstania pierwszych komputerów osobistych (stosunkowo drogie, powolne i ciężkie komputery stacjonarne z późnych lat 70. i wczesnych 80.) oraz przenośnej elektroniki, począwszy od telefonów komórkowych (pierwsze kosztowne konstrukcje późnych lat 80.) na laptopy, tablety i smartfony.

Lata 1950-1973 to okres szybkiego wzrostu gospodarczego praktycznie w każdej części świata: jej globalna średnia roczna i średni przyrost per capita były prawie 2,5 razy większe niż podczas poprzedniej fali globalizacji z lat 1850-1913, a wartość eksportowanych towarów w światowym produkcie gospodarczym wzrosła z niskiego nieco ponad 4 procent w 1945 roku do 9,6 procent w 1950 roku i około 14 procent w 1974 roku, co odpowiada udziałowi z 1913 roku, ale przy prawie dziesięciokrotnie większym wolumenie handlu.

[65](#) Wzrost gospodarczy był niemal powszechny (lata Wielkiego Głodu w Chinach z lat 1958-1961 były najbardziej znaczącym wyjątkiem), ale korzyści płynące z tego złotego wieku ekspansji gospodarczej – powojennego odbicia, z wysokimi stopami wzrostu pomagającymi zmniejszyć nierówności gospodarcze – były nieproporcjonalnie skoncentrowane na Zachód: do 1973 r. Ameryka Północna i kraje Europy Zachodniej stanowiły ponad 60 procent światowego eksportu.

[66](#) Gdy główne gospodarki Europy Zachodniej (Niemcy, Wielka Brytania, Francja) i Japonia stały się najbardziej dynamicznymi handlowcami ery, nieuchronnie udział Ameryki w światowym handlu stopniowo spadał.

Podczas gdy handel rozwijał się, a konsumenti w krajach zachodnich cieszyli się większym dostępem do szerszej gamy towarów importowanych, podróże międzynarodowe – czy to w celach biznesowych, czy turystycznych – pozostały stosunkowo ograniczone, podobnie jak migracja międzynarodowa i liczba osób studujących lub tymczasowo pracujących za granicą. Niemcy nie polecieli do Tajlandii ani na Hawaje; pojechali na włoskie plaże. Udział imigrantów w populacji Stanów Zjednoczonych, który tuż przed I wojną światową osiągnął szczytowy poziom prawie 15 proc., osiągnął nowy niski poziom [67](#) A sugestia, że Chiny, odcięte od ponad amerykańskie uniwersytety, ~~byłyby kontynentem, jaka niszczałyby ją i ją zniszczyłyby~~ była jedynie ogólna fikcja.

A potem (z powodów wyjaśnionych w pierwszym rozdziale, gdzie namierzyłem współczesność zależności cywilizacyjnej od ropy naftowej) wydawało się, że powojenny okres ograniczonej, ale intensywnej globalizacji minął. Wzrost cen ropy spowodowany przez OPEC spowodował, że globalizacja osłabła, osłabła i cofnęła się, ale odwrót ten nie dotknął wszystkich sektorów gospodarki – a w ciągu kilku lat połączenie

skuteczne dostosowania położyły podwaliny pod nową rundę globalizacji, która dzięki nowym uzgodnieniom politycznym posunęła się dalej niż jakakolwiek z poprzednich fal.

Wejdź do Chin, Rosji, Indii

Tym razem ekspansja – umożliwiona, jak zawsze, czynnikami technicznymi – zaszła tak daleko, ponieważ po raz pierwszy w historii nowożytnej mogła zajść tak daleko. Pod koniec lat 60. możliwości techniczne były gotowe na bezprecedensową integrację globalną: dostawy energii były obfite, nie brakowało pieniędzy na inwestycje, a wszystko, co było potrzebne, to rozszerzenie procesu globalizacji na narody, które nie uczestniczyły w pierwszym okresie powojennym. okrągły. Zaczęło się to w końcu, gdy środki techniczne i finansowe zostały zdecydowanie wzmacnione i wzmacnione przez fundamentalne zmiany polityczne, gdy Chiny, Rosja i Indie stały się głównymi uczestnikami światowego handlu, finansów, podróży i przepływu talentów.

Stopniowe otwieranie Chin rozpoczęło się w 1972 r. wizytą Richarda Nixona w Pekin dokonał decydującego zwrotu pod koniec 1978 r. (dwa lata po śmierci Mao Zedonga) wraz z powstaniem Deng Xiaopinga i rozpoczęciem od dawna spóźnionych reform gospodarczych (de facto prywatyzacja rolnictwa, modernizacja przemysłu i częściowy powrót do prywatnej przedsiębiorczości).) i przyspieszył po przystąpieniu Chin do Światowej Organizacji Handlu (WTO) w 2001 r. W 1972 r. Chiny nie prowadziły handlu z USA; Rok 1984 był ostatnim rokiem, w którym Stany Zjednoczone miały nadwyżkę w handlu towarami z Pekinem; w 2009 roku Chiny stały się największym światowym eksporterem towarów; a do 2018 r. jej eksport stanowił ponad 12 procent całej światowej sprzedaży, a nadwyżka w handlu ze Stanami Zjednoczonymi osiągnęła prawie 420 miliardów dolarów, po czym spadła o około 18 procent w 2019 r. z powodu rosnących napięć między dwoma supermocarstwami gospodarczymi. ⁶⁸ Najlepsza jest za wcześnie, by przewidywać jakikolwiek długoterminowy regres w handlu lub powrót do coraz ścisłej integracji gospodarczej.

Po dziesięcioleciach zimnej wojny ZSRR zaczął się rozpadać pod koniec Lata 80. Najpierw odłączyły się państwa satelickie (mur berliński upadł 9 listopada 1989 r.), a 26 grudnia 1991 r. oficjalnie rozwiązano państwo sowieckie.) do inwestycji zagranicznych, zintensyfikowanych przez handel międzynarodowy, poludniowy sektor, ⁶⁹ który wcześniej nie mogła swobodnie podróżować za granicę, włączyła się w turystykę masową i skorzystała z nowych możliwości emigracji i

czasowo pracować i studiować za granicą. Rozwój handlu odbywał się w ramach globalnie uzgodnionych przez WTO.

[70](#)

Indie, ze swoją chaotyczną polityką wyborczą i wieloetniczną, nie były w stanie odtworzyć wzrost Chin po 1990 r., napędzany niekwestionowanymi rządami jednej partii, ale odnotowany wzrost PKB per capita w pierwszych dwóch dekadach XXI wieku wskazuje na wyraźne odejście od poprzednich dekad słabych wyników. W latach 1970-1990 PKB na mieszkańca kraju (w stałych pieniądzach) faktycznie spadł w ciągu sześciu lat i utrzymywał się poniżej 4% przez cztery lata, podczas gdy w latach 2000-2019 roczny wzrost przekraczał 4% przez 18 z tych lat.

[71](#)

Co więcej, od 2008 r. roczny wzrost eksportu towarów w tym kraju był o 5,3 proc., tylko nieznacznie niższy od chińskiego 5,7 proc. przemysłu) [72](#) była znacznie wyższa od chińskiego wkładu.

Wzrost znaczenia Indii zbiegły się z marginalizacją partii Kongresu, która rządziła krajem przez dziesięciolecia po uzyskaniu przez nie niepodległości w 1947 roku, podczas gdy zarówno Rosja, jak i Chiny zachowały wiele atrybutów centralnej kontroli gospodarczej i społecznej. W przeciwieństwie do nowej, nacjonalistycznej Rosji, partia komunistyczna pozostaje w ścisłej władzy w Chinach, ale oba kraje zezwoliły (zgodnymi uwagi represyjnymi wyjątkami) na swobodę podróżowania, która doprowadziła do nowych fal turystów – z ulubionymi miejscowościami docelowymi dla krajów śródziemnomorskich Rosjanie; Tajlandia, Japonia i Europa dla Chińczyków – i nastąpił bezprecedensowy napływ studentów z Chin, Indii i Korei Południowej na Zachód, przede wszystkim do Stanów Zjednoczonych.

Udział handlu międzynarodowego w światowym produkcie gospodarczym wzrósł z około 30 proc. w 1973 r. do prawie 61 proc. w 2008 r., podczas gdy całkowity wolumen handlu (w stałych pieniądzach) wzrósł prawie dokładnie sześciokrotnie, przy czym łączny wzrost, który miał miejsce [w latach 1990-2008](#). [73](#) Kryzys finansowy z lat 2008-2009 ograniczył gospodarczej o około 15 procent w 2009 r., ale do 2018 r. ogólny handel był o 35 procent wyższy od szczytu z 2008 r., a udział handlu w światowym produkcie gospodarczym powrócił powyżej 59 procent — a liczby zmieniły się niewiele w 2019 r. inwestycje bezpośrednie (mierzone jako odpływ netto rocznie) to kolejny oczywisty wskaźnik globalizacji. W 1973 jego globalna suma wynosiła mniej niż 30 miliardów dolarów (około 0,7 procent globalnego produktu gospodarczego); dwie dekady później wzrosła do 256 miliardów dolarów; ale do 2007 r. wzrosła do 3,12 biliona dolarów (prawie 5,5 procent globalnego produktu), 12-krotnie

wzrost w ciągu zaledwie 14 lat, a głównym kierunkiem jest Azja (a przede wszystkim Chin⁷⁴).

Rosyjski zespół mierzył postępy globalizacji po 2000 roku, łącząc wszystkie kluczowe wskaźniki — to znaczy analizując zmiany w handlu towarami, usługach i skumulowanych zapasach dwustronnych bezpośrednich inwestycji zagranicznych (szczególnie ważnych dla Chin), a także migrantów (nieistniejący w Chinach, ale ważny dla amerykańskiej gospodarki).

⁷⁵ Nic dziwnego, że wyniki

pokazują największe zyski dla wcześniej izolowanej Rosji, innych byłych europejskich gospodarek komunistycznych i Chin, a także dla Indii, niektórych krajów afrykańskich i Brazylii. Co więcej, w wyniku tych przesunięć do 2017 r. globalne powiązania Chin były tak samo wysokie jak Japonii; Rosja rywalizowała ze Szwecją; Indie można porównać z Singapurem. Jeśli którakolwiek z tych kombinacji wydaje się wątpliwa, pomyśl tylko o miejscu Chin jako największego producenta dóbr konsumpcyjnych, o ogromnym eksportie rosyjskiej energii i minerałów oraz o (już zauważonym) kontyngencie indyjskich inżynierów oprogramowania w Dolinie Krzemowej.

Wielokrotności globalizacji

Być może najlepszym sposobem docenienia postępu technicznego, który umożliwił tę naprawdę bezprecedensową globalizację, jest wyrażenie ich postępu jako wielokrotności ich możliwości, ocen, wydajności lub wydajności. Jak już wyjaśniono, techniczne podstawy tej oszałamiającej rundy globalizacji zostały położone przed 1973 r., ale jej zasięg i intensywność od tego czasu wymaga ogromnych inwestycji w silniki spalinowe i elektryczne w transporcie oraz w podstawową infrastrukturę (porty, lotniska, wysyłka kontenerowa). W rezultacie nie tylko mamy ich więcej, ale ich średnie moce (moc, objętość, przepustowość) wzrosły, a ich typowa wydajność i niezawodność uległy poprawie. Przyjrzyjmy się więc postępowi, jaki dokonał się w żegludze, lotnictwie, nawigacji, informatyce i komunikacji od wczesnych lat siedemdziesiątych.

Globalizacja po 1973 r. zwiększyła ponad trzykrotnie masę handlu morskiego⁷⁶ tankowców przyniosł poważne zmiany w jego składzie. (Zmiana ruchu naftową i produkty rafineryjne) stanowiły ponad połowę całości przetransportowanych towarów, w 2018 r. towary stanowiły około 70 proc., co odzwierciedla nie tylko wzrost Azji – a przede wszystkim Chin – jako

wiodące źródło dóbr konsumpcyjnych, ale ogólny wzrost integracji i współzależności: niemieccy producenci samochodów montują pojazdy w Alabamie w Teksasie produkowane chemikalia (korzystając z boomu w wydobyciu gazu ziemnego) zapewniają surowce dla przemysłu UE, chilijskie owoce są eksportowane do czterech kontynentów, a wielbłody somalijskie są wysyłane do Arabii Saudyjskiej.

To potrojenie masy wysłanej w latach 1973-2019 wymagało (mierzony w tonach nośności) prawie czterokrotnego zwiększenia globalnej pojemności floty handlowej. Tonaż nośny tankowców wzrósł nieco ponad trzykrotnie, tonaż kontenerowców wzrósł około 4,5 razy, a wielkość globalnej floty kontenerowej zwiększyła się około 10-krotnie w ciągu 45 lat do 5 152 statków w 2019 roku. Towarzyszy mu masowe przeniesienie działalności kontenerowej do Chin: w 1975 r. Chiny nie miały ruchu kontenerowego, a porty amerykańskie i japońskie odpowiadały za prawie połowę globalnej działalności; w 2018 r. Chiny (w tym Hongkong) miały 32 procent udziału, podczas gdy łączny udział USA i Japonii wynosił mniej niż 10 procent.

Jeśli chodzi o maksymalne rozmiary statków, w 1972 i 1973 roku Malcolm McLean zwodowano jego największe kontenerowce, każdy o pojemności 1968 standardowych kontenerów stalowych (prawie pięć razy większy niż jego pierwsze przebudowane statki w 1957 r.). W 1996 roku *Regina Maersk* mogła załadować 6000 standardowych jednostek; do 2008 roku maksymalna wynosiła 13.800; a w 2019 roku Mediterranean Shipping Company oddała do użytku sześć gigantycznych statków, z których każdy może przewozić 23 756 standardowych kontenerów, co daje 12-krotny wzrost maksymalnej pojemności statków w latach 1973-77 [2019](#). Sieci przywożą teraz towary z miasta w głębi Chin do rampy przeładunkowej Walmarka w stanie Missouri.

— Nieuchronnie ta konwersja na masową skalę do transportu kontenerowego była wymagana

A kiedy transport drogiego jedzenia lub kwiatów (świeże złowiony tuńczyk z Atlantic Kanada do Tokio; zielona fasolka z Kenii do Londynu; róż z Ekwadoru do Nowego Jorku) lub wysokiej jakości sprzęt elektroniczny, lecą samolotem. Każdy samolot pasażerski przewozi towary, podobnie jak rosnąca flota frachtowców lotniczych: w rezultacie w latach 1973-2018 globalny transport lotniczy (wyrażony w tonokilometrach) wzrósł około 12-krotnie, podczas gdy regularny ruch pasażerski wzrósł z około 0,5 bilionów do ponad 8,3 bilionów pasażerokilometrów, prawie 17-krotny wzrost.

[78](#) Prawie dwie trzecie (5,3 biliona pasażerokilometrów) ostatniej sumy przypadło na loty międzynarodowe — co odpowiada prawie pół miliardowi lotów rocznie z Nowego Jorku do Londynu i powrotem.

Coraz większą część tych lotów wykonują turyści zagraniczni.

We wczesnych latach 70. ich roczna globalna suma (zdominowana przez Amerykanów i mieszkańców Europy Zachodniej) wynosiła poniżej 200 milionów; do 2018 roku nowy rekord osiągnął 14 miliarda.⁷⁹ Europa pozostaje głównym kierunkiem turystycznym i Włochy są najczęściej odwiedzanymi krajami na kontynencie. Od pokoleń Stany Zjednoczone przewodziły ogólnym wydatkom turystycznym, ale w 2012 roku wyprzedziły je Chiny, a pięć lat później chińscy turyści wydawali dwa razy więcej niż Amerykanie. Dość nagły wzrost liczby przyjazdów i ich nieproporcjonalna koncentracja w kilku dużych miastach (Paryż, Wenecja, Barcelona) doprowadziły do skarg ze strony ich stałych mieszkańców i do pierwszych kroków w celu ograniczenia liczby odwiedzających dziennie lub 80 osób rocznie.

Długi zasięg prawa Moore'a

Wzrost liczby przemieszczanych materiałów, produktów i ludzi, a także konieczność dostarczania materiałów lub komponentów w samą porę dla nowych branż pracujących bez obszernych zapasów, były możliwe (i stały się bardziej niezawodne) dzięki zyskom w zakresie nawigacji, śledzenia, obliczeń i komunikacji, potrzebne były również znacznie rozszerzone możliwości, aby dostosować się do nowego zalewu międzynarodowych przepływów danych. Wszystkie te postępy mają jedną fundamentalną podstawę techniczną: naszą zdolność do umieszczania większej liczby komponentów w układzie scalonym, którego postęp – podwajający się mniej więcej co dwa lata – był, jak dotąd, zgodny z przewidywaniami Gordona Moore'a, ówczesnego dyrektora firmy Fairchild Semiconductor. badań, w 1965 r.⁸¹

W 1969 Moore został współzałożycielem Intelu, a (jak już wspomniano) w 1971 firma wypuściła swój pierwszy mikroprocesor (mikrochip) z 2300 komponentami. Produkcja mikroprocesorów w końcu przeszła od integracji na dużą skalę (do 100 000 komponentów) do integracji na bardzo dużą skalę (VLSI, do 10 milionów komponentów) i do integracji na bardzo dużą skalę⁸² Znak 10 5 (100 000 tranzystorów) (ULSI, do miliarda komponentów). został — osiągnięty w 1982 r., a w 1996 r., aby uczcić 50. rocznicę maszyny, grupa studentów z University of Pennsylvania odtworzyła ENIAC, umieszczaając 174 569 tranzystorów na krzemowym mikroczipie 7,4 mm × 5,3 mm: oryginalna maszyna została wykonana ponad 5 milionów razy cięższe, to

wymagał około 40 000 razy więcej energii elektrycznej, a odtworzony chip był 500 razy szybszy.⁸³ 8 znak został przekroczony w 2003 r. 10. I postęp był kontynuowany: 10 w 2010 r., a do końca 2019 miliardami tranzystorów. wzrosła o siedem rzedów. ⁸⁴ Dwie połółki głowicy do kąpieli i 107; Epytia 39,5 Gb/s.⁹

⁸⁴ Oznacza to, że w latach 1971-2019 moc mikroprocesora

Te postępy były więcej niż wystarczające, aby zaspokoić nowe zapotrzebowanie na masowe transfery danych (z satelitów obserwacyjnych, szpiegowskich i komunikacyjnych oraz między centrami finansowymi i magazynami danych), natychmiastową pocztę e-mail i połączenia głosowe oraz bardzo dokładną nawigację.

Ta ostatnia zdolność skorzystała z postępów w wykrywaniu radarów i dzięki: stworzenie, a następnie rozbudowa i udoskonalenie globalnych systemów pozycjonowania (GPS): pierwszy (amerykański) system był w pełni operacyjny w 1993 r., a następnie trzy inne (rosyjski GLONASS, UE Galileo, chiński BeiDou).⁸⁵ W rezultacie każdy, kto ma komputer lub telefon komórkowy, może teraz w czasie rzeczywistym określić swoje położenie i wiedzieć, gdzie jest i obserwując statki towarowe (zielone ikony) zbiegające się w Szanghaju i Hongkongu, ustawiając się w kolejce do przechodzą między Bali a Lombok lub w góre Kanału La Manche; zobaczyć tankowce (czerwone) wypływające z Zatoki Perskiej, holowniki i statki specjalne (turkusowe) obsługujące platformy wydobywcze ropy i gazu na Morzu Północnym oraz statki rybackie (jasnobrązowe) wędrujące po środkowym Pacyfiku (a jest tam znacznie więcej statków i gdzie indziej, których nie widać na ekranie, ponieważ łowiąc nielegalnie, wyłączają swoje transpondery).

86

Analogiczna i nie mniej fascynująca jest możliwość klikania, aby monitorować wszystkie loty komercyjne.⁸⁷ Wczesny poranek w Europie pokazuje długie łuk rozłożonych lotów zbliżających się do kontynentu po przejściu nocą przez Atlantyk z Ameryki Północnej i Południowej; wieczory w Ameryce Północnej pokazują długie strumienie odrzutowców podążających optymalnymi trasami lotu do Europy; Transpacyficzne loty do Japonii zbiegają się na Narita i Haneda późnym popołudniem i wczesnym wieczorem czasu tokijskiego. Ponadto śledzenie lotu umożliwia śledzenie zmieniających się torów lotu z uwzględnieniem często zmieniającej się pozycji strumienia.

⁸⁸ Rzadsze korekty toru lotu są spowodowane postępem dużych cyklonów lub chmurami popiołu emitowanymi przez erupcje wulkaniczne.⁸⁹

Nieuchronność, niepowodzenia i przesadny zasięg

Historia globalizacji ujawnia niezaprzeczalny długoterminowy trend w kierunku większej międzynarodowej integracji gospodarczej, który przejawia się wzmożonymi przepływami energii, materiałów, ludzi, idei i informacji, a jest to możliwe dzięki poprawie możliwości technicznych. Proces nie jest nowy, ale tylko dzięki wielu innowacjom po 1850 roku mógł osiągnąć swoją niedawną intensywność i zasięg. Jednak, jak wskazują niektóre komplikacje z przeszłości, te postępy techniczne nie sprawiają, że dalszy postęp jest nieunikniony: przede wszystkim pierwsza połowa XX wieku była świadkiem znaczącego odwrotu od globalizacji gospodarczej, a tym samym od towarzyszącego jej międzynarodowego ruchu ludzi. Przyczyny tego odwrotu są oczywiste, gdyż dziesięciolecia były naznaczone bezprecedensowym splotem wielkich tragedii i odwrócenia się losów narodowych.

Lista, ograniczona do kluczowych wydarzeń, obejmuje koniec Qing, ostatniej dynastii cesarskiej w Chinach (1912); I wojna światowa (1914–1918); koniec carskiej Rosji, kiedy do władzy doszli bolszewicy i nastąpiły lata wojny domowej, zakończonej powstaniem ZSRR (1917–1921); rozpad Imperium Osmańskiego (ostateczne rozwiązanie do 1923 r.); niestabilność polityczna w Europie powojennych lat 20.; załamanie giełdy pod koniec października 1929 r.; kolejne światowe kryzysy gospodarcze, które trwały przez większość lat 30.; inwazja Japonii na Mandżurię (1931), prawdziwy początek kolejnej wielkiej wojny; przejęcie Niemiec przez hitlerowców (1933); hiszpańska wojna domowa (1936–1939); II wojna światowa (1939–1945); ponowna wojna domowa w Chinach (1945–1949); początek zimnej wojny (1947); i proklamacja Mao Chińskiej Republiki Ludowej (1949). Odwrót globalizacji gospodarczej był znaczny. Udział handlu w międzynarodowym PKB spadł z ok. 14 proc. w 1913 r. do ok. 6 proc. w 1939 r., a następnie do zaledwie 4 proc. w 1945 r.

[90](#)

A przyspieszone tempo globalizacji po 1990 r. nie zależało tylko od... posiadanie lepszych środków technicznych; byłoby to niemożliwe bez równoczesnych poważnych przemian politycznych i społecznych, w szczególności powrotu Chin do handlu międzynarodowego po 1980 r., po którym nastąpił (w latach 1989-1991) demontaż imperium sowieckiego. Oznacza to, że wysoki stopień globalizacji osiągnięty w pierwszych dwóch dekadach XXI wieku nie był nieunikniony i że może go osłabić przyszły rozwój. W jakim stopniu (marginalnie lub znacząco) i jak szybko

(szybko z powodu konfrontacji wielkich sił, stopniowo jako sprawa pokoleniowa) jest niemożliwe do przewidzenia.

Wiele wydaje się być mocno osadzonych. Duża część naroszej globalizacji, a zwłaszcza wiele zmian, które nastąpiły w ciągu ostatnich dwóch pokoleń, pozostanie. Zbyt wiele krajów polega obecnie na importie żywności, a samowystarczalność we wszystkich surowcach jest niemożliwa nawet dla największych krajów, ponieważ żaden kraj nie posiada wystarczających rezerw wszystkich minerałów potrzebnych jego gospodarce. Wielka Brytania i Japonia importują więcej żywności niż produkują, Chiny nie mają tyle rudy żelaza, ile potrzebują do swoich wielkich pieców, USA kupują wiele metali ziem rzadkich (od lantanu po itru), a w Indiach chronicznie brakuje ropy naftowej.⁹¹ Nieodłączne zalety produkcji na masową skalę uniemożliwiają firmom montaż telefonów komórkowych w każdym mieście, w którym są kupowane. A miliony ludzi nadal będą próbować zobaczyć kultowe odległe miejsca, zanim umrą.⁹² Co więcej, natychmiastowe odwrócenie nie jest praktyczne, a szybkie zakłócenia mogą nastąpić tylko w połączeniu z wysokimi kosztami. Na przykład głoba logopodaż, aby skrócić czas transportu, aby pełnić funkcję najważniejszego na świecie centrum produkcji urządzeń przenośnych.

Ale historia przypomina nam, że niedawny stan rzeczy prawdopodobnie nie będzie trwał długo pokolenia. Jeszcze na początku lat 70. światowymi liderami były przemysł brytyjski i amerykański. Ale gdzie są teraz zakłady obróbki metali w Birmingham lub piece stalowe w Baltimore? Gdzie są wielkie przedzalnie bawełny w Manchesterze lub w Południowej Karolinie? W 1965 roku wielka trójka z Detroit nadal miała 90 procent amerykańskiego rynku samochodowego; teraz nie mają nawet 45 proc. Do 1980 roku Shenzhen było małą wioską rybacką, kiedy stało się pierwszą chińską specjalną strefą ekonomiczną, a teraz jest megamiastem liczącym ponad 12 milionów ludzi: jaką rolę będzie odgrywać w 2050 roku? Niemożliwy jest masowy, szybki powrót z obecnego stanu, ale nastroje proglobalistyczne od pewnego czasu słabną.

Przyspieszona dezindustrializacja Ameryki Północnej, Europy i Japonii oraz przeniesienie produkcji do Azji ogółnie, a do Chin w szczególności⁹³. Ta zmiana produkcji była głównym zmiany, od ryzykownych po tragiczne. Do pierwszej kategorii należały gospodarki, takie jak Kanada, kraj o zasobach leśnych na mieszkańca większym niż w jakimkolwiek innym zamożnym kraju, sprowadzający wykałaczki i papier toaletowy z Chin, kraju, którego zapasy drewna stanowią niewielki ułamek ogromnego dziedzictwa lasów borealnych Kanady. .

przyczynił się również do tragedii, takich jak rosnąca śmiertelność w średnim wieku wśród białych amerykańskich mężczyzn bez wykształcenia uniwersyteckiego. Nie ma wątpliwości, że utrata około 7 milionów (dawniej dobrze płatnych) miejsc pracy w przemyśle wytwórczym po 2000 r. – przy czym większość tej straty można przypisać globalizacji, ponieważ większość tej produkcji przeniosła się do Chin – była główną przyczyną tych zgonów. rozpaczy, w dużej mierze przypisywanej samobójstwu, przedawkowaniu narkotyków i chorobie wątroby wywołanej alkoholem. [95](#)

I mamy teraz solidne ilościowe potwierdzenie, że globalizacja osiągnęła punkt zwrotny w połowie 2000 roku. Rozwój ten został wkrótce przyjmiony przez Wielką Recessję 2008 roku, ale analiza McKinseya 23 branżowych łańcuchów wartości (powiązanych działań, od projektowania po sprzedaż detaliczną, które dostarczają produkty końcowe) obejmujących 43 kraje w latach 1995-2017 pokazuje, że łańcuchy wartości towarów wytwarzających powoli w wartościach bezwzględnych stały się znacznie mniej intensywne w handlu, a eksport spadł z 28,1 proc . , tylko około 18 procent światowego handlu towarami jest obecnie napędzane że w wielu sieciach udział ten spadał w ciągu 2010 rokuniszyne globalne i pionierskie korporacje), coraz bardziej wymagają wiedzy i w coraz większym stopniu opierają się na wysoko wykwalifikowana siła robocza. Podobnie badanie OECD pokazuje, że ekspansja globalnych łańcuchów wartości zatrzymała się w 2011 r. i od tego czasu nieznacznie spadła: odnotowano mniejszy handel

towary i usługi pośrednie.

[97](#)

Dodaj do tego (uzasadnione lub przesadzone, przemyślane lub demagogiczne) obawy dotyczące wpływu globalizacji na suwerenność narodową, kulturę i język; o osłabianiu cenionych osobliwości w rozpuszczalniku komercyjnej uniwersalności (z obawami od wszechobecności amerykańskich sieci fast foodów po zasadniczo niekontrolowaną siłę mediów społecznościowych); oraz, wbrew obiecanyim korzyściom, obawy o rolę globalizacji w nierównościach gospodarczych i społecznych. Nawet powściągliwa ocena tych rzeczywistych i postrzeganych negatywów potwierdza wystarczająco dużo wad, by kwestionować jakkolwiek przyszłą intensyfikację tego procesu, a w 2020 r. COVID-19 wzmacnił takie nastroje.

Argumenty przemawiające za przywróceniem wielu rodzajów produkcji w celu uzyskania korzyści większa odporność i ograniczenie nieoczekiwanych zakłóceń nie są niczym nowym. Postęp globalizacji i działania międzynarodowych firm były kwestionowane i krytykowane od lat 90., a ostatnio nastroje te stały się częścią niezadowolenia wyborczego w niektórych krajach, głównie

zwłaszcza w Wielkiej Brytanii i Stanach Zjednoczonych.⁹⁸ Jednak wraz z rozwojem pandemii COVID-19 niezwykły szereg instytucji zaczął publikować analizy i apele o reorganizację globalnych łańcuchów dostaw. OECD przyjrzała się opcjom politycznym budowy bardziej odpornych sieci produkcyjnych, które w mniejszym stopniu opierałyby się na importie z odległych miejsc i które mogłyby lepiej wytrzymać zakłócenia w globalnym handlu. Konferencja Narodów Zjednoczonych ds. Handlu i Rozwoju rozważała repatriację produkcji z Azji do Ameryki Północnej i Europy oraz przejście do krótszych, mniej rozdrobnionych łańcuchów wartości – rozciągających się od projektowania przez produkcję do dystrybucji w obrębie jednego kraju lub jednej jednostki gospodarczej – które przyniosłyby wyższą koncentrację wartości dodanej. Swiss Re przygotowało raport na temat zmniejszania ryzyka globalnych łańcuchów dostaw (zmieniając je w celu wzmacnienia odporności). A Brookings Institution uznał przywrócenie zaawansowanej produkcji za najlepszy sposób na to

tworzyć dobre miejsca pracy.⁹⁹

Kwestionowanie i krytykowanie globalizacji wykroczyło poza wąsko ideologiczne argumenty, a pandemia COVID-19 dostarczyła dodatkowych mocnych argumentów opartych na niepodważalnych obawach o fundamentalną rolę państwa w ochronie życia obywateli. Rola ta jest trudna do odegrania, gdy 70 procent gumowych rękawiczek na świecie jest produkowanych w jednej fabryce i gdy podobny lub nawet większy udział nie tylko innych środków ochrony osobistej, ale także głównych składników leków i powszechnie stosowanych leków (antybiotyki, leki przeciwnadciśnieniowe) narkotyki) pochodzą od bardzo niewielkiej liczby dostawców w Chinach i Indiach.¹⁰⁰ Taka zależność może spełnić marzenie ekonomistów o masowej produkcji przy możliwie najniższych kosztach jednostkowych, ale prowadzi do skrajnie nieodpowiedzialnego – jeśli nie kryminalnego – zarządzania, gdy lekarze i pielęgniarki muszą stawić czoła pandemii bez odpowiednich środków ochrony osobistej, gdy zaangażowane są państwa zależne od produkcji zagranicznej, w przerzążającej konkurencji o ograniczone dostawy i gdy pacjenci na całym świecie nie mogą odnowić recept z powodu spowolnienia lub zamykania azjatyckich fabryk.

A obawy o bezpieczeństwo wywołane nadmierną globalizacją wykraczają daleko poza... sektor opieki zdrowotnej. Rosnący import dużych chińskich transformatorów do Stanów Zjednoczonych budzi obawy o dostępność części zamiennych i możliwość przyszłej destabilizacji sieci i nie ma potrzeby powtarzania argumentów o szeroko nagłośnionym zakazie udziału Huawei w niektórych sieciach 5G., wznowienie produkcji narody zachodnie. ¹⁰¹ mogłyby być falą przyszłości, zarówno w Ameryce Północnej, jak i w Europie: 2020

Badanie wykazało, że 64 procent amerykańskich producentów stwierdziło, że reshoring jest prawdopodobnie następstwem pandemii.¹⁰²

Czy ten sentyment się utrzyma? Ponieważ nigdy nie zapominam o stresie, nie prognozę i dlatego nie podam żadnych konkretnych liczb dotyczących wycofania się lub kontynuacji globalizacji sprzed COVID w ogóle, ani też przywrócenia zdolności produkcyjnych w szczególności. Próbuje jedynie ocenić zakres najbardziej prawdopodobnych wyników i chociaż w ostatnich latach coraz bardziej wydawało się, że większość aspektów globalizacji nie osiągnie nowych szczytów, w 2020 r. pojęcie to stało się zupełnie zwyczajne: być może widzieliśmy szczyt globalizacji, a jej odpływ może trwać nie tylko przez lata, ale przez dziesięciolecia, aby chodź.



5. Zrozumienie ryzyka

Od wirusów, przez diety, po rozbłyski słoneczne

Jednym z ogólnych, upraszczających sposobów opisania postępów współczesnej cywilizacji jest postrzeganie ich jako seryjnych poszukiwań mających na celu zmniejszenie ryzyka, które wynika z tego, że jesteśmy złożonymi i delikatnymi organizmami, które próbują przetrwać wbrew wielu przeciwnościom w świecie pełnym niebezpieczeństw. Poprzednie rozdziały dokumentowały, jak odnieśliśmy sukces w tym zadaniu. Wyższe plony poprawiły podaż żywności, obniżyły jej koszty i zmniejszyły ryzyko niedożywienia, zahamowania wzrostu i chorób wieku dziecięcego wynikających z niedożywienia. Przede wszystkim połączenie zwiększonej produkcji żywności, ekstensywnego handlu żywnością i nadzwyczajnej pomocy żywnościowej wyeliminowało od dawna nieuchronność nawracających klęsk głodu.¹

—

Lepsze mieszkanie (więcej miejsca, bieżąca i ciepła woda, centralne ogrzewanie), lepiej higiena (żadna poprawa nie jest ważniejsza niż więcej mydła i częstsze mycie rąk) oraz lepsze środki ochrony zdrowia publicznego (od masowych szczepień po nadzór nad bezpieczeństwem żywności) poprawiły komfort w domu, zmniejszyły ryzyko infekcji rozprzestrzenianych przez skażone wody, zmniejszyły częstotliwość patogenów przenoszonych przez żywność i w dużej mierze wyeliminował niebezpieczeństwo zatrucia tlenkiem węgla z opalanego drewnem

pieców. Współczesne pojazdy i pojazdy towarowe. Współczesne pojazdy i pojazdy towarowe (obecnie przekraczającymi 1,2 miliona rocznie) byłyby znacznie bardziej śmiertelne bez ulepszeń w konstrukcji samochodu i funkcji ochronnych (drążki przeciwławamaniowe chroniące przed uderzeniami bocznymi, pasy bezpieczeństwa, poduszki powietrzne, światła hamowania na wysokość oczu kierowcy oraz, w coraz większym stopniu, automatyczne hamowanie i korekta zjechania z pasa ruchu), które ograniczyły ryzyko kolizji i poważnych obrażeń.

³

Traktaty międzynarodowe określają przejrzyste zasady, które promują niezawodność i bezpieczeństwo (takie jak zmniejszanie ryzyka importu skażonych towarów) i poddają godne ubolewania wydarzenia poddaniem kroków prawnych (takich jak ściganie rodzica, który

uprowadził dziecko do innego kraju). ⁴ I pomimo wrażenia stworzonego przez doniesienia mediów, światowa częstotliwość konfliktów zbrojnych i całkowita liczba ich ofiar spadają od dziesięcioleci. ⁵ Ale biorąc pod uwagę złożoności różnych nieprzewidywalność procesów naturalnych oraz niemożność wykorzenienia wszystkich ludzkich błędów popełnianych podczas projektowania skomplikowanych maszyn i ich obsługi, nie dziwi fakt, że we współczesnym świecie wciąż istnieje wiele zagrożeń. .

Nawet osoby, które nie podejmują szczególnych kroków, aby być dobrze poinformowanym, są rutynowo narażone na doniesienia mediów o zagrożeniach spowodowanych przez człowieka i naturalnych oraz zagrożeniach związanych z dietami, chorobami i codziennymi czynnościami. Pierwsza kategoria obejmuje od przerażających ataków terrorystycznych po wiele przejawów chemofobii (od pozostałości pestycydów w żywności po substancje rakotwórcze w zabawkach lub dywanach), od azbestu zniszczenie planety przez wiadomości technologiczne i genetyczne, aż po klęski żywiołowe – w tym huragany, tornado, powódzie, susze i szarańcza – aż tle trwają obawy o nieuleczalne nowotwory i nieprzewidywalne wirusy, a ostatnie obawy dotyczące SARS-CoV-1 i Eboli są tylko łagodnymi zapowiedziami udręki wywołanej przez Pandemię COVID-19 (SARS-CoV-2).

7

Listę można łatwo rozszerzyć, dodając obawy dotyczące choroby szalonych krów (gąbczasta encefalopatia bydła), Salmonella lub Escherichia coli, narażenie na drobnoustroje szpitalne (infekcje szpitalne), promieniowanie niejonizujące z telefonów komórkowych, cyberbezpieczeństwo i kradzież danych, projekty sztucznej inteligencji lub organizmy genetyczne zmodyfikowane, które wymykają się spod kontroli, przypadkowe uruchomienie atomu rakiety i zabłakana, nieobserwowana asteroida uderzająca w planetę. Z takim motywem możemy łatwo dojść do wniosku, że jesteśmy teraz narażeni na większe ryzyko niż kiedykolwiek – lub, w przeciwnieństwie do tego, że nieustanne (i przesadzone) zgłaszanie takich wydarzeń lub ich możliwości po prostu uświadomiło nam ich istnienie i że właściwe postrzeganie ryzyka zapewniłoby pewne uspokajające perspektywy. I dokładnie to zrobię w tym rozdziale. Tak, świat jest pełen stałych lub epizodycznych zagrożeń, ale jest też pełen błędnych wyobrażeń i irracjonalnych ocen ryzyka. Istnieje wiele przyczyn tych błędnych wyobrażeń i błędnych obliczeń, a praktycy analizy ryzyka opublikowali odkrycia dotyczące ich pochodzenia, rozpowszechnienia i wytrzymałości. ⁸

Ale zanim przejdę do analiz, kwantyfikacji i porównań człowieka wykonane i naturalne ryzyko, zacznijmy od podstaw. Co powinniśmy jeść, aby promować długie życie? Biorąc pod uwagę prawdziwe pole minowe współczesnych roszczeń żywieniowych i roszczeń wzajemnych, odpowiedź na to pytanie może wydawać się niemożliwa, a przynajmniej bardzo trudna. Jak rozważę poszczególne zalety i wady diet, od niekontrolowanej mięsożerności po najczystszy weganizm?
Pierwsza, promowana jako domniemana dieta paleolityczna, dostarcza ponad jedną trzecią całej energii żywnościoletniej z białka mięsa; druga wykracza poza to, że nigdy nie połkniesz nawet mikrograma substancji zwierzęcej, do tego, by nigdy nie nosić skórzanych butów, dzianinowych wełnianych swetrów czy jedwabnych bluzek. Pierwsza odwołuje się do karykatury niektórych naszych odległych korzeni ewolucyjnych; druga oferuje najpewniejszą drogę do zachowania od dawna cierpiącej biosfery, ponieważ skromne rośliny, w przeciwnieństwie do niszczycielskich zwierząt udomowionych, wywierają tylko najlagodniejszą presję na środowisko.

[9](#)

Moje podejście do wyszukiwania najmniej ryzykownych diet (tych związanych z oczekiwaniami życiowymi powyżej 80 lat) zignoruje nie tylko wszystkie wątpliwe twierdzenia żywieniowe promowane przez media, ale także, co może bardziej zaskakujące, dziesiątki publikacji w czasopismach naukowych. W szczególności ci, którzy badali powiązania między dietami, chorobami i długowiecznością, śledząc grupy różnej wielkości i wieku przez krótsze lub dłuższe okresy czasu, opierając się w przeważającej mierze na wspomnieniach uczestników o całym jedzeniu, które zjadli w przeszłości. Pomijam też metastudia takich projektów. Samo wymienienie tych publikacji po 1950 r. — od badań choroby wieńcowej serca, tłuszczów nasyconych i cholesterolu, po ryzyko spożywania mięsa i picia mleka — zajęłoby małą książkę, a zajęty fragment tych dociekań został poświęcony ujawnieniu omyłność ludzkiej pamięci (co jadłeś w zeszłym tygodniu? Założę się, że nie pamiętasz, a przynajmniej niedokładnie), a także wyszczególnianie innych niedociągnięć metodologicznych lub analitycznych, tak że to pole jest pełne oskarżeń o błędne wnioski.
[10](#) Nic dziwnego, że dla większości ludzi pytanie, co powinniśmy jeść, jest trudne. Badania te i ich metabadania wielokrotnie nie przyniosły spójnych, jednoznacznych wyników, a nowe badania często podważają wcześniejsze odkrycia.

[11](#) Czy istnieje lepsze wyjście z tych trwających od pokoleń i wciąż rozwijających się zagadek żywieniowych? Rzeczywiście, jest to dość proste. Możemy przyjrzeć się, które populacje żyją najdłużej i jaka jest ich dieta.

Jedzenie jak w Kioto – lub jak w Barcelonie

Wśród ponad 200 narodów i terytoriów na świecie, Japonia miała najwyższą średnią długość życia od wczesnych lat 80., kiedy to razem (mężczyźni i kobiet) oczekiwana długość życia w chwili urodzenia przekroczyła 77 lat. następnie, a do 2020 r. Łączna długość życia w Japonii w chwili urodzenia wynosiła około 84,6 lat. Kobiety żyją dłużej we wszystkich społeczeństwach, a do 2020 r. ich średnia długość życia w Japonii wynosiła około 87,7 lat, wyprzedzając 86,2 lat na drugim miejscu w Hiszpanii. Średnia długość życia jest wypadkową złożonych i wzajemnie oddziałujących czynników genetycznych, stylu życia i odżywiania. Próba ustalenia, w jakim stopniu zależy od samej diety, jest niemożliwa, ale jeśli istnieją unikalne cechy diety narodu, wyraźnie zasługują na dokładniejsze zbadanie.

Czy jest coś naprawdę wyjątkowego w konsumpcji żywności w Japonii, co dałoby gotowe wyjaśnienie wkładu tej diety w rekordową długowieczność narodu? Wszystkie jej tradycyjne składniki spożywane w znacznych ilościach różnią się tylko nieznacznie od tych, które je się lub pije w obfitości w sąsiednich krajach azjatyckich. Chińczycy i Japończycy spożywają różne, ale równoważne pod względem odżywczym, odmiany tego samego podgatunku ryżu (*Oryza sativa japonica*).

Chińczycy tradycyjnie koagulują swój twaróg fasolowy (*dòufu*) siarczanem wapnia (*shígāo*), podczas gdy japoński twaróg fasolowy (*tōfu*) jest żelowany siarczanem magnezu (*nigari*), ale zmielone ziarno strączkowych jest identycznie bogate w białko. W przeciwieństwie do niesfermentowanej japońskiej zielonej herbaty (*ocha*), chińska zielona herbata (*lúchá*) jest częściowo fermentowana. Nie są to różnice w jakości odżywczej, a jedynie kwestie wyglądu, koloru i smaku.

Japońska dieta przeszła ogromną przemianę w ciągu ostatnich 150 lat. Tradycyjna dieta, spożywana przez większość narodu przed 1900 r., była niewystarczająca, aby wesprzeć potencjał wzrostu populacji i skutkowała niskim wzrostem zarówno kobiet, jak i mężczyzn; powolna poprawa sytuacji przed drugą wojną światową przyspieszyła po tym, jak kraj przezwyciężył problemy z żywnością [13](#) Spożycie mleka, pierwsze wprowadzone na szkolnych obiadach, aby zapobiec niedożywieniu zarządu, a biały ryż stał się obfity. Podaż owoców morza gwałtownie wzrosła, gdy kraj zbudował największą na świecie flotę rybacką (i wielorybniczą). Mięso stało się częścią powszechnych japońskich potraw, a wiele wypieków stało się ulubionymi w tej tradycyjnie niepiekarskiej kulturze. Wyższe dochody i hybrydyzacja smaków przyniosły wzrost średniego poziomu cholesterolu we krwi, ciśnienia krwi i masy ciała – a mimo to choroby serca nie gwałtownie wzrosły, a długość życia wzrosła.

[12](#) Dalsze zyski

Najnowsze opublikowane badania pokazują, że Japonia i USA są zaskakująco blisko całkowitej energii spożywanej dziennie przez żywność. W latach 2015–2016 mężczyźni w USA spożywali tylko o 11 proc. więcej, a kobiety w USA nawet o 4 proc. więcej energii żywieniowej dziennie niż ich japońskie odpowiednici w 2017 r. Oba kraje umiarkowanie różniły się pod względem całkowitej ilości węglowodanów (Japonia wyprzedziła o mniej niż 10 proc.).) i białka (z Amerykanami do przodu o mniej niż 14 procent), a oba kraje były znacznie powyżej wymaganych minimów białka. Ale istnieje duża luka pod względem średniego spożycia tłuszcza, przy czym Amerykanie spożywają około 45 procent więcej, a kobiety 30 procent więcej niż Japończycy. A największe różnice dotyczą spożycia cukru: wśród dorosłych w USA jest ono o około 70 procent wyższe. Po przeliczeniu na podstawie średnich rocznych różnic, Amerykanie spożywali ostatnio około 8 kilogramów więcej tłuszcza i 16 kilogramów więcej cukru rocznie niż przeciętny dorosły w Japonii.

15

Powszechna dostępność składników i łatwy dostęp do instrukcji gotowania i przepisów w Internecie oznacza, że Ty również możesz zminimalizować ryzyko przedwczesnej śmierci i zacząć jeść à la japonaise – czy to tradycyjna kuchnia tego kraju, wasoku, czy też adaptacje zagranicznych posiłki (Wienerschnitzel pojawiający się jako pokrojone tonkatsu; curry i ryż przekształcone w lepkie kare raisu).

16 Ale zanim zaczniesz jeść śniadanie na zupę miso (miso shiru), obiad na zwykłym zimnym onigiri (kulki ryżowe zawinięte w nori, suszone wodorosty) i sukiyaki (gulasz mięsno-warzywny) może być druga opinia: co by było najlepszy europejski model diety i długowieczności?

Hiszpani zajmują drugie miejsce w rekordowym życiu świata oczekiwania, a kraj tradycyjnie stosował tak zwaną dietę śródziemnomorską, z dużym spożyciem warzyw, owoców i produktów pełnoziarnistych uzupełnionych fasolą, orzechami, nasionami i oliwą z oliwek. Ale wraz ze wzrostem średnich dochodów w Hiszpanii szybko zmienili te nawyki w zaskakującą wysokim stopniu. jeść bardzo oszczędnie. W typu ¹⁷ Domyślnie dla końca lat 60. XX wieku, średnia masa ciała dla mężczyzn i kobiet do ok. 250 kg na osobę) oraz warzywa; podaż mięsa (masa tuszy) utrzymywała się poniżej 20 kilogramów na mieszkańca, a faktyczne spożycie nie przekraczało 12 kilogramów (z czego jedna trzecia to mięso baranie i kozie); najważniejszym olejem roślinnym był aceite de oliva (około 10 litrów rocznie); i tylko spożycie cukru (około 16 kilogramów w 1960 r.) było wysokie w porównaniu z innymi artykułami spożywczymi.

Zmiany żywieniowe przyspieszyły po przystąpieniu Hiszpanii do UE w 1986 r w 2000 roku stał się wiodącym mięsożernym narodem Europy (po ponad pięciokrotnym zwiększeniu średniej podaży na mieszkańca do nieco ponad 110 kilogramów rocznie). Późniejszy niewielki spadek obniżył wskaźnik (masę tuszy) do około 100 kilogramów na mieszkańca w 2020 r., ale to wciąż dwa razy więcej niż średnia japońska! A biorąc pod uwagę produkty mleczne i sery dodawane do świeżego mięsa oraz ogromną ilość i różnorodność jamones (szynki peklowane przez solenie i długotrwałe suszenie), trudno się dziwić, że hiszpańska podaż tłuszcza zwierzęcego jest czterokrotnie większa niż japońska.

[18](#) Hiszpanie spożywają obecnie prawie dwa razy więcej olejów roślinnych niż Japończycy, ale ich spożycie oliwy z oliwek jest o około 25 procent niższe niż w 1960 roku.

Wyższe dochody tylko zwiększyły tradycyjne upodobanie do słodkich wytworów, a przyjęcie napojów pop zrobiło resztę: od 1960 roku spożycie cukru na mieszkańca podwoiło się i obecnie jest o około 40 procent wyższe niż poziom japoński. W tym samym czasie, hiszpańskie spożycie wina nieustannie spada, z około 45 litrów na mieszkańca w 1960 roku do zaledwie 11 litrów do 2020 roku, a piwo stało się zdecydowanie najczęściej spożywanym napojem alkoholowym w kraju.

Sposób, w jaki teraz żywi się Hiszpania, znacznie różni się od sposobu, w jaki żywi się Japonia – i, z całą pewnością (będąc największym mięsożercą na kontynencie), ta dieta prawie nie przypomina oszczędnej, prawie wegetariańskiej i wydłużającej życie legendarnej diety śródziemnomorskiej.

Ale pomimo bardziej mięsistej, tłuste i słodkiej diety (a także szybkiego porzucenia picia rzekomo chroniących serce win), śmiertelność z powodu chorób sercowo-naczyniowych w Hiszpanii stale spada, a średnia długość życia rośnie. Od 1960 r. śmiertelność z powodu CVD w Hiszpanii spada w szybszym tempie niż średnia w krajach zamożnych, a do 2011 r. była o około jedną trzecią niższa niż ich średnia; a od 1960 r. Hiszpania dodała ponad 13 lat do swojej połączonej perspektywy długowieczności (mężczyzn i kobiet), podnosząc ją z 70 do więcej [19](#) To tylko jeden rok mniej niż w Japonii: to ponad 83 być spędzone w fizycznym ~~lubapty 2020 myzepakony, toki zyciejsz zdużelsz o mase, zezszyć połowę spozywanego mięsa tofu?~~

Pomyśl, czego może Ci brakować: te cienkie jak papier plasterki jamón ibérico; ta dobrze pieczona świnia (nawet jeśli nie jest tak sława jak w Sobrino de Botín, w odległości krótkiego spaceru na południe od Plaza Mayor, gdzie przygotowywano ją od prawie 300 lat); to dobrze ugotowane polpo gallego, ośmiornica duszona z ziemniakami, oliwą i papryką. To są naprawdę egzystencjalne decyzje do podjęcia

— ale wniosek jest dość jasny. Gdybyśmy postawili długowieczność (w towarzystwie zdrowego i aktywnego życia) wyłącznie na dominującą dietę — która, jakkolwiek ważna, jest tylko jednym z elementów większego obrazu, który obejmuje odziedziczone geny i otaczające środowisko — wtedy japońskie jedzenie ma niewielką przewagę, ale tylko nieznacznie gorszy wynik można uzyskać, jedząc tak jak w Walencji.

Jest to bardzo istotna, ale stosunkowo prosta ocena ryzyka: jeden wybór, oparty na przekonujących danych, może wystarczyć na nadchodzące dziesięciolecia. Inne oceny ryzyka są niezmiennie trudniejsze, a metryki mogą nie być tak proste, jak przeżyte lata. Ryzyko związane z określonymi czynnościami zmienia się z czasem (jazda samochodem w USA jest obecnie ogólnie znacznie bezpieczniejsza niż pół wieku temu, ale po 50 latach jazdy Twoje umiejętności mogły się pogorszyć i stwarzasz większe ryzyko dla siebie i innych, gdy zostajesz z tyłu koła). A jeśli chcesz wiedzieć, czy latanie międzynarodowe (które możesz robić rzadko) jest bardziej ryzykowne niż narciarstwo zjazdowe (co może być uprawiane przez wiele lat), musisz mieć dość dokładną miarę porównawczą. I jak porównać ryzyko doświadczane w różnych krajach — na przykład jazda w USA, uderzenie pioruna podczas wędrówki w Alpach i śmierć w wyniku trzęsienia ziemi w Japonii? Jak się okazuje, możemy dokonać niezwykle dokładnej, porównawczej oceny wszystkich tych zagrożeń.

Postrzeganie ryzyka i tolerancje

W swojej pionierskiej analizie ryzyka z 1969 r. Chauncey Starr — ówczesny dziekan School of Engineering and Applied Science na Uniwersytecie Kalifornijskim w Los Angeles — podkreślił główną różnicę w tolerancji ryzyka [20](#) Kiedy ludzie a niedobrowolnymi zajęcia. mają kontrolę (postrzeganie ryzyka mniej więcej tak samo jak dla dobrowolnymi ale opiera się na wcześniejszych doświadczeniach, a zatem na przekonaniu, że mogą ocenić prawdopodobny wynik), angażują się w czynności — wspinanie się po pionowych ścianach skalnych bez lin, skoki spadochronowe, walki byków — których ryzyko jest poważne obrażenia lub śmierć mogą być tysiąckrotnie wyższe niż ryzyko związane z tak przerzążającą mimowolną ekspozycją, jak atak terrorystyczny w dużym zachodnim mieście. Większość ludzi nie ma problemu z codziennym i wielokrotnym angażowaniem się w czynności, które tymczasowo zwiększą ich ryzyko o znaczny margines: setki milionów ludzi jeździ każdego dnia (a wielu najwyraźniej to lubi), a nawet

wyższe ryzyko jest tolerowane przez jeszcze większą liczbę krajów palących, [21](#) - do dopływu dekady edukacji zmniejszyły ich szeregi, ale na całym świecie wciąż jest ich ponad 1 miliard.

W niektórych przypadkach ta rozbieżność między tolerowaniem dobrowolnego ryzyka a próbą unikanie błędnie postrzeganego ryzyka mimowolnego narażenia staje się naprawdę dziwaczne, ponieważ ludzie odmawiają zaszczepienia swoich dzieci (dobrowolnie narażając je na liczne ryzyko chorób, którym można zapobiec), ponieważ uważają, że wymagania rządowe dotyczące ochrony ich dzieci (przymusowe nałożenie) są niedopuszczalnie ryzykowne – i robili to na podstawie wielokrotnie zdyskredytowanych „dowodów” (w szczególności łączących szczepienia z częstszym występowaniem autyzmu) lub pogłosek o zagrożeniach (wszczepianie mikroczipów!).

[22](#) A pandemia SARS-CoV-2 podniosła te irracjonalne obawy na nowy poziom. Największą nadzieję ludzkości na zakończenie pandemii były masowe szczepienia, ale na długo przed zatwierdzeniem pierwszych szczepionek do dystrybucji, duża część populacji mówiła ankieterom, że nie zostaną zaszczepione. [23](#) Powszechna obawa przed energetyką jądrową to kolejna znakomita —

przykład błędnego postrzegania ryzyka. Wiele osób pali, jeździ i je nadmiernie, ale ma zastrzeżenia co do mieszkania obok elektrowni jądrowej, a sondaże wykazały trwałą i wszechobecną nieufność do tej formy wytwarzania energii elektrycznej, mimo że zapobiegła dużej liczbie zgonów związanych z zanieczyszczeniem powietrza wiązałoby się to ze spalaniem paliw kopalnych (do 2020 r. prawie trzy piąte światowej energii elektrycznej pochodziło z paliw kopalnych, a tylko 10 procent z rozszczepienia jądrowego). Porównanie ogólnych zagrożeń związanych z wytwarzaniem energii elektrycznej z elektrowni jądrowych i paliw kopalnych nie odwraca się, nawet jeśli najlepsze szacunki wszystkich utajonych ofiar śmiertelnych z dwóch głównych

Uwzględniono wypadki (Czarnobyl w 1985 r. i Fukushima w 2011 r.).

[24](#)

Być może najbardziej oszałamiający kontrast w postrzeganiu ryzyka związanego z bronią jądrową można zaobserwować, porównując Francję i Niemcy. Francja pozyskuje ponad 70 procent energii elektrycznej z rozszczepienia jądrowego od lat 80. XX wieku, a prawie 60 reaktorów rozsianych jest po krajobrazie kraju, chłodzonych wodą z wielu francuskich rzek, w tym Sekwany, Renu, Garonny i Loary. długowieczność ludności francuskiej (drugiej po Hiszpanii w UE) jest najlepszym świadectwem tego, że te elektrownie jądrowe nie były dostrzegalnym źródłem złego stanu zdrowia lub przedwczesnych zgonów – ale za Renem to nie tylko niemieccy Zieloni którzy wierzą, że energia jądrowa jest piekielną [25](#) Jeszcze

wynalazek, który musi zostać wyeliminowany tak szybko, jak to możliwe, ale także znacznie większe części społeczeństwa.²⁶

Dlatego wielu badaczy twierdziło, że nie ma „obiektywnego ryzyka” czekają na zmierzenie, ponieważ nasze postrzeganie ryzyka jest z natury subiektywne, zależne od naszego zrozumienia określonych zagrożeń (zagrożenia znane lub nowe) oraz okoliczności kulturowych. wykazali, że określone zagrożenia mają swoje charakterystyczne psychologiczne cechy: mimowolne ryzyko jest często związane z lękiem przed nowymi, niekontrolowanymi i nieznanymi zagrożeniami; jest bardziej prawdopodobne, że zagrożenia dobrowolne będą postrzegane jako możliwe do kontrolowania i znane nauce. Wytwarzanie energii jądrowej jest powszechnie postrzegane jako niebezpieczne, promieniowanie rentgenowskie jako dość ryzykowne.

Uczucia strachu odgrywają ogromną rolę w postrzeganiu ryzyka. Ataki terrorystyczne są prawdopodobnie najlepszym przykładem tej zróżnicowanej tolerancji, ponieważ strach bierze górę i wypiera racjonalną ocenę, którą można łatwo przeprowadzić na podstawie niepodważalnych dowodów. Ze względu na ich nieprzewidywalny czas, lokalizację i skalę ataki terrorystyczne zajmują wysokie miejsce na psychometrycznej skali przerażenia, a obawy te zostały intensywnie wykorzystane przez znacznie przesadzone pseudoanalizy oferowane przez gadające głowy w całodobowych kanałach informacyjnych: w ciągu ostatnich dwóch dekad spekulowali na temat wszystkiego, od bomb atomowych wielkości walizki zdetonowanych w środkowym Manhattanie po zatrudnianie zbiorników wykorzystywanych do dostarczania wody pitnej do dużych miast i rozpylanie śmiertelnie zmodyfikowanych wirusów.

W porównaniu z takimi przerażającymi atakami, prowadzenie pojazdu jest w dużej mierze dobrowolne, bardzo nawracające i bardzo znane zagrożenia oraz przypadkowe zgony dotyczą w przeważającej mierze (ponad 90 procent przypadków) tylko jednej osoby na śmiertelną kolizję. W rezultacie społeczeństwa tolerują globalne żniwo przekraczające 1,2 miliona zgonów rocznie, na co nigdy by się nie zgodziły, gdyby przybrało formę powtarzających się wypadków w zakładach przemysłowych lub zawalonej konstrukcji (mostów, budynków) w dużych miastach lub w ich pobliżu, nawet gdyby łączna roczna liczba ofiar śmiertelnych takich katastrof była o rząd wielkości mniejsza – „tylko” wśród setek tysięcy ofiar śmiertelnych. ²⁸

Duże różnice w indywidualnej tolerancji na ryzyko najlepiej ilustruje fakt, że wiele osób angażuje się – dobrowolnie i wielokrotnie – w działania, które inni mogą uznać nie tylko za zbyt ryzykowne, ale za bardzo wyraźnie należące do kategorii pragnienia śmierci. Skakanie po podłożu (obiekt nieruchomy) jest doskonałym przykładem takiej czynności, ponieważ najmniejsze opóźnienie w otwarciu spadochronu może kosztować życie – swobodnie spadające ciało osiąga śmiertelną prędkość w ciągu zaledwie kilku minut.

sekundy. ²⁹ Do tego dochodzi tolerancja ryzyka uzasadniona fatalistycznymi przekonaniami: choroby czy wypadki są z góry predestynowane i nieuniknione, a zatem nie ma sensu próbować poprawiać zdrowia lub zapobiegać nieszczęściom poprzez odpowiednie osobiste działanie. ³⁰

Osoby fatalistyczne również nie doceniają zagrożeń, aby uniknąć wysiłku potrzebnego do ich analizy i wyciągania praktycznych wniosków, a także dlatego, że czują się całkowicie niezdolni do radzenia sobie z nimi. ³¹ Fatalizm drogowy został szczególnie dobrze zbadany. Fataliści nie doceniają niebezpiecznych sytuacji na drodze, rzadziej praktykują defensywną jazdę (brak rozpraszania uwagi, utrzymywanie bezpiecznej odległości do tyłu, nie przekraczanie prędkości) i rzadziej przypinają swoje dzieci pasami bezpieczeństwa lub zgłaszają udział w wypadkach drogowych. Co niepokojące, badania w niektórych krajach wykazały, że fatalizm na drodze jest powszechny wśród kierowców taksówek i powszechny wśród kierowców minibusów. ³²

Niewiele możemy zrobić, aby przekształcić skoczków bazowych w wzorce zachowań awersyjnych do ryzyka lub przekonać wielu taksówkarzy, że ich wypadki nie są z góry określone. Możemy jednak wykorzystać najlepszą dostępną wiedzę na temat zagrożeń, zarówno tych występujących w życiu codziennym, jak i tych niezwykle rzadkich, ale potencjalnie śmiertelnych, aby określić ilościowo ich konsekwencje, a tym samym porównać ich skutki. Nie jest to łatwe zadanie, ponieważ mamy do czynienia z tak różnorodnymi zdarzeniami i procesami. Co więcej, nie ma idealnej miary, aby to zrobić, i nie może być uniwersalnej miary do porównywania wszechobecnego ryzyka, z jakim codziennie borykają się miliardy osób, z niezwykle rzadkimi zdarzeniami, które mogą mieć miejsce tylko raz na sto, tysiąc, a nawet dziesięć tysiąca lat, ale z katastrofalnymi konsekwencjami globalnymi. W każdym razie to właśnie postaram się zrobić.

Ilościowe określenie zagrożeń życia codziennego

Dla osób starszych niebezpieczeństwo zaczyna się jeszcze przed przebudzeniem: zawały serca (ostre zawały serca) są częstsze i poważniejsze w ciemności. ³³ Kiedy wstają, jeden z zrania się to upadkiem. W Stanach Zjednoczonych poważne zawały serca mają do końca życia dalsze przypadkowych upadków, pozostawiających siniaki lub złamania kości – i ponad 36 000 zgonów, nieproporcjonalnie wśród osób powyżej 70 roku życia i często zdarzających się nie podczas wchodzenia lub schodzenia po schodach, ale po prostu po przegranej. Kiedy już odzyskasz równowagę lub potkniesz się o krawędź dywanu.

w kuchni istnieje ryzyko związane z żywnością, od salmonelli w niewłaściwie ugotowanych jajach po pozostałości pestycydów w herbacie (jest to małe, ale dla osób pijących herbata nieorganiczna, codzienna ekspozycja). [35](#)

Poranna jazda może odbywać się po oblodzonej drodze lub zamroczony kierowca może przejechać na czerwonym świetle. Ściany Twojego biura mogą nadal ukrywać starą izolację azbestową, a wadliwa klimatyzacja może rozprzestrzeniać bakterie Legionella. Twoi współpracownicy mogą zarazić Cię grypą sezonową lub (jak miało to miejsce w latach 2020-2021, 2009, 1968 i 1957) nowym wirusem pandemicznym. Możesz mieć ciężką reakcję alergiczną na orzech przypadkowo dodany do czekolady bez orzechów. Jeśli jest sezon tornad w Teksasie lub Oklahomie, możesz wrócić z pracy, aby zobaczyć, jak twój dom zamienił się w kupę gruzu, a jeśli mieszkasz w Baltimore, nie możesz pozostać obojętnym na wskaźnik zabójstw w tym mieście, który jest o rząd [36](#) wyższy niż w Los Angeles, mieście słynącym z gangów. Ponieważ prawie żadne generyczne nie są produkowane w kraju (pochodzą głównie z Chin i Indii), Twoja apteka może nie zrealizować recepty, ponieważ skażona partia została wycofana z dystrybucji. [37](#) A szczegółowe dane na temat umieralności w zależności od wieku i płci pokazują, jak przyczyny (a co za tym idzie obawy) śmiertelnego zachorowania zmieniają się wraz z wiekiem. Najnowsze statystyki pokazują,

że wśród mężczyzn w Anglii i Walii choroba serca dominuje od wczesnych lat 50. do późnych lat 70., a dla kobiet rak piersi staje się najbardziej przerażającą chorobą w wieku około 30 lat i pozostaje nim do połowy lat 60.; później rak płuc jest najczęstszą przyczyną zgonów wśród kobiet, a demencja i choroba Alzheimera wyparły ostatnio chorobę niedokrwenną serca jako główną przyczynę zgonów obu płci w wieku powyżej 80 lat.

[38](#)

Kwantyfikowanie wspólnych ryzyk wydaje się zniechęcającym przedsięwzięciem. Jak porównać ryzyko zgonu z powodu niezwykle ostrej epidemii grypy sezonowej z ryzykiem odniesienia śmiertelnych obrażeń w wyniku okazjonalnego weekendowego pływania kajakiem lub skuterem śnieżnym; czy ryzyko częstych lotów transpacyficznych do ryzyka nawykowego jedzenia kalifornijskiej sałaty, która może być wielokrotnie zakażona Escherichia coli? A jak wyrażamy śmiertelne ryzyko? Na standardową liczbę osób (1000; 1 milion) w populacji dotkniętej chorobą? Na jednostkę niebezpiecznej substancji, na jednostkę czasu narażenia czy na jednostkę stężenia w otoczeniu?

Jednolita metryka zdolna do uwzględnienia ofiar śmiertelnych i obrażeń lub strat ekonomicznych (którego sumy mogą różnić się o rzędy wielkości w różnych społeczeństwach) i przewlekłego bólu (coś, co jest notorycznie niewymierne) jest

wyraźnie niemożliwym celem. Ale ostateczność umierania dostarcza uniwersalnego, ostatecznego i bezsprzecznie policzalnego licznika, który można wykorzystać do porównawczej oceny ryzyka.

Najprostszym i najbardziej oczywistym sposobem dokonania pewnych odkrywczych porównań jest użycie standardowego mianownika i porównanie rocznej częstotliwości przyczyn zgonów na 100 000 osób. Korzystając ze statystyk amerykańskich (ostatnie opublikowane szczegółowe zestawienie dotyczy 2017 r.), prowadzi to do zaskakujących wyników.

39

Zabójstwa pochłaniają prawie tyle samo istnień, co białaczka (6 vs 7,2), co jest podwójnym świadectwem postępów w leczeniu tej choroby i niezwykłej przemocy amerykańskiego społeczeństwa. Przypadkowe upadki zabijają prawie tyle samo ludzi, co przerzążający rak trzustki z krótkim czasem przeżycia po zdiagnozowaniu (11,2 vs.

13,5). Wypadki samochodowe pochłaniają dwa razy więcej istnień ludzkich (i co więcej, znacznie młodszych) niż cukrzyca (52,2 vs. 25,7), a przypadkowe zatrucia i szkodliwe substancje powodują większą liczbę zgonów niż rak piersi (19,9 vs. 13,1). Ale te porównania używają tego samego mianownika (100 000 osób) bez uwzględnienia czasu ekspozycji na daną przyczynę śmierci. Zabójstwa mogą mieć miejsce i zdarzają się w miejscach publicznych i prywatnych, o każdej porze dnia i nocy, a zatem narażenie na to ryzyko wynosi 24 godziny na dobę, 365 dni w roku — ale wypadki samochodowe (w tym te, w których giną piesi) może się zdarzyć tylko wtedy, gdy ktoś prowadzi samochód, a większość Amerykanów spędza za kierownicą tylko około godziny dziennie.

Bardziej wnikliwą miarą jest zatem wykorzystanie czasu, w którym ludzie są dotknięci danym ryzykiem jako wspólnego mianownika, i dokonanie porównań pod względem liczby ofiar śmiertelnych na osobę na godzinę narażenia — to znaczy czasu, w którym dana osoba jest narażona, mimowolnie lub dobrowolnie, na określone ryzyko. Podejście to zostało wprowadzone w 1969 roku przez Chaunceya'a Starra w jego ocenie korzyści społecznych i ryzyka technologicznego i nadal uważam je za lepsze niż inne ⁴⁰ Jednostki te definiują ogólną metrykę mikro—mikromortystykę. prawdopodobieństwo, jedna wyrażają ją na rok, na dzień, na operację, na lot lub milion szansy zgonu na konkretne eksponenciów. Nie ułatwiają w porównania płyt.

Ogólne wskaźniki śmiertelności (na 1000 osób) są dobrze monitorowane na całym świecie, zarówno dla ogółu populacji i dla każdej płci według określonej grupy wiekowej. śmiertelność ⁴¹ Ogólny zależy w dużej mierze od średniego wieku populacji. W 2019 r. średnia światowa wyniosła 7,6/1000, podczas gdy śmiertelność w Kenii (pomimo niższego standardu żywienia i opieki zdrowotnej) była mniejsza niż połowa wskaźnika w Niemczech (5,4 vs. 11,3)

ponieważ mediana wieku Kenii wynosząca zaledwie 20 lat to mniej niż połowa z 47 lat w Niemczech. Dane dotyczące zgonów z powodu określonych chorób są również powszechnie dostępne — choroby sercowo-naczyniowe stanowią jedną czwartą wszystkich przypadków w USA (2,5/1 000), a nowotwory — jedną piątą (2/1 000) — podobnie jak informacje o zgonach z powodu urazów (od około 1,4 dla upadków i 1,1 dla wypadków transportowych, do 0,7 dla spotkań ze zwierzętami i zaledwie 0,03 dla przypadkowych zatruc) oraz klęsk żywiołowych. [42](#)

42

Cały rok (8766 godzin po korekcie o lata przestępne) jest mianownikiem ogólnej śmiertelności, chorób przewlekłych i klęsk żywiołowych, takich jak trzęsienia ziemi lub erupcje wulkanów, które mogą uderzyć w dowolnym momencie. Aby jednak obliczyć ryzyko dla tak powszechnych czynności, jak prowadzenie pojazdu lub latanie, musimy najpierw ustalić sumy poszczególnych populacji zaangażowanych w te czynności, a następnie oszacować średnią liczbę godzin rocznego narażenia. Ta sama sekwencja odnosi się do ilościowego określenia ryzyka śmierci podczas huraganu lub tornada: te cyklony nie są dostępne każdego dnia w roku i nie wpływają na całe duże kraje.

Obliczenie wartości wyjściowej, średniego dla całej populacji lub specyficznego dla płci i wieku ryzyka całkowitej śmiertelności, jest łatwe. W 2019 r. ogólna śmiertelność (wskaźnik zgonów surowych) w krajach zamożnych (rozwiniętych) wynosiła około 10/1000, przy czym rzeczywiste wskaźniki wały się od 8,7 w Ameryce Północnej do 10,7 w Japonii i 11,1 w Europie. Ta roczna śmiertelność wynosząca 10/1000 (przy 1000 osób narażonych na śmierć przez 8766×1000 godzin) jest proporcjonalna do 0,000001 lub 1×10^{-6} na godzinę ekspozycji. Choroby sercowo-naczyniowe są główną przyczyną śmiertelności we wszystkich zamożnych krajach i stanowią prawie jedną czwartą tej sumy (3×10^{-7}). Grypa sezonowa niesie ze sobą ryzyko o rząd wielkości niższe od -8 do zabójstwa wynosiło ostatnio zaledwie około 10^{-8} na godzinę ekspozycji, czyli zaledwie 1 z 100 000 osób narażonych na śmierć. Jak już wspomniano, częstość tego ostatniego przypisywanego upadkom ($1,4 \times 10^{-9}$) jest bardzo niekorzystna, przy czym osoby w wieku 45 lat mają ryzyko 3×10^{-8} dla osób w wieku 25–34 lat. do zaledwie 9×10^{-9} wniosek dotyczący śmiertelności ogólnej, w krajach zamożnych

-7 w porównaniu

Łączne ryzyko zgonu naturalnego wynosi 1 osoba na 1 milion umierających co godzinę; co godzinę 1 osoba na około 3 miliony umiera na chorobę serca i 1 na około 70 milionów umiera w wyniku przypadkowego upadku. Takie szanse są wystarczająco niskie, aby nie zajmować przeciętnego obywatela żadnego zamożnego kraju.

Liczby zależne od płci i wieku są nieuchronnie różne. Podczas gdy ogólna śmiertelność w Kanadzie dla obu płci wynosi 7,7/1000, dla młodych (20-24 lat) mężczyzn jest to tylko 0,8/1 000, ale dla mężczyzn w moim wieku (75-79 lat) wynosi 35/1 000, a ryzyko w mojej grupie wynosi następnie 4×10 -krotność wskaźnika śmiertelności dla mężczyzn w całym wieku życia, cztery

[44](#)

Zanim przejdę do kwantyfikacji ryzyka działań wolontariackich, powinienem wyjaśnić niebezpieczeństwa związane z pobytami w szpitalu. Są one nieuniknione ze względu na wiele schorzeń (a w wielu krajach coraz częściej także w przypadku planowych operacji kosmetycznych), a duża liczba pacjentów zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia błędów medycznych. W 1999 roku pierwsze badanie nad możliwymi do uniknięcia błędami medycznymi wykazało, że od 44 000 do 98 000 z nich to [45](#). To nieprzyjemnie wysoka suma – i to co roku w go do 251.454 przypadków w 2019 roku. Stanacki [Z jednodniowy](#) W 2016 roku 400 000 zgonów, co niosło czyni go trzecią co do wielkości przyczyną śmiertelności w USA w tym roku, za chorobami serca (611 000) i nowotworami (585 000) i przed [46](#) Wyniki te są szeroko opisywane w przewlekłej chorobie układu oddechowego (149 000). Środki masowego przekazu sugerowały, że co roku było spowodowanych błędem medycznym. [35-58%](#) wszystkich zgonów szpitalnych w kraju

Ujmując to w ten sposób, nieprawdopodobnośc tych twierdzeń staje się łatwo oczywista: z pewnością zdarzają się nieostrożne błędy, zdarzają się godne ubolewania pominięcia, ale mogą się one sumować w dowolnym miejscu od nieco ponad jednej trzeciej do prawie trzech piątych wszystkich zgonów w szpitalu. Współczesna medycyna jako niezwykle nieudolne, jeśli nie wręcz zbrodnicze przedsięwzięcie. Na szczęście ta wysoka śmiertelność nie wynikała z niedbalstwa, ale z przetwarzania danych. Najnowsze badanie błędów. [47](#) śmiertelności związanej z niepożdanymi skutkami leczenia (AEMT) wyjaśnia sytuację: w latach 1990-2016 wykryto 123 063 takie zgony (głównie z powodu zabiegów chirurgicznych i błędów okooperacyjnych), spadek o 21,4 procent do 1,15 zgonów z powodu pogotowia ratunkowego na 100 000 osób.

[48](#)

Mężczyźni i kobiety mieli podobne wskaźniki, ale stany różniły się znacznie, przy czym Kalifornia wynosiła zaledwie 0,84 zgonów z powodu pogotowia ratunkowego na 100 000. W wartościach bezwzględnych oznacza to średnio około 4750 zgonów rocznie, mniej niż 2 wskaźnik ryzyka, te szacunki opublikowane w 2016 roku. [49](#) Rozkład na gatunek i wiek, który czyta tę książkę (któregospółtka, rzykowny jest rok urodzenia, co co 10 každy starszy mężczyzna,

10 ponad określonego -6) zwiększy ryzyko zgonu z powodu AEMT o żaden proc. w ciągu kilku dni przeciętnego pobytu w

Amerykański szpital – a to, jak sądzę, jest bardzo zachęcającym stwierdzeniem ryzyka!

Ryzyko dobrowolne i mimowolne

Jak bardzo zwiększymy ryzyko bazowe lub ryzyko związane z takimi nieuniknionymi zdarzeniami, jak operacje ratunkowe lub krótkie pobyt w szpitalu wymagane do oceny medycznej, poprzez dobrowolne narażenie poprzez udział w szerokiej gamie mniej lub bardziej ryzykownych przedsięwzięć? A jak bardzo powinniśmy się martwić o nieuniknione, mimowolne ryzyko wynikające z zagrożeń naturalnych, od trzęsień ziemi po powodzie?

Jak już wspomniano, są to przydatne kategorie do oceny ryzyka, ale rozróżnienie między ekspozycjami dobrowolnymi i niedobrowolnymi nie zawsze jest oczywiste. Istnieją wyraźnie dobrowolne (i dość ryzykowne) czynności, takie jak palenie tytoniu lub uprawianie sportów ekstremalnych; i oczywiście nieuniknione, mimowolne ryzyko, zarówno na poziomie indywidualnym (w tym niezwykle niskie niebezpieczeństwo uderzenia meteorytem), jak i zbiorowe, w rzeczywistości ogólnoplanetarne, (najważniejszym przykładem jest zderzenie Ziemi z asteroidą).

Ale wielu ryzykownych ekspozycji nie da się tak łatwo przypisać, ponieważ nie ma... wyraźna dychotomia między dobrowolnym i niedobrowolnym ryzykiem: dojazd do pracy może być kwestią wyboru dla rodziny, która zbudowała wymarzony dom na przedmieściach, ale jest to kwestia nieuniknionej konieczności dla milionów ludzi w Ameryce Północnej z jej notorycznie słabymi systemami transportu zbiorowego. A jeśli młody człowiek chce zostać w Nowej Fundlandii, nie ma zbyt wielu możliwości wyboru poza zostaniem rybakiem lub pracownikiem na ogromnej platformie produkującej ropę, które są o wiele bardziej ryzykownymi zawodami niż przeprowadzka do Toronto, nauka kodowania i pisanie aplikacje w przeszklonym biurze z dala od skały wystającej na Północny Atlantyk.

Mając na uwadze te komplikacje, najpierw wyjaśnię ryzyko związane z prowadzeniem pojazdu i lataniem, czynnościami, które na całym świecie angażują setki milionów kierowców i pasażerów pojazdów, a ostatnio ponad 10 milionów płatnych ulotek każdego dnia. W przypadku obu działań musimy zacząć od dokładnego policzenia liczby zgonów, a następnie wdrożenia niezbędnych założeń w celu zdefiniowania dotkniętych populacji i ich łącznego czasu narażenia na dane ryzyko.

Do jazdy jest to oczywiście czas spędzony za kierownicą (lub jako pasażer).

W Stanach Zjednoczonych mamy sumy odległości pokonywanych każdego roku przez wszystkie pojazdy silnikowe i samochody osobowe (ostatnia całkowita suma wyniosła około 5,2 biliona kilometrów rocznie), a po wielu latach liczba ofiar śmiertelnych wypadków drogowych nieznacznie wzrosła do około 40 000 na rok.⁵⁰ Aby oszacować czas spędzony na jeździe, musimy podzielić przejechany dystans przez średnią prędkość – i oczywiście ta liczba może być tylko dającym się obronić przybliżeniem, a nie dokładną wartością. Prędkości międzymiastowe wykazują mniejszą zmienność, ale prędkości w miastach mają tendencję do spadku nawet o 40 procent w powtarzających się godzinach szczytu. Zakładając średnią łączną prędkość 65 km/h (około 40 mil na godzinę) daje nam rocznie około 80 miliardów godzin jazdy w USA, a przy 40 000 ofiar śmiertelnych przekłada się to dokładnie na 5×10^{-7} . Ani to, że ofiary śmiertelne (0,000005 drogowsymień dziennie) są znacznie rzadsze niż w przypadkach i przypadkowych osób przez pojazdy ani wprowadzenie innych prawdopodobnych średnich prędkości (powiedzmy 50 lub 70 km/h) nie zmieniłby rzędu wielkości. **Jazda samochodem jest o rząd wielkości bardziej niebezpieczna niż latanie, a w czasie jazdy średnia szansa na śmierć wzrasta o około 50 procent w porównaniu z pozostawaniem w domu lub pielęgnowaniem ogrodu (o ile nie obejmuje to wspinania się na wysokie drabinę lub praca z dużą piłą łańcuchową).**

A dla mężczyzn w mojej grupie wiekowej ryzyko związane z prowadzeniem pojazdu jest tylko o 12 procent wyższe niż ogólne ryzyko śmierci. Zagrożenia związane z prowadzeniem pojazdów w Stanach Zjednoczonych również wykazują znaczne różnice ze względu na płeć i grupy ludności. **Ryzyko śmierci w wypadku samochodowym w ciągu całego życia wynosi tylko 0,34 procent dla kobiet pochodzenia azjatyckiego (1 z 291), ale 1,75% (1 na 57) dla mężczyzn Amerykanów,** 51 Oczywiście, podczas gdy ryzyko dla wszystkich osób wynosi 0,34 procent (1 z 109). w innych krajach, w których ludzie jeżdżą znacznie rzadziej niż Amerykanie i Kanadyjczycy, ale gdzie wskaźniki wypadków są znacznie wyższe (w Brazylii są około dwa razy częstsze, trzy razy częściej w Afryce Subsaharyjskiej), ryzyko jest o rząd wielkości większy.

[52](#)

Regularne loty komercyjne, które już pod koniec ubiegłego wieku były działalnością bardzo niskiego ryzyka, stały się znacznie bezpieczniejsze w ciągu pierwszych dwóch dekad XXI wieku. Wniosek ten pozostaje w mocy pomimo pewnych niepokojących strat, w tym wciąż nierozwiązanego (i prawdopodobnie nigdy nie wyjaśnionego) zniknięcia lotu 370 linii Malaysia Airlines gdzieś nad Oceanem Indyjskim w marcu 2014 roku, a następnie zestrzelenia lotu 17 linii Malaysia Airlines nad wschodnią Ukrainą w marcu 2014 roku. Lipiec 2014 i dwie awarie nowego Boeinga 737 MAX—

Lion Air Flight 610 na Morzu Jawajskim (29 października 2018 r.) i Ethiopian Airlines Flight 302 w
pobliżu Addis Abeby (10 marca 2019 r.).
[53](#)

Być może najbardziej odkrywczym sposobem porównania ofiar śmiertelnych w branży lotniczej jest przejechanie 100 miliardów pasażerokilometrów. Wskaźnik ten wyniósł 14,3 w 2010 roku, osiągnął rekordowo niski poziom 0,65 w 2017 roku, ale wzrósł do 2,75 w 2019 roku. Latanie w 2019 roku było więc ponad pięciokrotnie bezpieczniejsze niż w 2010 roku i ponad 200 razy bezpieczniejsze niż na początku roku.

[54](#)

era odrzutowców pod koniec lat pięćdziesiątych. Wyrażenie tych ofiar śmiertelnych w kategoriach ryzyka na godzinę ekspozycji jest dość proste. Średnia całkowita liczba zgonów przypadkowych w latach 2015–2019 wyniosła 292; średnia 68 bilionów pasażerokilometrów i 4,2 miliarda pasażerów oznacza, że przeciętnie pasażerowie przelecieli około 1900 kilometrów i spędzili około 2,5 godziny w locie; łącznie około 10,5 miliarda pasażerogodzin spędzonych w powietrzu

-8 i 292 ofiar śmiertelnych przekłada się na $2,8 \times (0.000000028)$ ofiar śmiertelnych na osobę 10 na godzinę lotu.

To tylko około 3 procent ogólnego ryzyka zgonu w powietrzu, aw

przypadku mężczyzny w wieku siedemdziesięciu lat ryzyko to wzrasta o zaledwie 1 procent.

Każdy rozsądny, często podróżujący samolot (a tym bardziej osoba w podeszłym wieku) powinien bardziej martwić się o nieprzewidziane opóźnienia, stawianie czoła teatrowi bezpieczeństwa, znoszenie nudy długodystansowych lotów i radzenie sobie z wyniszczającymi skutkami zmiany strefy czasowej.

Na przeciwnym krańcu spektrum ryzyka dobrowolnego znajdują się czynności, których krótki czas trwania niesie ze sobą wysokie prawdopodobieństwo śmierci. Żaden nie jest bardziej ryzykowny niż skoki bazowe z klifów, wież, mostów i budynków. Najbardziej wiarygodne badanie tego szaleństwa „prośby o to” dotyczyło 11-letniego okresu skakania z masywu Kjerag w Norwegii, gdzie 1 na 2317 skoków (łącznie 9) [55](#) przy średnim ryzyku spadochronowych śmiertelnych przypadków (0,04). Dla porównania, w skokach z wież z USA pokazują jedną ofiarę śmiertelną na każde 250 000 skoków. Przy typowym zejściu trwającym pięć minut ryzyko ekspozycji wynosi tylko 5×10 tych pięciu minut – ale jest to tylko około 1/1000 ryzyka związanego z przeskakiwaniem do bazy.

⁻⁵, wciąż 50 razy wyższa niż samo siedzenie na krześle przez

[56](#) Ponownie, tylko bardzo niewiele osób jest świadomych tych konkretnych liczb, ale prawie wszyscy ludzie (z wyjątkiem nielicznych osób tolerujących ryzyko) zachowują się tak, jakby je zinternalizowali.

W 2020 roku w USA prawo jazdy posiadało około 230 milionów osób (ryzyko ekspozycji za kierowicą to 5×10 mln to byli⁻⁷ za osobę na godzinę); około 12 narciarze jazdowi (2×10 -7 podczas schodzenia); Stany Zjednoczone

Stowarzyszenie Spadochronowe liczy około 35 000 członków (5×10^{-5} w powietrzu); ten Amerykańskie Stowarzyszenie Lotniarstwa i Paralotniarstwa liczy około 3000 członków, a to, co robią (w zależności od długości lotów trwających od 20 minut do kilku godzin) niesie ze sobą ryzyko śmiertelności w postaci skoków do 10 baz, które zyskują ^{4-3 do 10} na popularność szczególnie w Norwegii i

Szwajcarii), w USA wciąż ogranicza się do kilkuset, głównie męskiego losu kusicieli, których ryzyko śmierci wynosi 4×10^{-2} , ^{od podczas dekoracji i przykrycia} Są głównym udziałem w aktywności jest oczywista: duża liczba osób jest skłonna zaryzykować zwic平niecie barku lub skręcenie kostki podczas zjazdów na przygotowanym zjeździe; bardzo niewielu rzuca się w pustkę z przepaści.

Na koniec kilka kluczowych liczb dotyczących jednego z najbardziej przerażających współczesnych mimowolnych ujawnień: ryzyka terroryzmu. W latach 1995-2017 3516 osób zginęło w atakach terrorystycznych na ziemi amerykańskiej, z 2996 ofiar śmiertelnych (lub 85 procent) tej sumy) w dniu 11 września 2001 r. wynosiła ⁵⁸ Ryzyko indywidualnej ekspozycji w całym kraju więc średnio 6×10^{-1} rzędu ¹¹ wielkości wyższa lat, a na Manhattanie było to dwa zwiększając ryzyko po prostu bycia żywym o jedną dziesiątą procenta, ilość, która jest zbyt mała, aby można ją było sensownie zinternalizować.

W mniej szczęśliwych krajach niedawna liczba ataków terrorystycznych była znacznie wyższa: w Iraku w 2017 r. (z ponad 4300 zgonów) ryzyko wzrosło do $1,3 \times 10^{-8}$,

a w Afganistanie w 2018 r. (7 379 zgonów) do wskaźnika $2,3 \times 10^{-8}$, ale nawet to podnosi podstawowe ryzyko przeżycia zaledwie o kilka procent i pozostaje niższe niż ryzyko, które ludzie dobrowolnie podejmują prowadząc samochód (szczególnie w miejscowościach bez pasów i doraźnych przepisów ruchu drogowego). ⁵⁹

Ale jakkolwiek są poprawne, te porównania pokazują również nieodłączne ograniczenia beznamietna kwantyfikacja. Większość osób dojeżdżających do pracy samochodem jeździ tylko o określonych porach, rzadko spędza w trasie więcej niż godzinę lub półtorej dnia, jeździ znajomymi trasami i (poza niepogodą lub nieoczekiwany korkiem) czuje się całkiem niezle kontrolowany. Natomiast w czasach szczytu terroru zamachy bombowe lub strzelaniny w Kabulu lub Bagdadzie miały miejsce w nieprzewidywalnych momentach i odstępach czasu, w wielu miejscowościach publicznych – od meczetów po rynki – i nie ma niezawodnego sposobu na całkowite uniknięcie takich zagrożeń, mieszkając w mieście. W rezultacie niższym wskaźnikom narażenia na zagrożenia terrorystyczne towarzyszy niewymierny akompaniament strachu, jakościowo tak odmienny od obaw o potencjalnie śliskie drogi podczas porannych dojazdów do pracy.

Zagrożenia naturalne: mniej ryzykowne niż w telewizji

A jak można porównać powtarzające się śmiertelne zagrożenia naturalne do bycia żywym i do zagrożeń związanych ze sportami ekstremalnymi? Niektóre kraje są wielokrotnie (ale niezbyt często) narażone na tylko jeden lub dwa rodzaje katastrofalnych zdarzeń – powodzie i bardzo silne wiatry w przypadku Wielkiej Brytanii – podczas gdy Stany Zjednoczone muszą co roku radzić sobie z wieloma tornadami i rozległymi powodziami, często z huraganami (od 2000 r. prawie dwa huragany rocznie uderzały na ląd) i obfite opady śniegu, a państwa Pacyfiku są zawsze zagrożone

doświadczania poważnego trzęsienia ziemi i możliwego tsunami.

[60](#)

Tornada każdego roku zabijają ludzi i niszczą domy, a szczegółowe statystyki historyczne umożliwiają dokładne obliczenie ryzyka narażenia.

W latach 1984-2017 w 21 stanach z najwyższą częstotliwością tych niszczycielskich cyklonów zginęło 1994 osób (region między Dakotą Północną, Teksasem, Georgią i Michigan, zamieszkany przez około 120 milionów ludzi), a około 80 procent tych zgonów miało miejsce w sześciu miesiącach roku od

Od marca do sierpnia.[61](#)

na około 3×10^{-9} To przekłada się (0,00000003) ofiar śmiertelnych na godzinę ekspozycja, ryzyko, które jest o trzy rzędy mniejsze niż samo życie. Bardzo niewielu mieszkańców amerykańskich stanów dotkniętych tornadami zdaje sobie sprawę z tego tempa, ale zdają sobie sprawę – podobnie jak ludzie na innych obszarach narażonych na powtarzające się katastrofy naturalne – że prawdopodobieństwo zabicia przez tornado jest wystarczająco małe, a zatem ryzyko dalszego życia w takich regionach pozostaje do przyjęcia. Szeroko transmitowane obrazy zniszczenia pozostawione przez potężne tornado sprawiają, że widzowie mieszkający w mniej brutalnych rejonach atmosferycznych zastanawiają się, dlaczego ludzie twierdzą, że odbudują się w tym samym miejscu. Ale takie decyzje nie są ani irracjonalne, ani lekkomyślne ryzykowne, a dzięki nim miliony ludzi nadal mieszkają w Alei Tornado, która rozciąga się od Teksasu po Dakotę Południową.

Co ciekawe, obliczenia ryzyka narażenia na inne powszechnie spotykane klęski żywiołowe na całym świecie zbiegają się w tym samym rzędzie wielkości (10 wskaźników narażenia pomagają wykonać przewidywanie zniszczeń z wykorzystaniem średnich wartości wielu trzęsień ziemi. W latach 1945–2020 Japończycy trzęsienia ziemi (które mogą dotknąć każdą część wyspy) zabiły około 33 000 osób, ponad połowę w wyniku Tōhoku z 11 marca 2011 r.

trzęsienie ziemi i tsunami (15 899 zgonów i 2529 zaginionych). populacja,⁶² Ale dla która wzrosła z 71 milionów w 1945 roku do prawie 127 milionów w 2020 roku, co przekłada się na ekspozycję około 5×10 , cztery⁻¹² (0,00000005) — na wskaźnik śmiertelności w kraju: oczywiście dodanie 0,0001 do 1 nie może być decydującym czynnikiem, który zmienia się ogólna ocena zagrożeń życiowych.

Powodzie i trzęsienia ziemi w większości części świata niosą ze sobą ryzyko narażenia przypadku amerykańskich huraganów (potencjalnie dotykających ok. 10% ludności w stanach przybrzeżnych od Teksasu do Maine i zabijających średnio ok. 50 osób a

rok) było około 8×10 podobne⁻¹¹.⁶³ To wyjątkowo niski wskaźnik — albo bardzo lub może nawet niższe niż to, co większość ludzi uważa za wyjątkowo niskie ryzyko naturalne: zabicie przez piorun. W ostatnich latach piorun zabijał mniej niż 30 osób rocznie w USA, a przy założeniu, że niebezpieczeństwo dotyczy tylko przebywania na zewnątrz (średnio cztery godziny dziennie) i w ciągu sześciu miesięcy od kwietnia do września (kiedy około 90 procent wszystkich piorun) ryzyko wynosi około 1×10 , wydłużenie czasu ekspozycji do 10 miesięcy obniża go do 7×10 (0,0000000007).

⁻¹⁰, podczas gdy

⁻¹¹

64

Fakt, że huragany w USA stanowią obecnie zagrożenie śmiertelne nie większe niż piorun, ilustruje, w jaki sposób ich liczba ofiar została zmniejszona przez satelity, zaawansowane ostrzeżenia publiczne i ewakuacje. Jednocześnie istnieją powody do niepokoju, ponieważ zarówno roczna częstotliwość klęsk żywiołowych na całym świecie, jak i ich koszty ekonomiczne rosną. Możemy to powiedzieć z dużą dozą pewności, ponieważ największe światowe firmy reasekuracyjne (którego zyski i straty zależą od nieprzewidywalnych wystąpień trzęsień ziemi, huraganów, powodzi i pożarów) od dziesięcioleci uważnie śledzą swoje trendy.

Ubezpieczenia to starożytna praktyka zapewniająca różne stopnie odszkodowania za różne rodzaje ryzyka. Podczas gdy ubezpieczenie na życie opiera się na wysoce przewidywalnych wskaźnikach przeżycia, ubezpieczanie od nieprzewidywalnych poważnych zagrożeń naturalnych zmusza firmy ubezpieczeniowe do dzielenia ryzyka związanego z takimi katastrofami poprzez zabezpieczenie własnego ubezpieczenia. W efekcie największe światowe firmy reasekuracyjne (Szwajcaria Re, niemieckie Munich Re i Hannover Rueck, francuskie SCOR, amerykańskie Berkshire Hathaway, brytyjskie Lloyd's) są najbardziej wytrwałymi badaczami katastrof naturalnych, ponieważ samo ich istnienie

polega na wykonywaniu odpowiednich połączeń telefonicznych: aby uniknąć wzrostu strat ubezpieczonych, nie powinni ustalać składek ubezpieczeniowych na podstawie przestarzałych liczb, które nie uwzględniałyby przyszłego ryzyka.

Liczby wszystkich katastrof naturalnych odnotowanych przez Munich Re wykazują oczekiwane wahania z roku na rok, ale tendencja wzrostowa była niewątpliwa: powolny wzrost w latach 1950-1980, podwojenie częstotliwości rocznej w latach 1980-2005 i około 60-procentowy wzrost 2005 i 2019.⁶⁵

Ogólne straty gospodarcze (odzwierciedlające wyjątkowe obciążenia wynikające z poważnych katastrof) wykazują jeszcze większe roczne wahania i jeszcze bardziej stromą tendencję wzrostową. Mierzony w stałych pieniędzach z 2019 r., rekord sprzed 1990 r. wynosił około 100 miliardów dolarów, podczas gdy 2011 r. ustanowił rekord wszechczasów w wysokości nieco ponad 350 miliardów dolarów, a suma ta została prawie zrównana w 2017 r. Ubezpieczone straty wały się głównie od 30 do 50 procent łącznych straty, z rekordem z 2017 roku sięgającym prawie 150 miliardów dolarów.

Do lat 80. rosnąca liczba ofiar katastrof wynikała głównie z większego narażenia (wynikającego z rosnącej liczby ludności i gospodarki) i chociaż ten trend się utrzymuje — w regionach podatnych na klęski żywiołowe mieszka coraz więcej osób z większą liczbą ubezpieczonych mienia — ostatnie dziesięciolecia przyniosły zmiany w same zagrożenia naturalne: cieplejsza atmosfera zawiera więcej pary wodnej (co zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia ekstremalnych opadów); przedłużające się susze w niektórych regionach powodują nawracające pożary o wyjątkowym czasie trwania i intensywności. Wiele modeli przewiduje obecnie dalszą intensyfikację tych trendów, ale wiemy również, że można podjąć wiele skutecznych środków — od ustanawiania stref wykluczenia i przywracania terenów podmokłych po uchwalanie odpowiednich przepisów budowlanych — w celu zmniejszenia ich wpływu.

Aby uzyskać jeszcze mniejsze ryzyko związane z narażeniem na zagrożenia naturalne lub spowodowane przez człowieka, należy połować na naprawdę wyjątkowe wydarzenia, takie jak ludzie zabici przez spadający meteoryt lub szczątki z coraz większej liczby orbitujących satelitów. Raport amerykańskiej National Research Council oszacował, że biorąc pod uwagę ilość kosmicznych śmieci uderzających w Ziemię, powinno być 91 zgonów rocznie – 12 zgonów na 10 globalnej populacji 7,75 miliard. W rzeczywistości śmiały natomiast zatrzymał ok. 1900 r., a dopiero niedawno wśród rękopisów w Generalnej Dyrekcji Archiwów Państwowych Imperium Osmańskiego odkryto pierwszy pisemny dowód na to, że meteoryt zabił człowieka (i pozostawił innego sparaliżowanego): miało miejsce 22 sierpnia 1888 r. na terenie dzisiejszego Sulaymaniyah w Iraku.

⁶⁶ Ale nawet gdyby co roku ginęła jedna osoba, wskaźnik byłby zaledwie 10-14 — czyli o osiem rzędów wielkości mniejszy

(1/100,000,000 tak duża) niż po prostu bycie żywym, więc wyraźnie nie jest to powód, aby

⁶⁷ większe niż 10 jest typowo porównać z małymi kawałkami o średnicy do 134 000 mówiąc o skutkach te fragmenty rozpadają się, gdy ponownie wchodzą w atmosferę, ale nawet małe fragmenty stwarzają ryzyko kolizji w coraz bardziej zatłoczonej przestrzeni pierwotnej orbity.

[68](#)

Koniec naszej cywilizacji

Kiedy myślimy o rzadkich, ale naprawdę niezwykłych zagrożeniach, które mają skutki globalne, a tym bardziej, gdy rozważamy katastrofalne wydarzenia, które mogą poważnie uszkodzić lub nawet zakończyć współczesną cywilizację, robimy to na zupełnie innej płaszczyźnie mentalnej: tych rzeczywistych (choć bardzo niskich) zagrożenia należą do bardzo różnej kategorii percepcji. Jak w przypadku każdego zdarzenia, które może mieć miejsce w możliwie dość odległej przyszłości, zdecydowanie odrzucamy ich wpływ i, jak pokazała po raz kolejny pandemia w 2020 r., jesteśmy chronicznie nieprzygotowani do radzenia sobie nawet z tymi zagrożeniami, których powtarzalność mierzy się w dekadach, a nie w wieki lub tysiąclecia.

Zagrożenia o prawdziwie globalnych skutkach dzielą się na dwie bardzo różne kategorie: stosunkowo częste pandemie wirusowe, które mogą zebrać znaczne żniwo w ciągu miesięcy lub kilku lat; i niezwykle rzadkie, ale niezwykle śmiertelne katastrofy naturalne, które mogą mieć miejsce w ciągu zaledwie kilku dni, godzin lub sekund, ale których konsekwencje mogą trwać nie tylko przez stulecia, ale przez miliony lat, daleko poza wszelkimi horyzontami cywilizacyjnymi.

Gdyby pobliska supernowa wybuchła i zalała Ziemię śmiertelnymi dawkami promieniowania kosmicznego, czyelibyśmy wystarczająco dużo czasu (między nadaniem światła a promieniowaniem), aby zaimprovizować schronienia dla większości światowej populacji?

[69](#) Ale czy to w ogóle powinno być zmartwieniem?

Wybuch, który uszkodziłby warstwę ozonową Ziemi, musi nastąpić w odległości mniejszej niż 50 lat świetlnych, ale wszystkie nasze „pobliksie” gwiazdy, które mogą eksplodować, znajdują się znacznie dalej, i chociaż rozbłysk gamma może wpłynąć na Ziemię z na odległość 10 000 lat świetlnych raz na 15 milionów lat najbliższy taki rozbłysk był oddalony o 1,3 miliarda lat świetlnych.

[70](#) Oczywiście ryzyko to należy do kategorii w dużej mierze akademickiej — zamiast zgadywać, kiedy to może się wydarzyć, powinniśmy, biorąc pod uwagę częstotliwość takich zdarzeń, lepiej zapytać: czy jakakolwiek cywilizacja ziemska będzie istniała za, powiedzmy, 150 000 lub pół miliona lat?

Chociaż jest to stosunkowo bardziej prawdopodobne zdarzenie, obliczenie ryzyka nieuniknionego przyszłego zderzenia Ziemi z asteroidą jest kolejnym ćwiczeniem w niepewności i założeniach, których specyfika może zrobić ogromną różnicę. Spotkania z asteroidami lub dużymi kometami miały miejsce w przeszłości i będą miały miejsce w przyszłości — ale czy zakładamy, że większe spotkanie ma miejsce raz na 100 000 lat czy raz na 2 miliony lat?

[71](#)

Są to stosunkowo krótkie okresy w geologicznej skali czasu, ale są zbyt długie, aby można je było wykorzystać do jakichkolwiek ujawniających obliczeń prawdopodobnych zagrożeń w skali roku (nie mówiąc już o godzinie ekspozycji). Co więcej, globalne konsekwencje byłyby zupełnie inne, gdyby taki obiekt uderzył w Ocean Spokojny w pobliżu Antarktydy, niż gdyby uderzyły w Europę Zachodnią lub wschodnie Chiny. W pierwszym przypadku znaczna część szkód pochodziłaby od potwornego tsunami, ale (w zależności od wielkości asteroidy) do atmosfery może przedostać się niewiele pyłu. W drugim i trzecim przypadku uderzenie natychmiast zniszczyłoby duże skupiska ludności i działalności przemysłowej oraz wyrzuciło do atmosfery ogromne masy sproszkowanych skał, powodując wyraźne ochłodzenie całej planety.

Amerykanie nie powinni martwić się ani supernowymi, ani asteroidami, ale jeśli chcą się przestraszyć myśląc o nieuniknionej katastrofie naturalnej (i takiej, która miałaby emanować z jednego z cenionych miejsc w kraju!), wtedy powinni rozważyć kolejną megaerupcję superwulkanu Yellowstone.

[72](#) Dowody geologiczne wskazują na dziewięć erupcji w ciągu ostatnich 15 milionów lat, przy czym ostatnie trzy znane erupcje miały miejsce 2,1 miliona, 1,3 miliona i 640 000 lat temu. Oczywiście datowanie tylko trzech wydarzeń nie daje podstaw do przewidywania jakiejkolwiek okresowości, ale wciąż pojawia się myśl: biorąc średni odstęp 730 000 między erupcjami, pozostało nam jeszcze 90 000 lat oczekiwania, ale gdyby pierwszy odstęp wynosił 800 000 lat i drugi miał 660 000 lat, wtedy podobne skrócenie wskazywałoby, że następny okres to około 520 000 lat — a nowa erupcja byłaby spóźniona już o ponad 100 000 lat!

Bez względu na interwał, konsekwencje będą zależeć od wielkości erupcji, od czasu jej trwania i od przeważających wiatrów. Ostatnia erupcja uwolniła około 1000 kilometrów sześciennych popiołu wulkanicznego, a przeważające wiatry północno-zachodnie przeniosły pióropusz nad Wyoming (gdzie najgłębsze osady mogą mieć grubość kilku metrów), Utah i Kolorado oraz na Wielkie Równiny, wpływając na stany z Dakoty Południowej do Teksasu i zakopywanie jednych z najbardziej produktywnych gruntów rolnych w kraju poniżej 10-50

centymetry popiołu. Połączenie wcześniejszego ostrzeżenia (ze względu na stały monitoring sejsmiczny) i słabszej, przedłużającej się erupcji może umożliwić ewakuację na dużą skalę, a utrata mieszkań, infrastruktury i gruntów uprawnych byłaby wówczas znacznie większa niż jakiekolwiek bezpośrednie ofiary. Cienką warstwę popiołu wulkanicznego można by wrócić w glebę (i faktycznie poprawić jej żywość), ale grubsze warstwy byłyby nie do opanowania i stanowiłyby dodatkowe niebezpieczeństwo, gdyby zostały usunięte przez deszcze i topnienie śniegu, powodując zamulenie i powodzie oraz stwarzając problemy na dziesięciolecia przyjść.

Być może najlepszym przykładem naturalnego ryzyka, które nikogo bezpośrednio nie zabije, ale które spowodowałoby ogromne zakłócenia na całej planecie skutkujące dużą liczbą pośrednich ofiar, jest możliwość katastrofy [73](#) Korona spowodowana przez koronalny wyrzut masy. najbardziej zewnętrzna warstwa atmosfery Słońca (można ją zobaczyć bez specjalnych przyrządów tylko podczas całkowitego zaćmienia Słońca) i jest paradoksalnie setki razy gorętsza niż powierzchnia Słońca. Koronalne wyrzuty masy to ogromne (miliardy ton) wyrzuty przyspieszonego wybuchowo materiału, który przenosi wbudowane pole magnetyczne, którego siła znacznie przewyższa siłę wiatru słonecznego tła i międzyplanetarnego pola magnetycznego. Wyrzuty koronalne rozpoczynają się od skręcenia i rekonfiguracji pola magnetycznego w dolnej części warstwy; wytwarzają rozbłyski słoneczne i mogą podróżować (rozszerzać się w miarę postępu) z prędkością mniejszą niż 250 km/s (przybywając na Ziemię w ciągu prawie siedmiu dni) i tak szybko, jak prawie 3000 km/s (dotierając do Ziemi w zaledwie jak 15 godzin).

Największy znany koronalny wyrzut masy rozpoczął się rankiem 1 września 1859 roku, kiedy Richard Carrington, brytyjski astronom, obserwował i rysował dużą plamę słoneczną, która emitowała sporych rozmiarów biały rozbłysk w kształcie nerki. [74](#) Były to przeoriody w latach 80. XIX wieku, kiedy przed pierwszym centralizowaną komercyjną generacją elektryczności (1882), stąd wymiernymi efektami były tylko intensywne zorze i zakłócenia nowo rozwijającej się sieci telegraficznej, której układanie rozpoczęło w latach 40. XIX wieku: druty iskrzyły, przesyłanie wiadomości zostało przerwane lub kontynuowane w dziwacznie skrócony sposób, operatorzy doznali porażenia prądem, niektóre pożary wybuchały przypadkowo.

Niektóre z późniejszych najsilniejszych wydarzeń miały miejsce 31 października – 1 listopada 1903 i 13-15 maja 1921, kiedy zasięg zarówno przewodowych łącz telefonicznych, jak i sieci elektrycznych był nadal dość ograniczony nawet w Europie i Ameryce Północnej, a bardzo nieliczny w innych. Ale dostaliśmy zapow

znaczny koronalny wyrzut masy może nastąpić dzisiaj w marcu 1989 roku, kiedy znacznie mniejsze (nie Carrington) zdarzenie zepsuło całą sieć energetyczną Quebecu, obsługującą 6 milionów ludzi, na dziewięć godzin. [75](#) Ponad trzy dekady temu, w 1989 roku, szkody te były znacznie mniejsze niż wtedy. Wiele bardziej bezbronni: pomyślmy tylko o wszystkim, co elektroniczne, od telefonów komórkowych przez e-maile po międzynarodową bankowość, a także o nawigacji GPS na każdym statku i samolocie, a teraz także o dziesiątkach milionów samochodów.

Dowiedzielibyśmy się, zanim uderzy: nasze ciągłe pomiary aktywności Słońca natychmiast wykryją wyrzut masy i zapewnią co najmniej 12–15 godzin ostrzeżenia przed uderzeniem. Ale dopiero wtedy, gdy wyrzut osiągnie punkt, w którym stacjonujemy Obserwatorium Słońca i Heliosfery (SOHO), około 1,5 miliona kilometrów od Ziemi, będziemy mogli zmierzyć jego intensywność; a do tego czasu czas reakcji zostanie skrócony do mniej niż godziny, a może nawet do zaledwie 15 minut.

[76](#) Nawet niewielkie uszkodzenia oznaczałyby godziny lub dni zakłóceń w komunikacji i pracy sieci, a potężna burza geomagnetyczna zerwałaby wszystkie te łącza w skali globalnej, pozostawiając nas bez prądu, informacji, transportu, możliwości dokonywania płatności kartą kredytową, lub wypłacić pieniądze z banków.

Co byśmy zrobili, gdyby całkowite przywrócenie wszystkich tych istotnych, ale poważnie sparaliżowana infrastruktura zajęła lata, a może nawet dziesięć lat?

Szacunki globalnych szkód różnią się o rząd wielkości, od 2 bilionów [77](#) do 20 bilionów dolarów — ale odnosi się to tylko do wydatków, a nie do wartości życia straconego podczas długich okresów bez komunikacji, światła, klimatyzacji, sprzętu szpitalnego, chłodnictwa i produkcji przemysłowej (a zatem także bez odpowiednich nakładów na uprawę roślin).

Mamy dobre wieści. W badaniu z 2012 r. oszacowano 12-procentowe prawdopodobieństwo kolejnego Zdarzenia Carringtona w ciągu najbliższych dziesięciu lat – lub jedną na osiem. przyszłe wydarzenie jest praktycznie niemożliwe.”

[78](#) Biorąc pod uwagę tę niepewność, nie dziwi fakt, że w 2019 r. grupa naukowców w Barcelonie obliczyła, że w latach 2020. ryzyko nie będzie większe niż 0,46–1,88 proc., a więc nawet najwyższy wskaźnik oznaczałoby szanse 1 do 53, znacznie bardziej pocieszające prawdopodobieństwo. [79](#) A w 2020 roku grupa Carnegie Mellon przedstawiła jeszcze niższe szacunki, podając prawdopodobieństwo dziesięcioletnie (10-letnie) na poziomie od 1 do 9 procent w przypadku zdarzenia o wielkości co najmniej dużego zdarzenia z 2012 roku i od 0,02%

wiele i 1,6 procent dla rozmiaru 1859 Carrington Event. eksperci doskonale ⁸⁰ Podobnie jak grypowe z tych szans i ogromu potencjalnych konsekwencji, jest to wyraźnie jedno z tych zagrożeń (podobnie jak pandemia), na które nigdy nie możemy być odpowiednio przygotowani: musimy tylko mieć nadzieję, że następne masowe wyrzucenie korony nie będzie równać się ani przewyższyć wydarzenia Carrington.

Chociaż może to nie być to, co świat chce teraz usłyszeć, jest to niefortunna prawda, że pandemie wirusowe na pewno pojawią się ponownie ze stosunkowo dużą częstotliwością i chociaż mają nieuniknione podobieństwa, ich skutki są nieprzewidywalnie specyficzne. Na początku 2020 roku na świecie mieszkało około miliarda ludzi w wieku powyżej 62 lat i wszyscy przeżyli trzy pandemie wirusowe w jednym życiu: 1957–1959 (H2N2), 1968–1970 ⁸¹ Najlepsza rekonstrukcja całkowitej śmiertelności (H3N2) oraz 2009 (H1N1). populacja na świecie 2,87 miliarda), pandemia z lat 1957–1968–1970 była 1/100 000 (około 100 000 zgonów; milion zgonów; populacja na świecie 3,55 miliarda), podczas gdy w 2009 roku zjadliwość i śmiertelność nie wyższa niż 3/100 000 (około 200 000 zgonów; populacja na świecie 6,87 miliarda).

82

Przybycie kolejnego wydarzenia było tylko kwestią czasu, ale jak już wspomnieliśmy, my nigdy nie są przygotowani na te (stosunkowo) zagrożenia o niskiej częstotliwości. Ranking największych globalnych zagrożeń Światowego Forum Ekonomicznego, przygotowywany corocznie w latach 2007–2015, prowadził ośmiokrotnie do załamania cen aktywów, kryzysu finansowego i poważnej systemowej awarii finansowej (oczywiście echa z 2008 r.) oraz kryzysów wodnych raz, podczas gdy zagrożenie pandemią się nie pojawiło wśród trzech największych zagrożeń ⁸³ nawet raz. — Tyle o wspólnym foresight globalnych decydentów!

A kiedy pojawił się COVID-19 (spowodowany przez SARS-CoV-2), Światowa Organizacja Zdrowia czekała do 11 marca 2020 r. z ogłoszeniem globalnej pandemii, a jej wcześnie rada (powtarzana przez wiele rządów) była przeciwko zawieszaniu lotów międzynarodowych i noszeniu maski. ⁸⁴

Oczywiście będziemy w stanie obliczyć tylko całkowitą śmiertelność związaną z COVID-19 po zakończeniu ostatniej pandemii. Tymczasem najlepszym sposobem oceny nawracającego obciążenia pandemią jest porównanie go z globalną śmiertelnością oddechową związaną z grypą sezonową. Najbardziej szczegółowa ocena dla lat 2002–2011 wykazała średnio 389 tys. zgonów (od 294 tys. do ⁸⁵, co oznacza, że 518 tys.) po wyłączeniu grypy sezonowej odpowiada za około 2% wszystkich rocznych oddechów sezonu pandemicznego 2009.

zgonów, a jego śmiertelność wynosi średnio 6/100 000, czyli 15-20 procent wskaźników zgonów odnotowanych w dwóch pandemach końca XX wieku (1957-1959, 1968-1970). I odwrotnie, pierwsza pandemia spowodowała ponad sześciokrotnie wyższą, a druga prawie pięciokrotnie wyższą względną liczbę zgonów niż grypa sezonowa.

Ponadto istnieje istotna różnica w śmiertelności zależnej od wieku. Sezonowa śmiertelność z powodu grypy jest, prawie bez wyjątku, mocno przesunięta w kierunku starości, przy 67% wszystkich zgonów wśród osób powyżej 65 roku życia. Z kolei niesławna druga fala pandemii z 1918 r. nieproporcjonalnie skierowana była na osoby po trzydziestce; pandemia z lat 1957-1959 miałaczęstość śmiertelności w kształcie litery U, nieproporcjonalnie dotykającą wiek 0-4 i 60+; podczas gdy śmiertelność COVID-19 była, podobnie jak grypa sezonowa, wysoce skoncentrowana w kohortie 65+, zwłaszcza wśród osób z istotnymi chorobami współistniejącymi, i pozostawiła dzieci wyjątkowo nienaruszone.⁸⁶ Wiemy, że wielu nadmiernym zgonom osób starszych nie da się zapobiec: jest to część ceny, jaką musimy zapłacić za nasze bardzo udane wysiłki na rzecz wydłużenia średniej długości życia (w wielu zamożnych krajach o ponad 15 lat od lat pięćdziesiątych).

⁸⁷ W akcie zgonu może widnieć COVID-19 lub wirusowe zapalenie płuc, ale to tylko bezpośrednia etykieta – prawdziwą przyczyną jest to, że większość z nas nie została zaprojektowana tak, aby nie mieć ukrytych problemów zdrowotnych, ponieważ wciąż przesuwamy granice oczekiwanej długości życia. Tymczasowe dane CDC dotyczące COVID-19 jasno to pokazują: w tygodniu szczytowej śmiertelności związanej z COVID-19 w USA (kończącej się 18 kwietnia 2020 r.) osoby w wieku powyżej 65 lat odpowiadały za 81 procent wszystkich zgonów, a osoby przypadkami zmarły w wieku 65 lat w 2018 i 2019, kiedy sytuacja ta jeszcze nie istniała. Teraz wiemy, że większość tych zgonów była spowodowana bakteryjnym zapaleniem płuc: około 80 procent kultur pobranych z zachowanych próbek tkanki płucnej zawierało bakterie powodujące wtórną infekcję płuc – a w tamtym czasie, prawie czwierć wieku przed dostępnością antybiotyków, mieliśmy brak leczenia tego stanu.⁸⁹

Ponadto osoby chore na gruźlicę częściej niż inne umierały grypy, a związek ten pomaga również wyjaśnić niezwykłą śmiertelność pandemii w średnim wieku, a także jej wyraźną męskość (z powodu zróżnicowanej częstości występowania gruźlicy).⁹⁰ Ponieważ gruźlica została zasadniczo zwalczona we wszystkich zamożnych krajach, a zapalenie płuc można leczyć antybiotykami, możemy uniknąć powtarzania się wysokiej śmiertelności, ale

nawet przy naszych corocznych kampaniach szczepień przeciwko grypie nie możemy zapobiec znacznej śmiertelności sezonowej, a przetrwanie najstarszych kohort będzie zagrożone za każdym razem, gdy wybuchnie globalna pandemia. Jest to w dużej mierze ryzyko z własnej winy, przeciwieństwo cieszenia się dłuższą średnią długością życia, i możemy je zminimalizować, izolując najbardziej wrażliwe osoby i opracowując lepsze szczepionki – ale nie możemy go wyeliminować.

Niektóre trwałe postawy

Jeśli chodzi o ryzyko, wiele truizmów wydaje się trwałych. Jako jednostki możemy sprawować pewną kontrolę. Wiele osób nie ma trudności z powstrzymaniem się od palenia, spożywania alkoholu i narkotyków i woli zostać w domu niż dzielić statek wycieczkowy z 5000 pasażerów i 3000 członków załogi w trakcie epidemii koronawirusa lub norowirusa. Inni pragną tego wszystkiego i jest zdumiewające, jak wielu ludzi nie zmniejsza nawet najłatwiejszego i najtańszego ryzyka. Ciągłe zapinanie pasów bezpieczeństwa, nie przekraczanie prędkości, bycie kierowcą defensywnym oraz instalowanie czujników dymu, tlenku węgla i gazu ziemnego w mieszkaniach to bezpłatne lub bardzo tanie sposoby na zmniejszenie ryzyka prowadzenia pojazdu i mieszkania w budynkach ogrzewanych przez spalanie paliw kopalnych.

Co więcej, większość ludzi i większość rządów ma trudności z właściwym radzeniem sobie z mało prawdopodobnymi, ale mającymi duży wpływ (wysokimi stratami) zdarzeniami. Zakup podstawowego ubezpieczenia domu to jedno (często jest to obowiązkowe); Inwestycja w konstrukcje odporne na trzęsienia ziemi – czy to jako jednostki, czy jako społeczeństwa – w celu zminimalizowania wpływu tego, co prawdopodobnie będzie wydarzeniem, które zdarza się raz na stulecie, to zupełnie inna sprawa. Kalifornia ma dotowany program modernizacji sejsmicznych domów sprzed 1980 r. (Skręcanie lub skręcanie i usztywnianie domu do fundamentów zgodnie z kodeksem budowlanym z 2016 r.) – ale większość jurysdykcji, które borykają się z [91](#) podobnymi zagrożeniami sejsmicznymi, tego nie robi.

Trudno jednak, jeśli nie niemożliwe, uniknąć wielu ekspozycji, ponieważ (jak już zauważono) w niektórych przypadkach nie ma wyraźnej dychotomii między ryzykiem dobrowolnym i niedobrowolnym. A większość zagrożeń jest poza naszą kontrolą. Nie możemy wybrać naszych rodziców, a tym samym uniknąć genetycznej predyspozycji do wielu powszechnych i rzadkich chorób, w tym niektórych nowotworów, cukrzycy, problemów sercowo-naczyniowych, astmy i kilku chorób autosomalnych recessywnych, w tym mukowiscydozy, anemii sierpowatej i choroby Tay-Sachsa . [92](#) w celu znacznego zmniejszenia ryzyka wszystkich lokalnych lub regionalnych ~~kleszczów~~ żywiołowych, my

musiałaby wyeliminować duże obszary planety – przede wszystkim te podlegające nawracającym mega trzęsieniom ziemi i erupcjom wulkanicznym (Pacyficzny Pierścień Ognia), niszczycielskie wiatry cyklonowe i rozległe powodzie – jako miejsca zamieszkania ludzi. [93](#) Ponieważ jest to wyraźnie niemożliwe na coraz bardziej zatłoczonej planecie, jedynym sposobem na zwiększenie szans na

przeżycie w takich warunkach jest podjęcie środków ostrożności — odporne na trzęsienia ziemi (wzmocnione stałą) budynki nie pogrzebią ludzi, gdy otaczające je struktury zawalą się; Schroniska przed tornadami uratują rodziny, aby mogły odbudować swoje zrównane z ziemią domy – i wprowadzić skuteczne systemy wczesnego ostrzegania oraz plany ewakuacji na masową skalę, aby zmniejszyć liczbę ofiar śmiertelnych spowodowanych przez cyklony, powodzie i erupcje wulkanów. Chociaż środki te mogą potencjalnie uratować nie tylko setki, ale setki tysięcy istnień ludzkich, mamy ograniczoną obronę lub jesteśmy całkowicie bezsilni wobec wielu katastrof na dużą skalę, od potężnych tsunami wywołanych trzęsieniem ziemi po mega erupcje wulkanów i od przedłużających się regionalnych susz po ziemskie spotkania z asteroidami lub kometami.

Kolejny zestaw truizmów dotyczy naszej oceny ryzyka. Zwykle nie doceniamy dobrowolnych, znanych nam zagrożeń, podczas gdy wielokrotnie wyolbrzymiamy mimowolne, nieznane nam zagrożenia. Nieustannie przeceniamy ryzyko wynikające z ostatnich szokujących doświadczeń i nie doceniamy ryzyka wydarzeń, które zanikną w naszej zbiorowej i instytucjonalnej pamięci.

[94](#) Jak

już zauważylem, około miliard ludzi przeżyło trzy pandemie, ale kiedy COVID-19 uderzył w odniesienia do epizodu z 1918 r., jako trzy nowsze (ale mniej śmiertelne) pandemie – w przeciwieństwie do powszechnie pamiętanego strachu przed polio podczas lata pięćdziesiątego czy AIDS w latach osiemdziesiątych nie pozostawiły żadnych lub tylko najbardziej powierzchownych wrażeń.

[95](#)

Istnieją oczywiste wyjaśnienia tej amnezji. Pandemia z 2009 roku była w zasadzie nie do odróżnienia od grypy sezonowej i ani w latach 1957-1959, ani 1968-1970 nie uciekliśmy się do niemal całkowitego zamknięcia na poziomie krajowym lub kontynentalnym. Skorygowane o inflację statystyki globalnego i amerykańskiego produktu gospodarczego nie wykazują drastycznego odwrócenia długoterminowego tempa wzrostu podczas żadnej z dwóch pandemii końca XX wieku. znaczący rozwój międzynarodowych podróży lotniczych [96](#) – pierwszej technologii, która pozwoliła się Boeing 747, polecił po raz pierwszy w 1969 roku.

[97](#) I, co być może

najważniejsze, nie mieliśmy całodobowych wiadomości w telewizji kablowej z ich chorobliwym przywiązaniem do ogłaszań bieżących zgonów, nie było internetu przepełnionego śmieszymi twierdzeniami

o przyczynach i leczeniu oraz o teoriach spiskowych, a więc nie ma ahistorycznych, ale histerycznych sposobów rozpowszechniania nowoczesnych wiadomości.

Jak po raz kolejny wykazał COVID-19 (i na skalach, które musiały zaskoczyć nawet tych, którzy nie oczekują żadnych dobrych wiadomości), jesteśmy wielokrotnie przyłapywani na nieprzygotowaniu do radzenia sobie z nawracającymi zagrożeniami o dużym wpływie, ale stosunkowo niskiej częstotliwości, takimi jak pandemie wirusowe, które mają miejsce raz na dekadę, raz na pokolenie lub raz na stulecie. Jak więc poradzilibyśmy sobie (pomijając wszystkie raporty i analizy) z kolejnym wydarzeniem Carringtona lub asteroidą uderzającą w ocean w pobliżu Azorów i powodującą masywne tsunami wokół Atlantyku o tej samej sile, jak to spowodowane trzęsieniem ziemi w Tōhoku w 2011 roku – że ma wysokość do 40 metrów i podróżuje do 10 kilometrów w głąb lądu? [98](#)

A lekcje, jakie wyciągamy po wielkich katastrofalnych wydarzeniach, są zdecydowanie nieracionalne. Wyolbrzymiamy prawdopodobieństwo ich ponownego wystąpienia i nie podobażą nam się wszelkie przypomnienia, że (pomijając szok) ich rzeczywisty wpływ ludzki i ekonomiczny był porównywalny z konsekwencjami wielu ryzyk, których skumulowane żniwo nie budzi żadnych nadzwyczajnych obaw. W rezultacie obawa przed kolejnym spektakularnym atakiem terrorystycznym skłoniła USA do podjęcia nadzwyczajnych kroków, aby temu zapobiec. Obejmowały one wojny warte wiele bilionów dolarów w Afganistanie i Iraku, spełniające życzenie Osamy bin Ladena, by wciągnąć kraj w oszałamiająco asymetryczne konflikty, które osłabiłyby jego siłę w długim okresie.

[99](#)
przebiegów

Publiczna reakcja na zagrożenia jest bardziej podyktowana lękiem przed tym, co nieznane, nieznane lub słabo zrozumiane, niż jakkolwiek porównawczą oceną rzeczywistych konsekwencji. Kiedy w grę wchodzą te silne reakcje emocjonalne, ludzie nadmiernie skupią się na możliwości przerażającego wyniku (śmierć w wyniku ataku terrorystycznego lub pandemii wirusowej), zamiast próbować pamiętać o prawdopodobieństwie takiego wyniku. wykorzystał tę rzeczywistość, zmuszając rządy do podjęcia niezwykle kosztownych kroków w celu [100](#) zapobiegania atakom, jednocześnie wielokrotnie zaniedbując środki, które mogłyby uratować więcej istnień ludzkich przy znacznie niższym koszcie na uniknięcie ofiar śmiertelnych.

Nie ma lepszej ilustracji zaniedbanych tanich środków ratowania życia niż amerykański stosunek do przemocy z użyciem broni: nie ma nawet najbardziej szokujących powtórzeń znanych, aż nazbyt znanych masowych morderstw (zawsze myślę o 26 osobach, w tym 20 sześciu- i siedmioletnich dzieciach, zastrzelonych w 2012 w Newtown w stanie Connecticut) udało się zmienić prawo, a w drugiej dekadzie XXI wieku około 125 000 Amerykanów zginęło od broni palnej (łącznie w przypadku zabójstw, nie licząc samobójstw): jest to odpowiednik

mieszkańców Topeki w Kansas lub Aten w Georgii lub Simi Valley w Kalifornii albo Getyngi w Niemczech. [101](#) Dla kontrastu, we wszystkich atakach terrorystycznych w USA w drugiej dekadzie XXI wieku zginęło 170 Amerykanów, [102](#) prawie trzech rzędów wielkości. liczba wypadków drogowych ~~pożegnania~~ jest bardziej nierównomiernie rozłożona: jak widzieliśmy wcześniej, w porównaniu z kobietami pochodzenia azjatyckiego, rdzenni Amerykanie są około pięć razy bardziej narażeni na śmierć w swoich samochodach, ale mężczyźni Afroamerykanie są około 30 razy bardziej narażeni na śmierć zabity przez broń palną. [103](#) Czy mam przydatne informacje na temat pożegnania? Być może tak długo, jak rozpoznamy te fundamentalne realia: prośba o egzystencję wolną od ryzyka jest proszeniem o coś zupełnie niemożliwego – podczas gdy dążenie do minimalizacji ryzyka pozostaje główną motywacją ludzkiego postępu.



6. Zrozumienie środowiska

Jedyna biosfera, jaką mamy

Podtytuł tego rozdziału jest celowo zapobiegawczy. Odmawiam rozważenia jakiejkolwiek bliskiej możliwości opuszczenia Ziemi i założenia cywilizacji na innej planecie. Robię to, ponieważ w tym postfaktycznym świecie rozważania o niedługim odnalezieniu nowej niebiańskiej siedziby – w szczególności o terraformacji Marsa – zostały przedstawione jako możliwe opcje zdecydowanego radzenia sobie z problemami trzeciej planety krążącej wokół Słońca. To kolejny ulubiony temat gatunku sci-fi, który pozostał ograniczony do jego opowieści: nawet gdybyśmy dysponowali niedrogimi środkami transportu międzyplanetarnego i jakoś opanowali budowę baz marsjańskich, nie moglibyśmy stworzyć odpowiedniej atmosfery – przetwarzania marsjańskiego czapy polarne, minerały i gleba dostarczyłyby tylko około 7 procent całego CO₂, który byłby potrzebny do ogrzania planety i umożliwienia jej przedłużonej kolonizacji.

[2](#)

Oczywiście, prawdziwi wierzący mogą przywołać inną sztuczkę science fiction, która może umożliwić kolonizację Marsa: stworzenie radykalnie przekonstruowanych genetycznie ludzi, nowych superorganizmów obdarzonych cechami niesporczaków lądowych, maleńkich ośmionożnych bezkręgowców żyjących na trawie i w mokrych rowach. Takie organizmy byłyby w stanie poradzić sobie nie tylko z cienką atmosferą (jej ciśnienie wynosi mniej niż 1 procent wartości ziemskiej), ale także z wysokim promieniowaniem, jakie otrzymuje słabo osłonięta czerwona planeta.

[3](#)

Wracając do prawdziwego świata, jeśli nasz gatunek ma przetrwać, nie mówiąc już o rozwitaniu, przynajmniej tak długo, jak istnieją wysokie cywilizacje (czyli przez kolejne 5000 lub więcej lat), będziemy musieli upewnić się, że nasz ciągłe interwencje nie zagrażają długoterminowemu zamieszkiwaniu planety – lub, jak mówi współczesny język, że nie przekraczamy bezpiecznych granic planety.

[4](#)

Lista tych krytycznych granic biosfery obejmuje dziewięć kategorii: zmiana klimatu (teraz zamiennie, choć nieściśle, nazywana po prostu

globalne ocieplenie), zakwaszenie oceanów (zagrażające organizmom morskim budującym struktury z węglanu wapnia), zubożenie ozonu stratosferycznego (osłaniającego Ziemię przed nadmiernym promieniowaniem ultrafioletowym i zagrożonym uwolnieniem chlorofluorowęglowodorów), aerosole atmosferyczne (zanieczyszczenia zmniejszające widoczność i powodujące uszkodzenie płuc), ingerencja w cykle azotu i fosforu (przede wszystkim uwalnianie tych składników pokarmowych do wód słodkich i przybrzeżnych), wykorzystanie wód słodkich (nadmierne pobory wód podziemnych, strumieniowych i jeziornych), zmiany użytkowania gruntów (spowodowane wylesianiem, rolnictwem oraz ekspansją przemysłową), utrata bioróżnorodności i różne formy zanieczyszczenia chemicznego.

Zapewnianie systematycznych przeglądów wszystkich tych obaw – i wprowadzanie ich w ich odpowiednia perspektywa historyczna i środowiskowa — to zadanie dla dużej książki, a nie dla pojedynczego rozdziału (chyba że składał się z powierzchownych streszczeń). Zamiast tego zdecydowałem się nadać temu rozdziałowi zdecydowanie utylitarne podejście i skupić się na zaledwie kilku kluczowych parametrach egzystencjalnych, zaczynając od warunków środowiskowych trzech niezastąpionych wymagań egzystencjalnych – oddychania, picia i jedzenia. Zapewnienie tych trzech warunków naszej egzystencji zależy od dóbr i usług naturalnych: od natlenionej atmosfery i jej nieustannej cyrkulacji; o wodzie i jej cyklu globalnym; oraz na glebach, fotosyntezie, bioróżnorodności i przepływach składników pokarmowych dla roślin.

Z kolei ich dostarczanie wpływa na dobra i usługi naturalne.

Jak zobaczymy, efekty te wahają się od marginalnych (stężenia tlenu) w atmosferze nie są zagrożone ze względu na spalanie paliw kopalnych) do oczywiście negatywnych (nadmierne wydobycie wody z dawnych głębokich warstw wodonośnych; poważne zanieczyszczenie wody generowane przez produkcję żywności, miasta i przemysł) do wręcz niszczących (nadmierny wypas w suchych regionach prowadzący do pustynnienia; nowe grunty uprawne wypierające lasy tropikalne lub łąki).

Tlen nie jest zagrożony

Oddychanie to regularne dostarczanie tlenu, przenoszonego z naszych płuc przez hemoglobinę do wszystkich komórek w ciele, aby pobudzić nasz metabolizm. Żadne zaopatrzenie w zasoby naturalne nie jest tak istotne dla naszego przetrwania: czas trwania znośnego dobrowolnego bezdechu (zaprzestania oddychania) jest różny, ale jeśli nigdy nie nauczyłeś się przedłużać okresy bezdechu, przekonasz się, że możesz wytrzymać nawet 30 sekund i zwykle nie dłużej niż około minuty lub

więc. Być może czytałeś o freedivingu, w którym mężczyźni i kobiety ryzykują życiem, wstrzymując oddech i nurkując, bez żadnego aparatu oddechowego, tak głęboko, jak mogą znieść (z pletwami lub bez), lub o zawodach na bezdechu statycznym, w których zawodnicy leżą nieruchomo kałużą wody i wstrzymają oddech. Ten ostatni rekord dla mężczyzn wynosi prawie 12 minut, dla kobiet 9 minut, podczas gdy hiperwentylacja czystym tlenem do pół godziny przed próbą podwaja czas bezdechu do ponad 24 minut dla mężczyzn i 5 18½ minuty dla kobiet.

To uchodzi za sport w XXI wieku, mimo że komórki mózgowe zaczynają obumierać w ciągu pięciu minut od niedotlenienia mózgu, a tylko nieco dłuższy okres może spowodować poważne uszkodzenia lub śmierć. **W końcu tlen jest najostrzejszym zasobem, który ogranicza ludzkie przetrwanie.** Nasz gatunek, podobnie jak wszystkie inne chemoheterotrofy (organizmy, które nie potrafią wewnętrznie wytwarzać własnego pożywienia), wymaga jego stałej podaży. Spoczynkowa częstotliwość oddychania wynosi 12-20 wdechów na minutę, a dzienne spożycie osoby dorosłej na osobę wynosi średnio prawie 1 kilogram O₂. **6** Dla światowej populacji oznacza to roczne spożycie około 2,7 miliarda ton tlenu rocznie, zupełnie nieznaczną część (0,00023 procent) atmosferycznej obecności pierwiastka wynoszącą około 1,2 biliarda ton O₂ – a wydychany CO₂ jest chętnie wykorzystywany przez rośliny fotosyntetyzujące.

Początki natlenionej atmosfery sięgają tego, co się stało znany jako Wielkie Wydarzenie Utleniające, które rozpoczęło się około 2,5 miliarda lat temu. **7** W tym okresie zatrzymano dla się tlenową atmosferę przesuniętą w kierunku swoje współczesne stężenia. W ciągu ostatnich 500 milionów lat poziomy tlenu atmosferycznego podlegały znacznym wahaniom, osiągając od około 15% do 35%, zanim spadły do prawie 21% objętości ziemskiej atmosfery. **8** Oprócz tego, że nie ma absolutnie żadnego niebezpieczeństwa, że ludzie lub zwierzęta znacznie obniżą ten poziom poprzez oddychanie, nie ma również niebezpieczeństwa pożaru, którego największe możliwe do wyobrażenia spalenie (szybkie utlenianie) roślin na Ziemi.

Masa roślin lądowych Ziemi zawiera około 500 miliardów ton węgla i nawet gdyby całość (wszystkie lasy, łąki i uprawy) została spalona na raz, taka mega-pożoga pochłonęłaby tylko około 0,1 proc., latem 2019 roku, kiedy w atmosferze jest dużo tlenu.

płonęły obszary amazońskiego lasu deszczowego, media i politycy próbowały przestraszyć niepiśmienne masy, by uwierzyły, że świat zacznie się dusić. Jeden z wielu, 22 sierpnia 2019 r. prezydent Francji Emmanuel Macron napisał na Twitterze: [10](#)

Nasz dom płonie. Dosłownie. Amazoński las deszczowy — płuca, które wytwarzają 20% tlenu na naszej planecie — płonie. To kryzys międzynarodowy. Członkowie szczytu G7, porozmawiamy o tym nadzwyczajnym pierwszym zamówieniu za dwa dni!

W ciągu dwóch dni (a nawet dwóch miesięcy) nie było żadnego nadzwyczajnego szczytu G7: a dobrze, jakby to mogło wszystko naprawić! i świat oddycha. W zależności od tego, gdzie znajdujesz się na tej konkretnej skali osądów, celowe spalenie amazońskiego lasu deszczowego jest albo wysoce godną pożąowania i całkowicie błędna polityką, albo niewybaczalną zbrodnią przeciwko biosferze – ale wiedz, że nie jest to czyn, który pozbawi planetę jego tlen.

Ta dezinformacja ilustruje również znacznie szerszy problem – a mianowicie, dlaczego nie polegamy na dobrze ugruntowanych faktach naukowych, a zamiast tego pozwalamy, aby różne tweety napędzały opinię publiczną? Oceny środowiska są być może nawet bardziej podatne na nieuzasadnione uogólnianie, stronniczą interpretację i jawną dezinformację niż te dotyczące produkcji energii i żywności. Należy potępić tę tendencję i jej się przeciwstawić: nie odniesiemy sukcesu, jeśli nasze działania będą oparte na mitach i dezinformacji. Trzeba przyznać, że nauka leżąca u podstaw jest często złożona i wiele werdyktów jest niepewnych, a stanowcze osady są niewskazane – ale nie w tym konkretnym przypadku.

Najwyraźniej płuca nie produkują tlenu, tylko go przetwarzają: funkcją płuc jest umożliwienie wymiany gazowej, gdy atmosferyczny O₂ dostaje się do krwioobiegu, a CO₂, najbardziej obszerny gazowy produkt emisji zanieczyszczenia związków przenoszących tlenu, katalizatorami działań ludzkiej zapotrzebowanie od ogólnego spożycia. Najlepszym sposobem, aby to sprawdzić, jest całkowite pomostowanie krążenia i płuc, kiedy krążenie w płucach jest tymczasowo oddzielone od ogólnoustrojowego przepływu krwi: pokazuje to, że płuca zużywają około 5 procent całkowitego tlenu, który wdychamy.

[11](#) I chociaż drzewa amazońskie, jak wszystkie rośliny lądowe, produkują O₂ podczas dziennej fotosyntezy, to – znowu, podobnie jak każdy inny organizm fotosyntetyzujący – zużywają praktycznie cały ten tlen.

czas oddychania nocnego, proces, który wykorzystuje fotosyntezę do produkcji energii i związków potrzebnych do wzrostu roślin.¹²

Co roku pochłaniane jest co najmniej 300 miliardów ton tlenu i podobna ilość ¹³ uwalniane przez fotosyntezę lądową i morską, jak również znacznie ~~Przepływy atmosferyczne~~ wynikające z pochówku i utleniania materii organicznej, nie są idealnie zrównoważone w ujęciu dziennym lub sezonowym, ale w dłuższej perspektywie nie mogą być zbyt odległe, w przeciwnym razie mielibyśmy znaczne zyski lub straty netto element. Zamiast tego obecność atmosferyczna tlenu była niezwykle stabilna. Obrazy płonących lasów amazońskich, australijskich zarośli, kalifornijskich zboczy czy syberyjskiej tajgi nie są złowieszczy mi zwiastunami atmosfery pozbawionej gazu, który musimy wdychać co najmniej kilkanaście razy na minutę.

¹⁴ Ogromne pożary lasów są destrukcyjne i szkodliwe pod wieloma względami, ale nie udusią nas z powodu braku tlenu.

Czy wystarczy nam wody i jedzenia?

W przeciwieństwie do tego, zapewnienie drugiego pod względem pilnie wymaganego wkładu naturalnego powinno znajdować się bardzo wysoko na naszej liście problemów środowiskowych – i to nie dlatego, że istnieje absolutny niedobór tego krytycznego zasobu, ale dlatego, że jest on nierównomiernie rozłożony i ponieważ nie zarządzamy nim dobrze. A to mało powiedziane — ogromnie marnujemy wodę i do tej pory powoli wprowadzaliśmy wiele skutecznych zmian, które odwróciłyby niepożądane nawyki i trendy. Jak zobaczymy, zaopatrzenie w wodę jest zatem doskonałym przykładem niemal powszechnie niewłaściwie zarządzanego zasobu, z dodatkową komplikacją wysoce nierówny dostęp.¹⁵

Przynajmniej nie musimy pić tak często, jak oddychamy, kilkanaście razy na minutę, nawet kilkanaście razy dziennie – ale dostarczanie odpowiedniej ilości wody pitnej (co w zależności od płci, wieku, wielkości ciała, otoczenia), temperatura, a wyłączając ekstremalne aktywności, wynosi przeważnie od 1,5 do 3 litrów dziennie) jest kwestią podstawowego przetrwania. ¹⁶ Brak nawodnienia ~~pozostaje jedynie na przestrzeni dni~~ staje się niebezpieczny, przez trzy dni zwykle kończy się śmiercią. Poza tą egzystencjalną koniecznością, przekładającą się na średnio około 750 kilogramów (lub litrów, lub 0,75 metrów sześciennych) wody na mieszkańca rocznie, istnieje kilka innych – i znacznie bardziej obszernych – potrzeb związanych z wodą: do higieny osobistej, gotowania i prania (nawet bez toalety w pomieszczeniu, te

kategorie sumują się do minimum 15–20 litrów dziennie, czyli około 7 metrów sześciennych rocznie), na działalność produkcyjną, a przede wszystkim na uprawę żywności. [17](#) —

Różne sektory użytkowania wody (rolnictwo, wytwarzanie energii cieplnej, przemysł ciężki, lekka produkcja, usługi, gospodarstwo domowe) i różne kategorie wody komplikują porównania międzynarodowe i krajowe.

Niebieska woda obejmuje opady deszczu dostające się do rzek, zbiorników wodnych i zbiorników wód gruntowych, które zostają włączone do produktów lub wyparują; zielony ślad wodny odpowiada za wodę pochodząą z opadów atmosferycznych, która jest magazynowana w glebie, a następnie odparowywana, transpirowana lub włączana przez rośliny; szara woda obejmuje całą słodką wodę wymaganą do rozcieńczenia zanieczyszczeń w celu spełnienia określonych norm jakości wody.

Dlatego właśnie krajowe zużycie na mieszkańca jest najlepszym (najbardziej wyczerpującym) sposobem oceny śladu wodnego: dodaje składniki wody zielonej, niebieskiej i szarej, a także całą wodę wirtualną (wodę, która była potrzebna do wzrostu lub produkcji importowanej żywności). i wyprodukowanych towarów).

[18](#)

Krajowe zużycie niebieskiej wody (wszystkie wartości podane są w metrach sześciennych rocznie na mieszkańca) waha się od nieco ponad 29 w Kanadzie i 23 w USA do około 11 we Francji, 7 w Niemczech i około 5 w Chinach i Indiach oraz poniżej 1 na wielu [19](#) Całkowity ślad Kraje afrykańskie. Wodny krajowego zużycia odzwierciedla określony udział wody zużywanej w rolnictwie (oczywiście najwyższy w krajach o ekstensywnym nawadnianiu) i produkcji przemysłowej. W rezultacie gospodarki o bardzo różnych klimatach i konsumpcji sektorowej – Kanada i Włochy, Izrael i Węgry – mają podobne sumy konsumpcji (we wszystkich tych przypadkach od 2300 do 2400 metrów sześciennych/rok/mieszkańca). Import żywności zawiera znaczne ilości zielonej wody, a zatem dwa kraje o największej zależności od importowanej żywności – Japonia, Korea Południowa – są również największymi użytkownikami wirtualnej wody.

Nic dziwnego, że woda odgrywa kluczową rolę w ogólnokrajowych gospodarkach oraz w szczególności w produkcji żywności, zaowocowało wieloma kompleksowymi ocenami jej dostępności, wystarczalności, niedoboru i podatności. Na początku XXI wieku populacje ubogie w wodę liczyły zaledwie 1,2 miliarda do 4,3 miliarda — czyli od 20 do 70 procent całej ludzkości.

[20](#) Podobnie, w drugiej dekadzie XXI wieku dwie różne miary niedoboru wody wskazywały, że dotkniete nim populacje liczyły od 1,6 do 2,4 miliarda ludzi.

[21](#) Biorąc pod uwagę te główne różnice w

W obecnych ocenach niemożliwe jest przedstawienie wniosków na temat przyszłości, które dadzą się mocno obronić.

Istnieje również wiele niepewności dotyczących przyszłego zaopatrzenia w żywność.

Żadna inna działalność człowieka nie zmieniła ekosystemów Ziemi w większym stopniu niż produkcja żywności. Już teraz stanowi około jednej trzeciej niezlodowaconej powierzchni planety, a dalsze uderzenia są nieuniknione. łączna powierzchnia przeznaczona na produkcję żywności ²² jest The obecnie ponad dwukrotnie większa niż sto lat temu, ale we wszystkich zamożnych gospodarkach grunty pod uprawę albo ustabilizowały się, albo nieco się zmniejszyły, podczas gdy ogólny globalny wzrost nowych gruntów rolnych znacznie zwolnił.

23 Biorąc pod uwagę wciąż

wysokie wskaźniki żywności kontynentu, dalsza ekspansja ziem uprawnych będzie nieunikniona w Afryce, ale tylko ograniczone rozszerzenia powinny mieć miejsce w większości Azji, podczas gdy w Europie, Ameryce Północnej i Australii (z nadmierną produkcją żywności i starzejącymi się populacjami) powinien nastąpić dalszy spadek powierzchni gruntów uprawnych.

Ilość gruntów wykorzystywanych do produkcji żywności mogłaby zostać zmniejszona dzięki połączenie lepszych praktyk rolniczych, zmniejszenie marnotrawstwa żywności i powszechnie przyjęcie umiarkowanego spożycia mięsa. Jak już wyjaśniono w rozdziale 2, powrót do rolnictwa przedprzemysłowego jest nie do pomyślenia w świecie prawie 8 miliardów ludzi, ale uzyskanie wyższych plonów przy istniejących nakładach (intensyfikacja rolnictwa) jest zgodne z długotrwałą tendencją, a eliminacja wielu marnotrawnych praktyk może wyższe plony nawet przy zmniejszonym zużyciu nawozów lub pestycydów. Przekonująca, trwająca dekadę (2005–2015) demonstracja na dużą skalę obejmowała prawie 21 milionów rolników uprawiających około jednej trzeciej ziem uprawnych w Chinach: byli w stanie podnieść plony podstawowych zbóż o 11% przy jednoczesnym zmniejszeniu stosowania azotu na hektar o 15–18 proc.

24

Jeśli ziemia nie jest zasobem ograniczającym i jeśli mamy know-how, jak zarządzać zaopatrzenie w wodę, jakie są perspektywy dostarczania makroskładników, których potrzebują nasze uprawy, przy jednoczesnym ograniczeniu wpływu na środowisko stosowania azotu i fosforu? Jak już wyjaśniono, synteza amoniaku Habera-Boscha umożliwiła dostarczenie reaktywnej formy azotu, wiodącego makroskładnika, w dowolnej pożąданej ilości. ilości dwóch makroskładników mineralnych, potasu i fosforu. US Geological Survey szacuje zasoby ²⁵ mazuryka w miliardach ton odpowiednio

Ekwiwalent K₂O (tlenek potasu); rezerwy są o połowę mniejsze, a przy obecnym tempie wydobycia zapasy te wystarczyłyby na prawie 90 lat.

[26](#)

W ciągu ostatnich 50 lat pojawiały się okresowe komentarze o zbliżających się niedoborach fosforu, niektóre nawet podnoszący nieuchronność głodu w ciągu dziesięcioleci. [27](#) Obawy o marnowanie ograniczonych zasobów są zawsze uzasadnione, ale nie ma nieuchronnego kryzysu fosforowego.

Według Międzynarodowego Centrum Rozwoju Nawozów światowe rezerwy i zasoby fosforytu są wystarczające do zaspokojenia zapotrzebowania na nawozy [28](#) The US zasoby fosforytów na ponad 300 lat. [29](#) Według International Fertilizer Survey Organization, światowa produkcja fosforu wynosiła w 2010 roku 1000 Mton rocznie, co daje czas na ponad 1000 lat. obecnym tempie wydobycia.

Stowarzyszenie Przemysłu Nawozowego „nie wierzy, że szczytowy poziom fosforu jest pilną kwestią lub że ubytek fosforytu jest nieuchronny”. [30](#)

Prawdziwym problemem związanym z roślinnymi składnikami odżywczymi są środowiskowe (a zatem ekonomiczne) konsekwencje ich niepożądanej obecności w środowisku, głównie w wodzie. Fosfor z nawozów jest tracony w wyniku erozji gleby i spływu opadów atmosferycznych i jest uwalniany w odpadach wytwarzanych przez zwierzęta domowe. [31](#) Pojedyncza woda (czy to słodka, czy oceaniczna) zwykle ma bardzo niskie stężenie tego pierwiastka, jego dodatki prowadzą do eutrofizacji, czyli wzbogacania wód w ubogie wcześniej składniki odżywcze, co skutkuje nadmiernym wzrostem glonów.

[32](#) Straty azotu z nawożonych pól uprawnych (oraz odchodów zwierzęcych i ludzkich) również powodują eutrofizację, ale fotosynteza wodna jest bardziej wrażliwa na dodawanie fosforu. Ani wstępne oczyszczanie ścieków (sedimentacja usuwa 5-10% fosforu), ani wtórne (filtracja wychwytuje 10-20%) nie zapobiegają eutrofizacji, ale fosfor można usunąć za pomocą koagulantów lub procesów mikrobiologicznych, a następnie przekształcić w kryształy i ponownie wykorzystać jako nawóz. [33](#) Jak już wyjaśniono, ogólnoswiatowa efektywność pobierania azotu przez

rośliny

spadła do mniej niż 50 procent, a w Chinach i Francji poniżej 40 procent. W połączeniu z fosforem rozpuszczalne związki azotu zanieczyszczają wody i wspomagają nadmierny wzrost glonów. Rozkładające się glony zużywają tlen rozpuszczony w wodzie morskiej i tworzą wody pozbawione tlenu (beztlenowe), w których ryby i skorupiaki nie mogą przetrwać. Te zubożone w tlen strefy są widoczne wzdłuż wschodnich i południowych wybrzeży Stanów Zjednoczonych [34](#) Nie ma łatwych stanów i wzdłuż wybrzeży w Europie, i szybkie rozwiązania tych wpływów na środowisko. Lepszy Chinach i Japonii. niedrogie

Zarządzanie agronomiczne (zmianowanie upraw, dzielone stosowanie nawozów w celu zminimalizowania ich strat) jest niezbędne, a zmniejszenie spożycia mięsa byłoby najważniejszą zmianą, ponieważ zmniejszyłoby zapotrzebowanie na produkcję zboż paszowych – ale Afryka Subsaharyjska będzie potrzebowała znacznie więcej azotu i fosforu, jeśli ma uniknąć chronicznego uzależnienia od importu żywności.

A każda długoterminowa ocena trzech egzystencjalnych potrzeb — tlenu atmosferycznego, dostępności wody i produkcji żywności — musi uwzględnić, jak na ich zaopatrzenie może wpływać postępujący proces zmiany klimatu, stopniowa transformacja, która odciśnie piętno na biosferze w niezliczone sposoby: skutki wykraczają daleko poza wyższe temperatury i podnoszący się poziom oceanów, dwie zmiany, o których najczęściej wspominają media. Nie będę wracał do długiej listy przewidywanych skutków, od upalających miast po wzroszające się oceany, od wyschniętych upraw po topnienie lodowców. Czyniono to, zarówno w sposób wyważony, jak i histeryczny, zbyt wiele razy.

Zamiast tego przyjmę podejście utylitarne – i nieortodoksyjne. Zacznę od wyjaśnianie życiodajnej konieczności efektu cieplarnianego, bez którego powierzchnia Ziemi byłaby trwale zamarznięta i który mimowolnie został wzmocniony przez kombinację działań – przy czym spalanie paliw kopalnych jest najważniejszym motorem antropogenicznego globalnego ocieplenia. Następnie wyjaśnię, w jaki sposób, wbrew powszechnemu przekonaniu, współczesna nauka rozpoznała to zjawisko ponad sto lat temu, jak ignorowaliśmy jasno określone potencjalne zagrożenia dla pokoleń, jak dotychczas nie chcieliśmy angażować się w jakiekolwiek skuteczne działania zmienić kurs globalnego ocieplenia – i jak niezwykle trudna byłaby taka zmiana.

Dlaczego Ziemia nie jest trwale zamarznięta

Jak widzieliśmy w pierwszym rozdziale, obfitość paliw kopalnych i ich coraz bardziej wydajna konwersja były dominującymi stymulatorami współczesnego wzrostu gospodarczego, przynosząc nam korzyści w postaci dłuższej i bogatszego życia, ale także obawy o długoterminowe skutki Emisje CO₂ na globalny klimat (powszechnie określane jako globalne ocieplenie). Prosta fizyka wyjaśnia nasze obawy dotyczące środowiskowych konsekwencji ocieplenia planety. Za bardzo martwi nas coś, bez czego nie moglibyśmy żyć: efekt cieplarniany. Tym egzystencjalnym imperatywem jest kilkukrotna regulacja temperatury atmosferycznej Ziemi

gazy śladowe – przede wszystkim dwutlenek węgla (CO_2) i metan (CH_4).

W porównaniu z dwoma gazami, które stanowią większość atmosfery (azot w 78 procentach, tlen w 21 procentach), ich obecność jest znikoma (niewielkie ułamki procenta), ale ich efekt sprawia, że różnica między martwą, zamrożoną planetą a niebieską ziemią.³⁵

Atmosfera ziemska pochłania nadchodzące (krótkie fale) promieniowanie słoneczne i promieniaje (długie fale) w kosmos. Bez niego temperatura Ziemi wynosiłaby -18 °C, a co za tym idzie powierzchnia naszej planety byłaby wiecznie zamrożona. Gazy śladowe zmieniają bilans promieniowania planety, pochłaniając część wychodzącego promieniowania (podczerwonego) i podnosząc temperaturę powierzchni. Pozwala to na istnienie wody w stanie ciekłym, której parowanie wprowadza do atmosfery parę wodną (inny gaz, który pochłania wychodzące podczerwone, niewidzialne fale). Ogólny wynik jest taki, że temperatura powierzchni Ziemi jest o 33°C wyższa niż byłaby przy braku śladowych gazów i pary wodnej, a średnia globalna temperatura 15°C podtrzymuje życie w wielu jego formach.

Nazywanie tego naturalnego zjawiska „efektem cieplarnianym” jest mylącą analogią, ponieważ ciepło wewnętrz szklarni występuje nie tylko dlatego, że szklana obudowa uniemożliwia ulatnianie się części promieniowania podczerwonego, ale także dlatego, że odcina cyrkulację powietrza. Natomiast naturalny „efekt cieplarniany” jest spowodowany wyłącznie przechwyceniem niewielkiej części wychodzącego promieniowania podczerwonego przez gazy śladowe, podczas gdy globalna atmosfera pozostaje w ciągłym, niezakłóconym i często gwałtownym ruchu. Para wodna jest zdecydowanie najważniejszym pochłaniaczem promieniowania wychodzącego, a zatem to właśnie gaz odpowiadał za większość ocieplenia atmosfery w przeszłości i tak pozostanie w przyszłości. Para wodna jest głównym generatorem naturalnego efektu cieplarnianego, ale para wodna nie jest przyczyną ocieplenia atmosfery, ponieważ nie kontroluje temperatury atmosferycznej. W rzeczywistości jest odwrotnie: zmieniająca się temperatura określa, ile wody może być obecne jako gaz (wilgotność powietrza wzrasta wraz ze wzrostem temperatury) i jak bardzo kondensuje się w ciecz (kondensacja wzrasta wraz ze spadkiem temperatury).

Naturalne ocieplenie Ziemi jest kontrolowane przez gazy śladowe, na których stężenie nie ma wpływu temperatura otoczenia — to znaczy nie kondensują się i nie wytrącają wraz ze spadkiem temperatury. Jednak stosunkowo niewielkie ocieplenie, które powodują, zwiększa parowanie i zwiększa stężenie wody w atmosferze, a to sprzężenie zwrotne powoduje dodatkowe ocieplenie. Naturalny

Efekt gazu śladowego zawsze był zdominowany przez dwutlenek węgla (CO₂), z mniejszym udziałem metanu (CH₄), podtlenku azotu (N₂O) i ozonu (O₃) – tego ostatniego znanego wielu dzięki warstwie ozonowej o tej samej nazwie.

Działania człowieka zaczęły wpływać na stężenie kilku gazów śladowych – tworząc dodatkowy, wytworzony przez człowieka (antropogeniczny) efekt gazów cieplarnianych – tysiące lat temu, gdy tylko osiadłe społeczeństwa przyjęły rolnictwo i zaczęły używać drewna (i wytwarzanego z niego węgla drzewnego). w gospodarstwach domowych oraz przy wytopie metali i produkcji cegieł i płyt. Przekształcenie lasów w pola uprawne spowodowało uwalnienie dodatkowego CO₂, a uprawa ryżu na zalanych polach

wyprodukował dodatkowy CH₄ [36](#)

Jednak wpływ tych antropogenicznych emisji stał się znaczący dopiero wraz ze wzrostem tempa industrializacji. Rosnące emisje CO₂, które powodują przyspieszony antropogeniczny efekt gazów cieplarnianych, są napędzane przede wszystkim spalaniem paliw kopalnych i produkcją cementu.

Emisje metanu (z pól ryżowych, wysypisk, bydła i produkcji gazu ziemnego) oraz podtlenku azotu (pochodzącego głównie z rosnącego stosowania nawozów azotowych) to inne ważne antropogeniczne źródła gazów cieplarnianych. Rekonstrukcje ich dawnych stężeń atmosferycznych pokazują nagły wzrost spowodowany uprzemysłowieniem.

Przez stulecia przed 1800 r. poziom CO₂ wahał się wąsko i sięgał blisko 270 części na milion (ppm) – czyli 0,027 procent objętości. Do 1900 r. nieznacznie wzrosły do 290 ppm, sto lat później wynosiły prawie 375 ppm, a latem 2020 r. wzrosły powyżej 420 ppm, co stanowi ponad 50-procentowy wzrost w stosunku do poziomu z końca XVIII wieku. [37](#) Przedindustrialne poziomy metanu były o trzy rzędy wielkości niższe —mniej niż 800 części na miliard (ppb) — ale wzrosły ponad dwukrotnie, do prawie 1900 ppb do 2020 r., podczas gdy podtlenek azotu [38](#) Stężenia tych gazów wzrosły z około 270 ppb do ponad 300 stron na minutę. pochłaniają promieniowanie różnym stopniu: porównując ich wpływy w okresie 100 lat, uwolnienie jednostki CO₂ ma skutek jak uwolnienie 28–36 jednostek CO₂; dla N₂O mnożnik wynosi od 265 do 298. Garść nowych gazów przemysłowych wytwarzanych przez człowieka — przede wszystkim chlorofluorowęglowodory (CFC, w przeszłości stosowane w chłodnictwie) i SF₆ (doskonały izolator stosowany w sprzęcie elektrycznym) — wywiera znacznie silniejszy efekt, ale na szczęście są one obecne tylko w znikomych stężeniach i

produkcja freonów została stopniowo zakazana przez protokół montrealski z 1987 roku.³⁹ CO₂ (głównie emitowany ze spalania paliw kopalnych, przy czym wylesianie jest

inne główne źródło) odpowiada za około 75 procent antropogenicznych ⁴⁰ Efekt ocieplenia, CH₄ za około 15 procent, a reszta to głównie N₂O. ciągły wzrost emisji gazów cieplarnianych doprowadzi w końcu do temperatur wystarczająco wysokich, aby spowodować wiele negatywnych skutków dla środowiska, generując znaczne koszty społeczne i gospodarcze. Wbrew powszechnemu wrażeniu nie jest to niedawny wniosek wynikający z lepszego zrozumienia, jakie zapewniają złożone modele zmian klimatu wykonywane przez superkomputery. Wiedzieliśmy o tym nie tylko na długo przed wprowadzeniem pierwszych modeli globalnej cyrkulacji atmosferycznej (prekursorów wszystkich symulacji globalnego ocieplenia) pod koniec lat 60., ale na generacje przed zbudowaniem pierwszych komputerów elektronicznych.

Kto odkrył globalne ocieplenie?

Jeśli zajrzesz do Google Ngram Viewer pod kątem pojawienia się „globalnego ocieplenia”, odkryjesz, że przed 1980 rokiem wirtualnie nie było tego wyrażenia, po którym nastąpił gwałtowny wzrost częstotliwości, czterokrotnie większy w ciągu dwóch lat przed 1990 rokiem. „Odkrycie” dwutlenku węgla – wywołane globalnym ociepleniem przez media, opinię publiczną i polityków pojawiło się w 1988 r., zachęcone ciepłym latem w Ameryce i ustanowieniem Międzynarodowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC), przez Program Ochrony Środowiska ONZ (UNEP) i Światową Organizację Meteorologiczną (WMO). Doprowadziło to do wciąż rosnącej liczby artykułów naukowych, książek, konferencji, badań think tanków i raportów przygotowywanych przez rządy i organizacje międzynarodowe, w tym okresowych najnowszych recenzji IPCC.

Do 2020 r. wyszukiwanie w Google zwróciło ponad miliard pozycji dla hasła „global ocieplenie” i „globalna zmiana klimatu” – ta częstotliwość jest o rzad wielkości wyższa niż w przypadku modnych ostatnio wiadomości, takich jak „globalizacja” czy „nierówność ekonomiczna” lub takich egzystencjalnych wyzwań, jak „ubóstwo” i „niedożywienie”. Co więcej, niemal od samego początku zainteresowania mediów tym złożonym procesem, relacje o globalnym ocieplaniu obfitują w słabo komunikowane fakty, wątpliwe interpretacje,

i złowieszcze przepowiednie, az czasem zdecydowanie nabrała wyraźnie bardziej histerycznego, a nawet wręcz apokaliptycznego smaku.

Niedoinformowani obserwatorzy musieliby dojść do wniosku, że te ostrzeżenia o rozwijającej się globalnej katastrofie odzwierciedlają najnowsze odkrycia naukowe oparte na połączeniu wcześniej niedostępnych obserwacji satelitarnych i prognoz wykorzystujących złożone globalne modele klimatyczne, których wykonanie było możliwe dzięki wzrostowi mocy obliczeniowej . Ale chociaż nasze najnowsze monitorowanie i modelowanie są z pewnością bardziej zaawansowane, nie ma nic nowego ani w naszym zrozumieniu efektu cieplarnianego, ani o konsekwencjach stale rosnącej emisji gazów cieplarnianych: w zasadzie jesteśmy tego świadomi od ponad 150 lat , w sposób jasny i jednoznaczny przez ponad sto lat!

Kilka lat przed śmiercią Joseph Fourier (1768-1830), francuski matematyk, był pierwszym naukowcem, który zdał sobie sprawę, że atmosfera pochłania część promieniowania emitowanego z ziemi; aw 1856 roku Eunice Foote, amerykański naukowiec i wynalazca, była pierwszą autorką, do której się połączyła (krótko, ale wyraźnie) CO₂ z globalnym ociepleniem.⁴¹ Pięć lat później angielski fizyk John Tyndall (1820-1893) wyjaśnił, że para wodna jest najważniejszym pochłaniaczem promieniowania wychodzącego, co oznacza, że „każda odmiana tego składnika musi powodować zmianę klimatu” – i dodał że „podobne uwagi miałyby zastosowanie do kwasu węglowego dyfundowanego w powietrzu”.⁴²

Zwięzłe, ale jasne, przeformuowane we współczesnym języku mówi: wzrost stężenia CO₂ musi powodować wzrost temperatury atmosferycznej.

Było to w 1861 roku, a przed końcem wieku Svante Arrhenius (1859-1927), szwedzki chemik i wczesny Nobel, opublikował pierwsze obliczenia wzrostu globalnej temperatury powierzchni wynikającej z ewentualnego podwojenia przedustrialnej atmosfery CO₂ .⁴³ Jego artykuł zauważał również, że globalne ocieplenie będzie najmniej odczuwalne w tropikach, a najbardziej w regionach polarnych, oraz że zmniejszy różnice temperatur między nocą a dniem. Oba te wnioski zostały potwierdzone. Arktyka nagrzewa się szybciej, ale najprostsze wyjaśnienie (wraz z topnieniem śniegu i lodu udział promieniowania odbitego gwałtownie spada, co prowadzi do większego ocieplenia) to tylko część złożonego procesu, który obejmuje zmiany w chmurach i parze wodnej oraz energii transport na bieguny przez duże systemy pogodowe.⁴⁴

Temperatury w nocy rosną szybciej niż średnie w ciągu dnia, głównie dlatego, że warstwa graniczna (atmosfera tuż nad ziemią) jest

bardzo cienka – zaledwie kilkaset metrów – w nocy, w porównaniu do kilku kilometrów w dzień, dlatego jest bardziej wrażliwa na ocieplenie.

[45](#)

W 1908 r. Arrhenius przedstawił dość dokładne oszacowanie wrażliwości klimatu, miary globalnego ocieplenia wynikającego z podwojenia atmosferycznego poziomu CO₂: „Każde podwojenie zawartości procentowej dwutlenku węgla w powietrzu podniosłoby temperaturę powierzchni Ziemi o 4 oC.” [46](#) W latach 1957-1961, czyli dekady przed nagłym wzrostem zainteresowania globalnym ociepleniem, Roger Revelle, amerykański oceanograf i Hans Suess, fizykochemik, ocenili proces spalania paliw kopalnych na masową skalę we właściwych kategoriach ewolucyjnych: istoty przeprowadzają teraz na dużą skalę geofizyczne eksperymenty, które nie mogłyby mieć miejsca w przeszłości ani być odtworzone w przyszłości. W ciągu kilku stuleci wracamy do atmosfery i oceanów skoncentrowany węgiel organiczny zmagały się w skałach osadowych przez setki milionów lat”.

[47](#)

Nie wyobrażam sobie, jakie inne sformułowanie mogłoby lepiej oddać bezprecedensowy charakter tej nowej rzeczywistości. Zaledwie rok później, w odpowiedzi na tę obawę, pomiary stężeń CO₂ w tle rozpoczęły się na Mauna Loa na Hawajach i na Biegunie Południowym i natychmiast wykazały stały i dość przewidywalny roczny wzrost, z 315 ppm w 1958 do 480 ppm w 1979 r. raport National Research Council z 1985 roku, który podał, że 1,5% wzrostu wrażliwości klimatu oznacza, że szacunki przedstawione przez Arrheniusa w 1908 r. dobrze mieściły się w tym zakresie.

[48](#)

Pod koniec lat 80. „odkrycie” globalnego ocieplenia wywołanego przez dwutlenek węgla nastąpiło ponad sto lat po tym, jak Foote i Tyndall wyjaśnili ten związek, prawie cztery pokolenia po tym, jak Arrhenius opublikował dobre ilościowe oszacowanie możliwego efektu globalnego ocieplenia, ponad jedno pokolenie. po tym, jak Revelle i Suess ostrzegli przed bezprecedensowym i niepowtarzalnym eksperymentem geofizycznym na całej planecie, a dekadę po współczesnym potwierdzeniu wrażliwości klimatycznej. Najwyraźniej nie musieliszy czekać na nowe modele komputerowe ani na powstanie międzynarodowej biurokracji, aby zdać sobie sprawę z tej zmiany i zastanowić się nad naszymi reakcjami.

To, jak niewiele fundamentalnej różnicy dokonały te wysiłki, jest chyba najlepsze zilustrowane najnowszymi szacunkami kluczowego miernika globalnego ocieplenia, wrażliwości klimatycznej. Piąty raport IPCC z oceny, opublikowany ponad sto lat po tym, jak Arrhenius zaoferował wartość 4°C, stwierdził, że jest to

bardzo mało prawdopodobne, że czułość jest mniejsza niż 1°C i bardzo mało prawdopodobna, że jest powyżej 6°C, z prawdopodobnym zakresem między 1,5°C a 4,5°C, podobnie jak 50. W Council z 1979 r. ocena wrażliwości klimatu Ziemi (przy 2010 r. ~~wielokrotnie dalszych~~) al Research

zawężenie najbardziej prawdopodobnej odpowiedzi do wartości między 2,6°C a 3,9°C. 51 Oznacza to wrażliwość klimatu jest bardzo mało prawdopodobna, aby była tak niska, że mogłaby zapobiec znaczemu ocieplieniu (powyżej 2°C) do czasu, gdy stężenie atmosferycznego CO₂ wzrośnie do około 560 ppm, czyli dwa razy w stosunku do poziomu przedustrialnego.

A jednak jak dotąd jedyne skuteczne, znaczące kroki w kierunku dekarbonizacji nie pochodząły z żadnej zdecydowanej, celowej, ukierunkowanej polityki. Były raczej produktami ubocznymi ogólnego postępu technicznego (wyższa wydajność konwersji, większa produkcja energii jądrowej i wodnej, mniej odpadów w procesach przetwarzania i wytwarzania) oraz ciągłych zmian w produkcji i zarządzaniu (przejście z węgla na gaz ziemny; częściej, mniej energii -intensywny, materiałowy recykling), którego inicjacja i postęp nie miały nic wspólnego z dążeniem do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych 52 I, jak już wspomniano, z globalnym wpływem niedawnego przełomu emisji. w kierunku dekarbonizacji wytwarzania energii elektrycznej – poprzez instalowanie paneli fotowoltaicznych i turbin cieplarnianych w ~~Wielu myślą o zatrudnieniu i ekologiczności~~ 53. W tym samym czasie, kiedy zanegowane przez szybki wzrost emisji gazów

Tlen, woda i jedzenie w cieplejszym świecie

Wiemy, na czym stoimy. Ze względu na rosnące stężenie gazów cieplarnianych planeta od pokoleń emituje nieco mniej energii, którą otrzymuje ze Słońca. Do 2020 r. wartość netto tej różnicy wynosiła około 2 watów na metr kwadratowy w porównaniu z wartością bazową z 1850 r. 53 Ponieważ oceany mają ogromną zdolność pochłaniania ciepła atmosferycznego, podniesienie średniej temperatury niższych warstw atmosfery o znaczny margines zajmuje dużo czasu. Pod koniec 2010 roku, po kilku stuleciach przyspieszonego spalania paliw kopalnych, średnia temperatura na globalnych powierzchniach lądowych i oceanicznych była prawie o 1°C wyższa od średniej z XX wieku. Zostało to udokumentowane na wszystkich kontynentach, ale nie zostało ono równomiernie rozłożone: jak słusznie przewidział Arrhenius, wyższe szerokości geograficzne odnotowały znacznie większy średni wzrost niż w średnich szerokościach geograficznych lub w tropikach.

Pod względem średniej światowej, pięć najcieplejszych lat w ciągu ostatnich 140 lat wydarzyło się od 2015 r., a 9 z 10 najcieplejszych lat minęło [54](#). Odnotowano 2005 r. globalne zmiany, ~~począwszy od końca XIX wieku i dalej do dzisiaj~~ [55](#) wcześniejszych roczników francuskich win po niepokojące nowe rekordy temperatur [55](#) A podczas letnich upałów i topnienia lodowców wysokogórskich. (nic dziwnego, biorąc pod uwagę gry z wieloma modelami komputerowymi) istnieje obecnie jeszcze obszerniejsza literatura przewidująca, co ma nadzieję. Wracając więc do trzech egzystencjalnych podstaw, jakie są perspektywy zaopatrzenia w tlen, wodę i żywność na cieplejszej Ziemi?

Na stężenie tlenu w atmosferze nie mają wpływu żadne niewielkie zmiany temperatury spowodowane gazami cieplarnianymi, ale nieznacznie spada z powodu głównej antropogenicznej przyczyny globalnego ocieplenia: [spalania paliw kopalnych.](#) [Ich spalanie w ostatnim czasie usuwa z atmosfery około 27 miliardów ton tlenu rocznie.](#) [56](#) Roczna netto spadek tlenu atmosferycznego (również biorąc pod uwagę jego straty w wydmuchiwaniu poza atmosferę i oddychania zwierząt gospodarskich) oszacowano na początku XXI wieku na około 21 miliardów ton, czyli mniej niż 0,002 procent istniejącego stężenia rocznie.

[57](#) Bezpośrednie pomiary stężenia atmosferycznego O₂ potwierdzają te niewielkie straty: ostatnio wynosiły one około 4 ppm, a ponieważ na każdy milion cząsteczek powietrza znajduje się prawie 210 000 cząsteczek tlenu, oznacza to roczny spadek o 0,002 [58](#) procent.

W tym tempie zajęłoby 1500 lat (mniej więcej tyle samo, ile upłynął od upadku Cesarstwa Zachodniorzymskiego), aby obniżyć poziom tlenu w atmosferze o 3% — ale pod względem rzeczywistego stężenia O₂ jest to zaledwie odpowiednik przemieszczania się z Nowego Jorku (na poziomie morza) do Salt Lake City (1288 m n.p.m.). Inna skrajna — i całkowicie teoretyczna — kalkulacja pokazuje, że nawet jeśli powinniśmy spalić wszystkie znane światowe rezerwy wszystkich paliw kopalnych (węgla, ropy naftowej i gazu ziemnego: niemożliwość ze względu na zaporowe koszty wydobycia tych paliw z przeważnie marginalnych złóż), stężenie atmosferycznego O₂ zmniejszyłoby się zaledwie o 0,25 procent.

[59](#)

Niestety, dla setek milionów ludzi oddychanie jest utrudnione z wielu powodów — od alergenów pyłkowych po zanieczyszczenie powietrza na zewnątrz w miastach i w pomieszczeniach (od gotowania) na obszarach wiejskich — ale nie ma ryzyka

upośledzenie oddychania spowodowane dowolnym wyobrażalnym spadkiem tlenu atmosferycznego zużywanego przez pożary lasów lub spalanie paliw kopalnych. Co więcej, żaden dostęp do ważnych zasobów naturalnych nie jest tak sprawiedliwy: bez względu na lokalny poziom zanieczyszczeń powietrza, na tej samej wysokości w dowolnym miejscu na świecie, identyczne stężenie tlenu jest swobodnie dostępne dla każdego, a populacje żyjące na dużych wysokościach, w miejscach takich jak Tybet i Andy wykazały wiele niezwykłych adaptacji (przede wszystkim podwyższone stężenie hemoglobiny) do obniżenia stężenia tlenu.

[60](#)

Można powiedzieć, że nie powinniśmy martwić się tlenem. Musimy jednak martwić się o przyszłość zaopatrzenia w wodę. W wielu modelach regionalnych, krajowych i globalnych zbadano przyszłą dostępność wody. Zakładają one różne stopnie globalnego ocieplenia i chociaż najgorsze scenariusze oferują ogólnie pogarszające się perspektywy, istnieje znaczna niepewność w zależności od niezbędnych założeń dotyczących wzrostu populacji, a tym samym zapotrzebowania na wodę. Przy ocieplaniu do 2°C populacje narażone na zwiększyony niedobór wody spowodowany zmianami klimatycznymi mogą wynosić od 500 milionów do 3,1 miliarda. [61](#) Zaopatrzenie w wodę na mieszkańca będzie się zmniejszać na całym świecie, ale niektóre główne dorzecza (w tym La Plata, Missisipi, Dunaj i Ganges) utrzymają założoną poziom lege dalsze pogorszenie (które może większość zwłaszcza Tygrys-Eufrat w Turcji i Iraku oraz Huang He w Chinach).

[62](#)

Jednak większość badań zgadza się, że niedobór słodkiej wody napędzany popytem będzie miał znacznie większy wpływ niż niedobory wywołane zmianami klimatycznymi. W rezultacie naszą najlepszą opcją radzenia sobie z przyszłymi dostawami wody jest zarządzanie popytem, a jednym z najlepszych przykładów tego działania na dużą skalę jest najnowsza historia zmniejszenia zużycia wody przez Stany Zjednoczone na mieszkańca. [63](#) W 2015 r. ogółem

Zużycie wody w USA było o mniej niż 4 procent wyższe niż w 1965 roku, ale w ciągu minionych 50 lat populacja kraju wzrosła o 68 procent, PKB (w stałych pieniądzach) wzrósł ponad czterokrotnie, a nawadniane pola uprawne wzrosły o około 40 procent. Oznacza to, że średnie zużycie wody na mieszkańca spadło o prawie 40 procent, wodochłonność gospodarki USA (jednostki wody na jednostkę stałego PKB) spadła o 76 procent, a całkowita ilość wody zużywanej do nawadniania nieco niższy w 2015 r., że liczba wniosków na jednostkę użytków rolnych spadła o prawie jedną trzecią. Istnieją oczywiście fizyczne ograniczenia dalszego ograniczania wszystkich tych zastosowań wody, ale doświadczenie USA pokazuje, że korzyści mogą wykraczać daleko poza marginalne.

Niedobór wody pitnej można złagodzić dzięki odsalaniu — usuwaniu rozpuszczonych soli z wody morskiej za pomocą technik od destylacji słonecznej po stosowanie membran półprzepuszczalnych. Ta opcja stała się bardziej powszechna w wielu krajach o niedoborach wody (na całym świecie jest około 18 000 zakładów odsalania wody), ale koszty są znacznie wyższe niż koszty [64](#) Ilość świeżej wody zbiorników lub z recyklingu. Woda potrzebna do upraw jest ~~z dostępnej wody~~, a większość światowej produkcji żywności nadal będzie zależeć od opadów deszczu. Czy wystarczy go w nadchodzącym, cieplejszym świecie?

Fotosynteza to zawsze bardzo nierówna wymiana wody wewnętrznej (wewnątrz liścia) na CO₂ z zewnętrz (w atmosferze). Za każdym razem, gdy roślina otwiera swoje aparaty szparkowe (umieszczone pod spodem liści), aby zimportować wystarczającą ilość węgla do fotosyntezy, traci duże ilości wody. Na przykład wydajność transpiracji (wytwarzana biomasa na jednostkę zużytej wody) pszenicy (cała roślina) wynosi 5,6-7,5 gram na kilogram, co przekłada się na około 240-330 kilogramów wody na kilogram zebranego ziarna.

Globalne ocieplenie nieuchronnie zintensyfikuje obieg wody, ponieważ wyższa temperatura zwiększy parowanie. W rezultacie ogólnie będzie więcej opadów, a tym samym więcej wody dostępczej do wychwytywania, przechowywania, ale ogólnie ⁶⁵ więcej opadów nie będzie oznaczać większych opadów wszędzie ani – co nie mniej ważne – więcej opadów, gdy są najbardziej potrzebne. Podobnie jak w przypadku wielu innych zmian związanych z cieplejszym klimatem, zwiększone opady będą rozłożone nierównomiernie. Niektóre regiony otrzymają mniej niż dzisiaj; inne (w tym dorzecze Jangcy, zamieszkiwane przez większość dużej populacji Chin) znacznie więcej i oczekuje się, że wzrost ten przyniesie nieznaczne zmniejszenie liczby osób mieszkających w środowiskach o dużym ubytku wody.

[67](#) Ale w wielu miejscowościach z większymi opadami będzie to miało bardziej nieregularny sposób, w postaci rzadszych, ale cięższych, a nawet katastrofalnych, opadów deszczu lub śniegu.

Cieplejsza atmosfera zwiększy również utratę wody przez rośliny (ewapotranspirację), ale nie oznacza to, że uprawy i lasy wiążą z powodu utraty wody. Rosnący poziom CO₂ w atmosferze oznacza, że w cieplejszej i bogatszej w CO₂ biosferze zmniejszy się zapotrzebowanie na wodę na jednostkę plonu. Efekt ten został już zmierzony w przypadku niektórych upraw, a pszenica i ryż (podstawowe ziarna, które opierają się na najbardziej powszechniej ściężce fotosyntezy) zwiększą efektywność wykorzystania wody bardziej niż kukurydza lub cukier

trzciny (które wykorzystują mniej powszechną, ale z natury bardziej wydajną ścieżkę).⁶⁸ Oznacza to, że w niektórych regionach pszenica i inne uprawy mogą plonować tak samo lub więcej niż obecnie, nawet jeśli otrzymywane przez nie opady zmniejszą się o 10-20 procent.

Jednocześnie światowa produkcja żywności jest również znaczącym źródłem gazów śladowych, które przyczyniają się do globalnego ocieplenia, głównie CO₂ z przekształcania lasów i pastwisk w pola (wciąż trwające przede wszystkim w Ameryce Południowej i Afryce) oraz emisji metanu z hodowli przeżuwaczy.⁶⁹ Ale ta rzeczywistość stwarzailmpossible ulepszeń i dostosowań. Uprawy można uprawiać w sposób, który zwiększa zawartość materii organicznej w glebie, a tym samym magazynowanie dwutlenku węgla (poprzez ograniczenie lub eliminację corocznej orki), a emisje metanu z hodowli można zmniejszyć, jedząc mniej wołowiny. Z moich obliczeń wynika, że w przyszłości – poprzez zmniejszenie udziału wołowiny i zwiększenie udziału wieprzowiny, mięsa drobiowego, jaj i nabiału, poprzez wydajniejsze żywienie oraz lepsze wykorzystanie resztek pożniwnych i ubocznych produktów przetwórstwa spożywczego – może odpowiadać niedawnej globalnej produkcji mięsa, jednocześnie znacznie ograniczając inwentarz żywego wpływ na środowisko, w tym jego udział w emisji metanu.⁷⁰

Mówiąc szerzej, w niedawnym badaniu zapytano, czy możliwe jest wyżywienie przyszłej populacji 10 miliardów ludzi (spodziewane wkrótce po 2050 r.) w obrębie czterech ziemskich granic planety – innymi słowy, robiąc to bez stawiania Ziemi i jej mieszkańców na skraj przepaści. przekraczania granic integralności biosfery, użytkowania gruntów i wód słodkich oraz przepływu azotu. Nic dziwnego, że badanie wykazało, że gdyby wszystkie te granice były ściśle przestrzegane, globalny system żywnościowy mógłby dostarczać zbilansowaną codzienną dietę (około 2400 kilokalorii na mieszkańca) nie więcej niż 3,4 miliarda ludzi – ale 10,2 miliarda można by wesprzeć dzięki redystrybucji gruntów uprawnych, lepsze zarządzanie wodą i składnikami odżywczymi, ograniczenie marnotrawienia żywności i dostosowanie diety.

[71](#)

Świadome spojrzenie na trzy egzystencjalne potrzeby życiowe – oddychanie, picie i jedzenie – jest zbieżne: nie powinno być nieuniknionej apokalipsy do 2030 lub 2050 roku. Tlen pozostanie w obfitości. W wielu regionach wzrosną obawy o zaopatrzenie w wodę, ale mamy wiedzę i powinniśmy być w stanie zmobilizować środki potrzebne do zapobieżenia wszelkim masowym, zagrażającym życiu niedoborom. Powinniśmy nie tylko utrzymać, ale i poprawić średnią podaż żywności na mieszkańca w krajach o niskich dochodach, jednocześnie zmniejszając nadmierną produkcję w krajach zamożnych. Jednak działania te tylko ograniczyłyby, a nie wyeliminowały,

nasze poleganie na bezpośrednich i pośrednich dopłatach do paliw kopalnych w produkcji żywności dla światowej populacji (patrz [rozdział 2](#)). Jak wyjaśniłem w pierwszym rozdziale, odejście od paliw kopalnych nie może nastąpić szybko. Oznacza to, że w nadchodzących dziesięcioleciach ich spalanie pozostanie głównym motorem globalnych zmian klimatycznych. Jak wpłynie to na długoterminowy trend globalnego ocieplenia?

Niepewności, obietnice i realia

Połączenie postępu naukowego i poprawy możliwości technicznych oznacza, że obecnie podchodzimy do każdego złożonego procesu, który obejmuje misterną grę czynników naturalnych i ludzkich działań, z korzyściami w postaci znacznego i stale poszerzanego zrozumienia. Jednocześnie musimy również liczyć się z niewygodnym stopniem ignorancji i uporczywą niepewnością, która znacznie utrudnia podjęcie zdecydowanej reakcji. Jeśli potrzebne było przypomnienie tej fundamentalnej rzeczywistości, rozprzestrzenianie się i konsekwencje COVID-19 dostarczyły wielu otrzeźwiających lekcji na całym świecie.

Byliśmy nieprzygotowani — do pewnego stopnia nawet ci z nas, którzy spodziewali się poważnych problemów, co uznali za zaskakujące — na wydarzenie, którego nieuchronne wystąpienie można było przewidzieć ze stuprocentową pewnością: w 2008 roku uczyniłem to jednoznacznie w mojej książce o globalnych katastrofach i trendach, nawet w odpowiednim momencie. [72](#) Chociaż prawie natychmiast zidentyfikowaliśmy pełną strukturę genetyczną tego nowego patogenu, reakcje krajowej polityki publicznej na jego rozprzestrzenianie się wahaly się od w dużej mierze „business as usual” (Szwecja) po drakońskie (ale spóźnione) zamknięcia w całym kraju (Włochy, Hiszpania) i od wcześniejszych zwolnień (USA w lutym 2020 r.) do wcześniejszych sukcesów, które przerodziły się w późniejsze problemy (Singapur). [73](#)

A jednak zasadniczo jest to samoograniczające się zjawisko naturalne, które my doświadczyły na skalę globalną trzy razy od późnych lat pięćdziesiątych: nawet bez jakichkolwiek szczepionek każda pandemia wirusowa ostatecznie ustępuje, gdy patogen zakaże stosunkowo dużą liczbę ludzi lub gdy zmutuje do mniej zjadliwej formy. W przeciwnieństwie do tego globalna zmiana klimatu jest niezwykle złożonym zjawiskiem, którego ostateczny wynik zależy od dalekich od doskonale rozumianych interakcji wielu procesów naturalnych i antropogenicznych. W rezultacie przez kolejne dziesięciolecia będziemy potrzebować więcej obserwacji,

więcej badań i znacznie lepsze modele klimatyczne w celu uzyskania dokładniejszych ocen trendów długoterminowych i najbardziej prawdopodobnych wyników.

Uwierzyć, że nasze rozumienie tych dynamicznych, wieloczynnikowych rzeczywistości osiągnął stan doskonałości jest mylenie nauki o globalnym ocieplaniu z religią zmian klimatycznych. Jednocześnie nie potrzebujemy niekończącego się strumienia nowych modeli, aby podejmować skuteczne działania. Istnieją ogromne możliwości zmniejszenia zużycia energii w budynkach, transporcie, przemyśle i rolnictwie, a niektóre z tych środków służących oszczędności energii i redukcji emisji powinniśmy byli rozpocząć już dekady temu, niezależnie od jakichkolwiek obaw związanych z globalnym ociepleniem. Zadania mające na celu uniknięcie niepotrzebnego zużycia energii, zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza i wody oraz zapewnienie bardziej komfortowych warunków życia powinny być wiecznym imperatywem, a nie nagłymi, desperackimi działaniami mającymi na celu zapobieżenie katastrofie.

Co najważniejsze, w dużej mierze zignorowaliśmy podjęcie kroków, które mogłyby ograniczyć długoterminowe skutki zmian klimatu i które należało podjąć nawet przy braku jakichkolwiek obaw związanych z globalnym ociepleniem, ponieważ przynoszą one długoterminowe oszczędności i zapewniają większy komfort. A jakby tego było mało, świadomie wprowadziliśmy i promowaliśmy dyfuzję nowych konwersji energii, które zwiększyły zużycie energii kopalnych, a tym samym jeszcze bardziej zintensyfikowały emisje CO₂. Najlepszymi przykładami tych zaniedbań i prowizji są nieodwoalnie nieadekwatne przepisy budowlane w krajach o zimnym klimacie oraz ogólnoszczególna popularność SUV-ów.

Ponieważ nasze domy są używane przez długi czas (dobrze zbudowany, właściwie utrzymany dom o konstrukcji drewnianej w Ameryce Północnej z betonowym fundamentem może przetrwać ponad 100 lat), z odpowiednią izolacją ścian, potrójnymi szybami i wysokowydajnymi piecami grzewczymi stanowią wyjątkową okazję do długotrwałych oszczędności energii (a tym samym emisji dwutlenku węgla). [74](#)
W 1973 roku, kiedy OPEC pięciokrotnie podniósł światową cenę ropy naftowej, większość budynków w Europie, Ameryce Północnej i północnych Chinach miała tylko okna z jedną szybą; w Kanadzie potrójne szyby nie będą wymagane przed 2030 r., a Manitoba była pierwszą prowincją, która w 2009 r. wymagała wysokowydajnych (>90 procent) pieców opalanych gazem ziemnym, dekady po tym, jak takie opcje stały się dostępne na rynku. [75](#)
Czy nie byłoby interesujące dowiedzieć się, ilu delegatów na spotkania globalnego ocieplenia pochodzących z zimnych klimatów ma potrójne szyby wypełnione gazem obojętnym, superizolowane ściany i 97% wydajne piece gazowe?
Analogicznie, ile osób w gorącym klimacie ma odpowiednio uszczelnione pomieszczenia

żeby ich źle zainstalowane i nieefektywne klimatyzatory okienne nie marnowały chłodnego powietrza?

Liczba SUV-ów zaczęła rosnąć w Stanach Zjednoczonych pod koniec lat 80., ostatecznie rozprzestrzenił się na całym świecie, a do 2020 r. przeciętny SUV emitował rocznie około 25 procent więcej CO₂ niż w standardowym samochodzie.⁷⁶ Pominóż to przez 250 milionów SUV-y na drogach w 2020 r., a zobaczysz, jak ogólnoświatowe przyjęcie tych maszyn kilkakrotnie wymazało wszelkie zyski z dekarbonizacji wynikające z powolnego rozszerzania się własności (zaledwie 10 milionów w 2020 r.) pojazdów elektrycznych. W 2010 roku SUV-y stały się drugą co do wielkości przyczyną wzrostu emisji CO₂, za wytwarzaniem energii elektrycznej i przed przemysłem ciężkim, transportem samochodowym i lotnictwem. Jeśli ich masowe poparcie społeczne będzie trwało nadal, mają potencjał, aby zrekompensować wszelkie oszczędności emisji dwutlenku węgla z ponad 100 milionów pojazdów elektrycznych, które mogą być w drodze do 2040 roku!

W drugim rozdziale tej książki szczegółowo opisano wysokie koszty energii w nowoczesnej produkcji żywności i odnotowano nieuzasadnione wysokie poziomy marnotrawienia żywności: wyraźnie, ta kombinacja daje wiele możliwości zmniejszenia nie tylko emisji CO₂, ale także emisji CH₄ z uprawy ryżu i przeżuwaczy oraz emisji N₂O z nadmiernego stosowania nawozów azotowych, a także z emisji z wątpliwego handlu żywnością. Czy w styczniu trzeba przewozić borówki z Peru do Kanady, a fasolkę szparagową z Kenii do Londynu? Witamina C i pasze objętościowe dostarczane przez te artykuły spożywcze można pozyskać z wielu innych źródeł o znacznie niższym śladzie węglowym. I czy nie moglibyśmy, dzięki naszym ogromnym możliwościom przetwarzania danych, wyceniać żywność lepiej i bardziej elastycznie, aby znaczaco wpływać na 30-40-procentowy wskaźnik marnotrawstwa? Dlaczego nie zrobić tego, co można zrobić, z zyskiem i natychmiast, zamiast czekać na więcej ćwiczeń modelowania?

Lista tego, czego nie zrobiliśmy, ale mogliśmy zrobić, jest długa. A co zrobiliśmy, aby zapobiec lub odwrócić postępującą zmianę środowiska w ciągu trzech dekad, odkąd globalne ocieplenie stało się dominującym tematem współczesnego dyskursu? Dane są jasne: w latach 1989-2019 zwiększyliśmy globalne antropogeniczne emisje gazów cieplarnianych o około 65 procent. Nawet gdy zdekonstruujemy ten globalny środek, widzimy, że zamożne kraje, takie jak USA, Kanada, Japonia, Australia i kraje UE, których zużycie energii na mieszkańca było bardzo wysokie trzy dekady temu, zredukowały swoje emisje, ale tylko o około 4%, podczas gdy emisje w Indiach wzrosły czterokrotnie, a emisje w Chinach⁷⁷ wzrosły 4,5-krotnie.

Połączenie naszej bezczynności i niezwykle trudnej natury globalnego ocieplenia najlepiej ilustruje fakt, że trzy dekady międzynarodowych konferencji klimatycznych na dużą skalę nie miały wpływu na przebieg globalnych emisji CO₂. Pierwsza konferencja ONZ na temat zmian klimatycznych odbyła się w 1992 roku; coroczne konferencje klimatyczne rozpoczęły się w 1995 roku (w Berlinie) i obejmowały wiele nagłośnionych spotkań w Kioto (1997, z całkowicie nieskutecznym porozumieniem), Marrakeszu (2001), Bali (2007), Cancún (2010), Limie (2014) i Paryżu (2015).

[78](#) Najwyraźniej delegaci uwielbiają podróżować do malowniczych miejsc, prawie nie myśląc o przerzążającym śladzie węglowym generowanym przez ten globalny odrzutowiec.

W 2015 roku, kiedy około 50 000 osób przyleciało do Paryża, aby wziąć udział jeszcze kolejną konferencję stron, na której mieli uderzyć, zapewniono nas, „przełomowe” – a także „ambitne” i „bezprecedensowe” – porozumienie, a mimo to porozumienie paryskie nie skodyfikowało (nie mogło) żadnych konkretnych celów redukcyjnych przez największych emitentów na świecie, a nawet gdyby wszystkie dobrowolne, niewiążące obietnice zostały dotrzymane (coś całkowicie nieprawdopodobnego), spowodowałoby 50-procentowy wzrost emisji do 2050 roku.

[80](#) Jakiś punkt orientacyjny.

Spotkania te nigdy nie mogły powstrzymać ekspansji chińskiej wydobycie węgla (ponad trzykrotnie w latach 1995-2019, prawie tak samo jak reszta świata razem wzięta) lub właśnie zauważona na całym świecie preferencja dla ogromnych SUV-ów, i nie mogły one odwieść milionów rodzin od zakupu – tak szybko, jak pozwoliły im na to rosnące dochody — nowe klimatyzatory, które będą działać przez gorące, wilgotne noce monsunowej Azji, a zatem w najbliższym czasie nie będą zasilane energią łączny efekt tych żądań: między 1992 a 2019 rokiem globalna emisja CO₂ wzrosła o około 82 proc. — 65 procent; te z CH₄ o około 25

[82](#) proc. —

Co możemy zrobić w nadchodzących dziesięcioleciach? Musimy zacząć od rozpoznania fundamentalnych rzeczywistości. Kiedyś uważaliśmy wzrost średniej globalnej temperatury o 2°C za stosunkowo tolerowane maksimum, ale w 2018 r. IPCC obniżył to do zaledwie 1,5°C — ale do 2020 r. dodaliśmy już dwie trzecie tego maksymalnego, korzystnego wzrostu temperatury. Co więcej, w 2017 r. ocena, która uwzględniała zdolność oceanów do pochłaniania dwutlenku węgla, nierównowagę energetyczną planety i zachowanie drobnych cząstek w atmosferze, wykazała, że globalne ocieplenie (wynikające z wcześniejszych emisji i urzeczywistniające się, nawet jeśli całkowicie nowe emisje ustały natychmiast)

już zsumowano do 1,3°C, a zatem wymagałoby tylko dodatkowych 83 Ostatnia analiza przekroczyć 1,5°C. połączone efekty wykazały, że jeszcze 15 lat zatrzymania globalne ocieplenie 84 o 2,3°C.

Jak zawsze, wnioski te mają swój margines błędu, ale wydaje się bardzo prawdopodobne, że przysłowiowy koń ocieplenia o 1,5°C już się uciekł.

Mimo to wiele instytucji, organizacji i rządów wciąż snuje teorie o utrzymywaniu go w zepsutym zagrodzie. Raport IPCC na temat ocieplenia o 1,5°C oferuje scenariusz oparty na tak nagłym i trwałym odwróceniu naszej zależności od paliw kopalnych, że globalna emisja CO₂ wyniesie 85 – a inni twórcy scenariuszy zostaną wyeliminowani do 2050 r. sugestie, jak szybko zakończy się era węgla kopalnego. Komputery ułatwiają konstruowanie wielu scenariuszy szybkiej eliminacji emisji dwutlenku węgla — ale ci, którzy wytyczają swoje preferowane ścieżki do przyszłości bezemisyjnej, są nam winni realistyczne wyjaśnienia, a nie tylko zestawy mniej lub bardziej arbitralnych i wysoce nieprawdopodobnych założeń oderwanych od realiów technicznych i ekonomicznych oraz ignorowanie wbudowany charakter, masowa skala i ogromna złożoność naszych systemów energetycznych i materialnych. Trzy ostatnie ćwiczenia stanowią doskonałą ilustrację tych lotów fantazji, nieobciążonych względami świata rzeczywistego.

Pobożne życzenie

Pierwszy scenariusz, przygotowany głównie przez naukowców z UE, zakłada, że średnie globalne zapotrzebowanie na energię per capita w 2050 r. będzie o 52 proc. niższe niż w 2020 r. Taki spadek ułatwiłby utrzymanie wzrostu temperatury na świecie 86 poniżej 1,5°C jeśli nadal wierzymy, że coś takiego jest możliwe). Oczywiście — i jak powtórzę (to znaczy rozdziale — podczas konstruowania scenariuszy dalekiego zasięgu możemy wprowadzić dowolne arbitralne założenia, aby osiągnąć z góry przyjęte wyniki. Ale jak założenia tego scenariusza mają się do niedawnej przeszłości?

Zmniejszenie zapotrzebowania na energię per capita o połowę w ciągu trzech dekad byłoby zdumiewającym osiągnięciem, biorąc pod uwagę fakt, że w ciągu ostatnich 30 lat globalne zapotrzebowanie na energię per capita wzrosło o 20%. W projekcji zakłada się, że znacznie mniejsze zapotrzebowanie na energię będzie wynikać z połączenia

odejście od posiadania towarów, cyfryzacja życia codziennego i szybkie rozpowszechnienie innowacji technicznych w przetwarzaniu i przechowywaniu energii.

Sugerowanym pierwszym motorem zanikającego popytu (mniej posiadania) jest przekonanie akademickie, na które jest bardzo mało dowodów, ponieważ wszystkie główne kategorie konsumpcji osobistej – mierzone rocznymi wydatkami gospodarstw domowych – rosną nawet w krajach zamożnych. Na już bardzo nasyconych rynkach z już zatłoczonym ruchem, liczba samochodów w UE na 1000 osób wzrosła o 13 procent w latach 2005-2017, a w ciągu ostatnich 25 lat wzrosła o około 25 procent w Niemczech i 20 procent we Francji.

[87](#)

Pożądany i prawdopodobny jest zmniejszony popyt i stopniowy spadek własności; zmniejszenie o połowę popytu jest arbitralnym i mało prawdopodobnym celem.

Co ważniejsze, zwolennicy tego nierealistycznego scenariusza dopuszczają jedynie: dwukrotny wzrost we wszystkich rodzajach mobilności w ciągu następnych trzech dekad w tak zwanym Globalnym Południu (powszechnie, ale bardzo niedokładne określenie krajów o niskich dochodach, głównie w Azji i Afryce) oraz trzykrotny czynnik wzrost własności dóbr konsumpcyjnych. Ale w Chinach poprzedniego pokolenia wzrost był na zupełnie inną skalę: w 1999 r. na 100 miejskich gospodarstw domowych przypadało zaledwie 0,34 samochodu, w 2019 r. liczba ta przekroczyła 40. To ponad 100-krotny względny wzrost tylko w dwie dekady. [88](#) W 1990 r. 1 na 300 miejskich gospodarstw domowych posiadało klimatyzator okienny; do 2018 r. na 100 gospodarstw domowych przypadało 142,2 jednostek: ponad 400-krotny wzrost w ciągu

niedalekiej przeszłości dekad

W konsekwencji, nawet jeśli kraje, których poziom życia jest obecnie taki, jak Chiny w 1999 roku, osiągnęłyby zaledwie jedną dziesiątą niedawnego wzrostu w Chinach, odczułyby 10-krotny wzrost liczby samochodów i 40-krotny wzrost liczby klimatyzatorów. Dlaczego autorzy scenariusza niskiego zapotrzebowania na energię uważają, że dzisiaj Hindusi i Nigeryjczycy nie chcą zmniejszać przepaści dzielącej ich od materialnej własności Chin?

Nic dziwnego, że najnowszy raport o globalnej luki produkcyjnej – coroczna publikacja podkreślająca rozbieżność między produkcją paliw kopalnych planowaną przez poszczególne kraje a globalnymi poziomami emisji niezbędnymi do ograniczenia ocieplenia do 1,5°C lub 2°C – nie wykazuje żadnych zobowiązań do załamania linii trendów; wręcz przeciwnie. [89](#) W 2019 r. główni konsumenci energii planują zwiększenie produkcji do 2030 r. to zgodne z ograniczeniem globalnego ocieplenia do 1,5°C, i niezależnie od ostatecznego efektu pandemii COVID-19, wynikający z tego spadek

konsumpcja będzie zarówno tymczasowa, jak i zbyt mała, aby odwrócić ogólną tendencję.

W drugim scenariuszu zgodnym z celem całkowitej dekarbonizacji do 2050 r. duża grupa naukowców zajmujących się energią z Uniwersytetu Princeton Zjednoczonych. zdają sobie sprawę, że niemożliwe będzie wymagać zmian w Stanach zużycia paliw kopalnych i że jedynym sposobem na osiągnięcie zerowych emisji netto jest odwołanie się do tego, co nazywają „czwartym filarem” ich ogólnej strategii – wychwytywania i składowania dwutlenku węgla na masową skalę CO₂ — a ich obliczenie wymaga usuwania 1–1,7 gigaton gazu rocznie. W porównaniu z równoważnikami objętości, wymagałoby to stworzenia całkowicie nowego przemysłu wychwytywania, transportu i magazynowania gazu, który każdego roku musiałby obsługiwać 1,3-2,4 razy wielkość obecnej produkcji ropy naftowej w USA, przemysł, który zabrał ponad 160 lat i biliony dolarów na zbudowanie.

Większość tego składowania dwutlenku węgla ma mieć miejsce wzdłuż wybrzeża Zatoki Teksasu, a to wymagałoby budowy około 110 000 kilometrów nowych rurociągów CO₂, co wymagałoby całkowicie bezprecedensowej prędkości planowania, zezwalania i budowy tak rozległych połączeń w społeczeństwie znanym za jego sporność i opór NIMBY.

[91](#) Jednocześnie dodatkowe środki musiałyby zostać wydane na demontaż istniejącej infrastruktury przesyłowej amerykańskiego przemysłu naftowego i gazowego. Biorąc pod uwagę bogate doświadczenie historyczne z masowym, długoterminowym przekroczeniem kosztów, nie można ufać żadnym szacunkom kosztów wydatków w ciągu najbliższych trzech dekad, nawet jeśli chodzi o ich rzad wielkości.

Osiągnięcie całkowitej dekarbonizacji do 2050 r. jest łagodnym celem w porównaniu z trzecim scenariuszem, który rozszerza cele amerykańskiego Zielonego Nowego Ładu (wprowadzonego w Kongresie USA w 2019 r.) na 143 kraje i wskazuje, w jaki sposób co najmniej 80 procent światowych dostaw energii zostanie zdekarbonizowane do 2030 r. dzięki odnawialnym wiatrom, wodzie i energią słoneczną (WWS), której dostawa zmniejszy ogólne potrzeby o 57 proc., koszty finansowe o 61 proc., a koszty społeczne (zdrowie i klimat) o 91 proc.: „Tak więc 100 proc. WWS potrzebuje mniej [92](#) Nie ma energii, kosztuje więcej miejsc pracy niż obecna energia”. brak mediów, celebrytów i autorów bestsellerów powtarzających, wspierających i wzmacniających te twierdzenia, począwszy (bez niespodzianki) od Rolling Stone do New Yorkera i od Noama Chomsky'ego (który dodaje energii jako jego najnowsze pole

ekspertyzy) Jeremy'emu Rifkinowi, który uważa, że bez takiej interwencji nasza cywilizacja oparta na paliwach kopalnych upadnie do 2028 roku. [93](#)

Jeśli to prawda, te twierdzenia i ich entuzjastyczne aprobaty rodzą oczywiste pytanie: dlaczego mamy martwić się globalnym ociepleniem? Po co przerażać się pomysłem wczesnego zgonu planety, dlaczego czuć się zmuszonym do przyłączenia się do Extinction Rebellion? Kto mógłby się sprzeciwiać rozwiązańom, które są zarówno tanie, jak i niemal natychmiastowo skuteczne, które stworzą niezliczone, dobrze płatne miejsca pracy i zapewnią beztroską przyszłość przyszłym pokoleniom? Śpiewajmy wszyscy po prostu z tych zielonych śpiewników, podążajmy za całkowicie odnawialnymi zaleceniami, a nowa globalna nirwana nadejdzie za zaledwie dekadę – lub, jeśli trochę się opóźni, do 2035 roku. [94](#)

Niestety, bliższa lektura pokazuje, że te magiczne recepty nie wyjaśniają, w jaki sposób cztery materialne filary współczesnej cywilizacji (cement, stal, plastik i amoniak) będą produkowane wyłącznie przy użyciu odnawialnej energii elektrycznej, ani nie wyjaśniają w przekonujący sposób, w jaki sposób latanie, żegluga, a transport samochodowy (któremu zawdzięczamy naszą współczesną globalizację gospodarczą) może do 2030 r. stać się w 80 procentach wolny od emisji dwutlenku węgla; twierdzą jedynie, że tak może być. Uważni czytelnicy pamiętają (patrz rozdział 1), że w ciągu pierwszych dwóch dekad XXI wieku bezprecedensowe dążenie Niemiec do dekarbonizacji (oparte na wietrzu i słońcu) doprowadziło do zwiększenia udziału energii elektrycznej wytwarzanej przez wiatr i słońce do ponad 40 procent. ale obniżyło to udział paliw kopalnych w zużyciu energii pierwotnej w kraju tylko z około 84 procent do 78 procent.

Jakie cudowne opcje będą dostępne dla krajów afrykańskich, które teraz polegają na paliwach kopalnych, aby dostarczać 90 procent swojej pierwotnej energii, aby w ciągu dekady zwiększyć swoją zależność do 20 procent, jednocześnie oszczędzając ogromne sumy pieniędzy? A w jaki sposób Chiny i Indie (oba kraje wciąż rozwijają wydobycie węgla i wytwarzanie węgla) nagle staną się wolne od węgla? Ale ta konkretna krytyka opublikowanych narracji o szybkiej transformacji jest naprawdę nieistotna: nie ma sensu dyskutować ze szczegółami tego, co w istocie jest akademickim odpowiednikiem science fiction. Zaczynają od arbitralnie wyznaczonych celów (zero do 2030 lub do 2050 r.) i pracują wstecz, aby wprowadzić zakładane działania, aby dopasować te osiągnięcia, przy czym rzeczywiste potrzeby społeczno-ekonomiczne i imperatywy techniczne są niewielkie lub nie, niepokój.

Rzeczywistość wdziela się więc z obu stron. Sama skala, koszt i techniczne bezwładność działań zależnych od węgla uniemożliwia wyeliminowanie wszystkich tych zastosowań w ciągu zaledwie kilku dekad. Jak opisałem w rozdziale o energii, my

nie może tak szybko zerwać tej zależności, a każda realistyczna długoterminowa prognoza jest zgodna: co najważniejsze, nawet najbardziej agresywny scenariusz dekarbonizacji MAE przewiduje, że paliwa kopalne zaspokoją 56% światowego zapotrzebowania na energię pierwotną do 2040 r. Podobnie ogromna skala i koszt materiałów a zapotrzebowanie na energię uniemożliwia uciekanie się do bezpośredniego wychwytywania powietrza jako decydującego elementu szybkiej globalnej dekarbonizacji.

Ale możemy wiele zmienić, nie udając, że podążamy za nierealistycznymi i arbitralnymi celami: aż nazbyt oczywiste jest, że historia nie rozwija się jako skomputeryzowane ćwiczenie akademickie z dużymi osiągnięciami przypadającymi na lata kończące się na zero lub pięć; jest pełna nieciągłości, odwróceń i nieprzewidywalnych odejść. Możemy postępować dość szybko z wypieraniem energii elektrycznej z węgla przez gaz ziemny (gdy jest produkowany i transportowany bez znaczącego wycieku metanu, ma znacznie niższą emisjność niż węgiel) oraz rozwijając produkcję energii słonecznej i wiatrowej. Możemy odejść od SUV-ów i przyspieszyć masowe wdrażanie samochodów elektrycznych, a nadal mamy duże nieefektywne wykorzystanie energii w budownictwie, gospodarstwie domowym i komercyjnym, które można z zyskiem ograniczyć lub wyeliminować. Ale nie możemy natychmiast zmienić kursu złożonego systemu składającego się z ponad 10 miliardów ton węgla kopalnego i przetwarzającego energię w tempie ponad 17 terawatów, tylko dlatego, że ktoś zdecyduje, że krzywa globalnego zużycia nagle odwróci swój wielowiekowy wzrost. i natychmiast przejść w trwały i stosunkowo szybki spadek.

Modele, wątpliwości i realia

Dlaczego tak się dzieje, że niektórzy naukowcy ciągle wykreślają takie arbitralnie zakrywione i pograjające się krzywe prowadzące do niemal natychmiastowej dekarbonizacji? I dlaczego inni obiecują wczesne nadejście technicznych super-poprawek, które będą wspierać wysoki standard życia całej ludzkości? I dlaczego te pobożne życzenia są tak często przyjmowane jako wiarygodne prognozy i chętnie w nie wierzą ludzie, którzy nigdy nie próbowałiby kwestionować ich założeń? Będę miał więcej do powiedzenia na ten temat w rozdziale końcowym, ale oto kilka spostrzeżeń związanych z tak dominującą obecnie troską o globalną zmianę środowiska.

De omnibus dubitandum (Wątpliwości we wszystko) musi być czymś więcej niż trwałym cytatem kartezjańskim; musi pozostać samą podstawą metody naukowej. Przypomnij sobie, jak otworzyłem ten rozdział listą dziewięciu granic planetarnych

czyje wykroczenia zagrażają naszemu biosferycznemu dobrobytowi? Trzymanie ich w bezpiecznych granicach wydaje się oczywistym wnioskiem, ponieważ identyfikują najważniejsze, odwieczne, egzystencjalne obawy – a jednak lista sporządzona 40 lat temu byłaby zupełnie inna. Kwaśne deszcze (a właściwie opady zakwaszające) byłyby najprawdopodobniej najważniejszym punktem, ponieważ szeroki konsensus z wczesnych lat 80. postrzegał go jako główny problem środowiskowy.

[95](#)

Zubożenie warstwy ozonowej w stratosferze nie byłoby możliwe, ponieważ niesławna dziura ozonowa w Antarktyce została odkryta dopiero w 1985 roku; a jeśli w ogóle wymieniono, antropogeniczne zmiany klimatu i związane z nimi zakwaszenie oceanów byłyby blisko dna. [96](#) I nawet skupiając się na takich odwiecznych problemach, jak zmiany użytkowania gruntów (zdominowane przez wylesianie), utrata bioróżnorodności (od kultowych pand i koali po kolonie puszczów i rekiny) oraz zaopatrzenie w słodką wodę, nasze obawy znacznie się rozwinęły, stając się w niektórych sposobów (teraz bardziej martwimy się poborem wód podziemnych i nadmiernymi substancjami odżywczymi tworzącymi martwe strefy przybrzeżne) i mniej naglącymi w innych (być może przede wszystkim lasy dokonały znacznego powrotu, nie tylko we wszystkich zamożnych krajach, ale także w Chinach).

[97](#)

Patrząc w przyszłość, musimy odzyskać krytyczną perspektywę, gdy mamy do czynienia ze wszystkimi modelami badającymi złożoność środowiskową, techniczną i społeczną. Kompletowanie takich modeli czy, jak głosi modny język, konstruowanie narracji nie ma granic. Ich autorzy mogą wybrać, jak zrobiło ostatnio wiele ostatnich modeli klimatycznych, nadmierne założenia dotyczące przeszłego zużycia energii i mogą skończyć z bardzo wysokimi wskaźnikami ocieplenia, które generują nagłówki wiadomości o piekielnej przyszłości. [98](#) Stosując odwrotne podejście, inni modelarze mogą zakładać, że do 2050 r. termojądrowa lub zimna fuzja, lub, alternatywnie, mogą pozwolić na nieograniczoną ekspansję spalania paliw kopalnych, ponieważ ich model wykorzystuje cudowne techniki, które nie tylko usuną jakąkolwiek objętość CO₂ z atmosfery, ale oddają recyklingowi jako surowiec do syntezy płynnego paliwa – a wszystko to przy stale spadających kosztach.

Oczywiście po prostu maszerują razem z tłumem nowych technologii, którego naiwność porównuje każdą techniczną zmianę do ostatnich osiągnięć w elektronice, a przede wszystkim do telefonów komórkowych. Oto jak ujął to dyrektor generalny ds. zielonej energii w 2020 roku: „Czy pamiętasz, jak zmieniliśmy telefonię z telefonów stacjonarnych na telefony komórkowe, telewizję z oglądania tego, co było w telewizji, na cokolwiek

marzyliśmy, od kupowania gazet po dostosowywanie naszych kanałów informacyjnych? The Kierowana przez ludzi, oparta na technologii rewolucja energetyczna będzie taka sama". [99](#)

Jak można zmienić urządzenie (z telefonu stacjonarnego na telefon komórkowy), którego niezawodne użytkowanie zależy od ogromnego, złożonego i wysoce niezawodnego systemu wytwarzania energii elektrycznej (zdominowanego przez tysiące dużych elektrowni zasilanych paliwami kopalnymi, wodnymi i jądrowymi), transformacji i przesyłu (obejmujący setki tysięcy kilometrów sieć w skali krajowej, a nawet kontynentalnej) jest tym samym, co zmiana całego podstawowego systemu?

Wiele z tych nieprzywiązań myśli wychodzi zgodnie z zamierzeniami – od przerzążających do wspaniałych – i rozumie, dlaczego wielu ludzi daje się nabraciać albo przez te groźby, albo przez nierealistyczne sugestie. Tylko wyobraźnia ogranicza te założenia: wahają się one od całkiem prawdopodobnych do jawnie urojonych. To nowy gatunek naukowy, w którym duże dawki myślenia życzeniowego łączą się z kilkoma solidnymi faktami. Wszystkie te modele powinny być postrzegane głównie jako ćwiczenia heurystyczne, jako podstawy do myślenia o opcjach i podejściach, których nigdy nie należy mylić z proroczymi opisami naszej przyszłości. Chciałbym, żeby to upomnienie było tak oczywiste, tak trywialne i zbyteczne, jak się wydaje!

Niezależnie od postrzeganej (lub modelowanej) dotkliwości globalnego środowiska naturalnego wyzwania, nie ma szybkich, uniwersalnych i szeroko przystępnych cenowo rozwiązań problemu wylesiania lasów tropikalnych lub utraty bioróżnorodności, erozji gleby lub globalnego ocieplenia. Ale globalne ocieplenie stanowi niezwykle trudne wyzwanie właśnie dlatego, że jest zjawiskiem prawdziwie globalnym, a jego największą antropogeniczną przyczyną jest spalanie paliw, które stanowią masywne energetyczne fundamenty współczesnej cywilizacji. W rezultacie energie niewęglowe mogą całkowicie wyprzeć węgiel kopalny w ciągu jednej do trzech dekad TYLKO wtedy, gdybyśmy byli gotowi do znacznego cięcia standardu życia we wszystkich zamożnych krajach i odmawiali modernizującym się narodom Azji i Afryki poprawy w zakresie ich zbiorowe losy nawet o ułamek tego, co Chiny zrobiły od 1980 roku.

Mimo to możliwe są znaczne redukcje emisji dwutlenku węgla – wynikające z połączenia ciągłego wzrostu wydajności, lepszych projektów systemów i umiarkowanego zużycia – a zdecydowane dążenie do tych celów ograniczyłoby ostateczne tempo globalnego ocieplenia. Ale nie możemy wiedzieć, w jakim stopniu odniesiemy sukces do 2050 roku, a myślenie o 2100 jest naprawdę poza naszym zasięgiem. Możemy nakreślić skrajne przypadki, ale w ciągu zaledwie kilkudziesięciu lat wachlarz możliwych skutków staje się zbyt szeroki, a w każdym razie postęp ewentualnej dekarbonizacji jest uzależniony nie tylko od naszej świadomej

działania naprawcze, ale także nieprzewidywalne, interweniujące zmiany w narodowych losach.

Czy istniał jeden modelarz klimatu, który przewidział w 1980 r. najważniejszy antropogeniczny czynnik napędzający globalne ocieplenie w ciągu ostatnich 30 lat: wzrost gospodarczy Chin? W tamtych czasach nawet najlepsze modele, wszystkie będące bezpośrednimi potomkami modeli globalnej cyrkulacji atmosferycznej opracowanych w latach 60., nie miały możliwości odzwierciedlenia nieprzewidywalnych zmian w narodowych losach, a także ignorowały interakcje między atmosferą a biosferą. To nie uczyño tych modeli bezużytecznymi: zakładały stały globalny wzrost emisji gazów cieplarnianych i ogólnie były dość dokładne w przewidywaniu tempa globalnego ocieplenia.

[100](#)

Ale dobre oszacowanie ogólnej stawki to dopiero początek. Używając ponownie analogii COVID-19, jest to podobne do prognozy w 2010 r., że – na podstawie ostatnich trzech pandemii i skorygowanej o większą populację – globalne zgony w pierwszym roku kolejnej globalnej pandemii wyniosą około 2 miliony. [101](#) Byłoby to bardzo zbliżone do rzeczywistej sumy, ale czy ta prognoza (słusznie zakładając, na podstawie wielu precedensów, że pandemia rozpoczęła się w Chinach) również przypisuje tylko 0,24 procent tych zgonów (w wartościach bezwzględnych, mniej niż w Grecji lub Austrii) do Chin, kraju z prawie 20 procentami światowej populacji – i prawie 20 procent do Stanów Zjednoczonych, znacznie bogatszego i (z pewnością w to wierzy) znacznie bardziej kompetentnego kraju, z mniej niż 5 procentami światowej populacji?

I, co jeszcze bardziej niewiarygodne, czy przewidział, że najwyższa śmiertelność będzie skoncentrowana w najbogatszych gospodarkach zachodnich, tych, które szczyga się dostarczaną przez państwo zaawansowaną opieką zdrowotną? W marcu 2021 r., kiedy pandemia oficjalnie weszła w drugi rok (WHO ogłosiła ją 11 marca 2020 r., chociaż infekcja rozprzestrzeniła się w Chinach co najmniej od grudnia 2019 r.), wszystkie 10 krajów z najwyższą skumulowaną śmiertelnością (powyżej 1500 na milion, czyli 1,5 na 1000 osób zmarło na COVID-19) było w Europie, w tym sześciu członków UE i Wielkiej Brytanii. A kto mógłby przewidzieć, że wskaźnik w USA (również powyżej 1500) będzie o dwa rzędy wielkości wyższy niż 3 zgony w Chinach na 1 milion? [102](#) Oczywiście nawet bardzo dokładna prognoza całkowitej tymczasowej śmiertelności COVID-19 nie dałaby żadnych konkretnych wskazówek dotyczących formułowania najlepszych krajowych odpowiedzi.

Analogicznie, rozwój Chin (a także Indii) po 1980 r. zmienił okoliczności jakiekolwiek reakcji na rosnące globalne emisje gazów śladowych. W 1980 roku, cztery lata po śmierci Mao Zedonga, chińska gospodarka per capita

produkt stanowił mniej niż jedną czwartą średniej nigeryjskiej; nie było prywatnych samochodów osobowych; tylko czołowi przywódcy Partii Komunistycznej żyjący w odosobnieniu Zhongnanhai (dawnego ogrodu cesarskiego w Zakazanym Mieście, obecnie głównej siedziby Partii Komunistycznej) mieli klimatyzację; a Chiny wyprodukowały zaledwie 10 procent światowych emisji CO₂.

[103](#)

Do 2019 roku Chiny były pod względem siły nabywczej największą gospodarką świata; jej PKB na mieszkańca był pięciokrotnie wyższy niż średnia nigeryjska; kraj był największym na świecie producentem samochodów; połowa wszystkich gospodarstw domowych w mieście posiadała dwa klimatyzatory montowane na oknach; długość sieci szybkich pociągów przekroczyła łączną długość wszystkich połączeń UE; a około 150 milionów jej obywateli podróżowało za granicę. Kraj wyemitował również 30 procent światowego CO₂ z paliw kopalnych. W przeciwieństwie do tego, łączne emisje w USA i UE28 spadły z 60 procent całkowitej światowej w 1980 r. do 23 procent do 2019 r. (z powodu niskiego tempa wzrostu gospodarczego, starzenia się, a nawet spadku liczby ludności oraz produkcji do Azji) ich łączny udział jest wysoce nieprawdopodobny, aby kiedykolwiek ponownie wzrósł.

Patrząc w przyszłość, większość mocy do wprowadzenia znaczących zmian będzie leżeć coraz więcej w modernizujących się gospodarkach Azji: wyłączając wysokie dochody i niski lub zerowy wzrost liczby ludności Japonii, Korei Południowej i Tajwanu, kontynent wytwarza obecnie połowę wszystkich emisji. I chociaż postępująca transformacja Afryki Subsaharyjskiej przebiega znacznie wolniej, jej łączna populacja około 1,1 miliarda prawie się podwoi w ciągu najbliższych 30 lat, będzie zawierała prawie 50 procent więcej ludzi niż Chiny (kraj, w którym wszystkie gospodarki o niskich dochodach chcą naśladować), a krytyczna ocena przyszłości energii elektrycznej na kontynencie wskazuje na wysoki poziom emisji dwutlenku węgla, z dominującą produkcją z paliw kopalnych, a udział odnawialnych źródeł energii innych niż wodne pozostanie poniżej 10 procent w 2030 r.

[104](#)

Powstanie i upadek narodów to nie jedyna niepewność dotycząca postępu i skutków globalnego ocieplenia. Ostatnią dobrą wiadomością jest to, że światowe lasy są dużym i trwałym pochłaniaczem dwutlenku węgla (gromadzą więcej niż emitują), zatrzymując około 2,4 miliarda ton dwutlenku węgla każdego roku w latach 1990-2007, a dane satelitarne za lata 2000-2017 wskazują, że jedno- jedna trzecia powierzchni porośniętej roślinnością na świecie zazieleniła się (co wskazuje na znaczny wzrost średniej rocznej powierzchni zielonych liści, co potwierdza, że więcej węgla jest obecnie absorbowane i magazynowane), a tylko 5 procent brązowieje (wskazując [105](#) Efekt ten był szczególnieauważalny w utratą liści).

intensywnie uprawiane ziemie uprawne w Chinach i Indiach, a w Chinach efekt ten zaobserwowano również w powiększających się lasach tego kraju.

Ale niezbyt dobra wiadomość (wiedziałeś, że nadchodzi...) jest taka, że między 1900 a 2015 rokiem biosfera straciła 14 procent swoich drzew z powodu wycinki i, nie mniej znacząco, śmiertelność drzew podwoiła się w tym czasie, ze starszymi (i wyższe) drzewa, które mają większy udział w tej stracie. Lasy na świecie stają się coraz młodsze i krótsze, przez co nie są w stanie zmagać się z tak dużej ilości węgla 106 Zwiększone tempo wszystkich gatunków drzewek i krzaków skróciło życie 1,07 lat przyczyniając do gwałtownego spadku poziomu dwutlenku węgla może być tylko przemijające. słyszałeś, że nieuchronnie pierwszymi poziom mórz spowodowany globalnym ociepleniem, będącym gwałtownie i nieuchronnie? Dziesięciolecia zmian linii brzegowej na wszystkich 101 wyspach atolu na Pacyfiku, wschód od Wysp Salomona) pokazują, że nieuchronnie i nieuchronnie kraju zwiększył się o prawie 3 procent. należy zawsze unikać pochopnie uogólniających wniosków.

Na ewolucję społeczeństw wpływa nieprzewidywalność ludzkich zachowań, nagłe zmiany długotrwałych trajektorii historycznych, powstanie i upadek narodów, a towarzyszy nam nasza zdolność do wprowadzania znaczących zmian. Te rzeczywistości wpływają na wiele z natury złożonych (i dalekich od zadowalająco rozumianych) procesów biosferycznych. A ponieważ wywołują one często sprzeczne reakcje naturalne, na przykład lasy są zarówno pochłaniaczami, jak i źródłem węgla, nie można z całą pewnością stwierdzić, gdzie będziemy – pod względem zużycia paliw kopalnych, tempa dekarbonizacji lub konsekwencji środowiskowych – w 2030 r. lub 2050.

Przede wszystkim, co pozostaje wątpliwe, to nasza zbiorowa – w tym przypadku globalna – determinacja, by skutecznie radzić sobie z przynajmniej niektórymi krytycznymi wyzwaniem. Dostępne są rozwiązania, dostosowania i adaptacje. Kraje zamożne mogłyby znacznie zmniejszyć swoje średnie zużycie energii na mieszkańca i nadal zachować komfortową jakość życia. Powszechnie rozpowszechnienie prostych poprawek technicznych, od obowiązkowych potrójnych okien po projekty bardziej wytrzymały pojazdów, miałyby znaczące skumulowane skutki. Zmniejszenie o połowę marnotrawienia żywności i zmiana składu spożycia mięsa na świecie ograniczyłyby emisje dwutlenku węgla bez pogorszenia jakości dostaw żywności. Co godne uwagi, środki te są nieobecne lub zajmują niską pozycję w typowych motywach nadchodzących niskoemisyjnych „rewolucji”, które opierają się na jeszcze niedostępnym magazynowaniu energii elektrycznej na masową skalę lub

w sprawie obietnicy nierealistycznego wychwytywania dwutlenku węgla na masową skalę i jego stałego składowania pod ziemią. Nie ma nic nowego w tych przesadnych oczekiwaniach.

W 1991 roku znany działacz na rzecz ochrony środowiska napisał o „ograniczeniu ocieplić dla zabawy i zysku”. przypominaliśmy się do 110 lat i jesteśmy już w trzynastym. Wszystko jest jasne, ale nie mniej trochę mielibyśmy do czynienia z rosnącą udreką dzisiejszych katastrof. Podobnie obiecuję się nam teraz jeszcze bardziej zdumiewające „przełomowe” innowacje i „rozwiązania” oparte na sztucznej inteligencji. W rzeczywistości wszelkie wystarczająco skuteczne kroki będą zdecydowanie niemagiczne, stopniowe i kosztowne. Od tysiącleci przekształcamy środowisko na coraz większą skalę i z rosnącą intensywnością i czerpiemy z tych zmian wiele korzyści – ale nieuchronnie ucierpiała biosfera. Istnieją sposoby na ograniczenie tych wpływów, ale zabrakło determinacji, aby wdrożyć je na wymaganą skalę, a jeśli zaczniemy działać w wystarczająco skuteczny sposób (a to teraz wymaga tego na skalę globalną), będziemy musieli zapłacić znaczną i cenę społeczną.

Czy w końcu zrobimy to celowo, z dalekowzrocznością; czy będziemy działać tylko zmuszeni przez pogarszające się warunki; czy nie będziemy działać w sensowny sposób?



7. Zrozumieć przyszłość

Między apokaliapsą a osobliwością

„Apokalipsa” pochodzi (po łacinie) ze starożytnej greki ἀποκάλυψις. Dosłownie oznacza to „odkrywanie”. W kontekście chrześcijańskim znaczenie przesunęło się w kierunku przepowiedzianego odsłonięcia lub objawienia drugiego przyjścia, a we współczesnym użyciu termin ten stał się synonimem końca życia na Ziemi, dnia sądu lub — używając innego greckiego terminu biblijnego — Armagedon.

[1](#) Jasne i jednoznacznie ostateczne.

Apokaliptyczne wizje przyszłości – z różnymi piekłami oferowanymi przez główne religie – zostały mocno wskrzeszone przez współczesnych propagatorów zagłady, którzy wskazują na szybki wzrost populacji, zanieczyszczenie środowiska, a teraz coraz bardziej na globalne ocieplenie jako grzechy, które przenoszą nas do zaświatów. W przeciwieństwie do tego, niepoprawni technooptyści kontynuują tradycję wiary w cuda i dostarczenie wiecznego zbawienia. Nierzadko można przeczytać, jak sztuczna inteligencja i systemy głębokiego uczenia doprowadzą nas aż do „osobliwości”. Pochodzi z łacińskiego singularis, co oznacza „indywidualny, niepowtarzalny, niezrównany” – ale w tym rozdziale odnosi się do pojęcia osobliwości futurysty Raya Kurzweila, tj. do matematycznego znaczenia tego terminu jako punktu w czasie, w którym funkcja [2](#) przyjmuje nieskończona wartość.

– Przewiduje, że w 2045 r. inteligencja maszyn przewyższy ludzką inteligencję, a to, co nazywa inteligencją biologiczną i niebiologiczną, połączy się, a inteligencja maszynowa wypełni [3](#). To jest ostateczne wzniesienie. Sprawi, że wszechświat wszechświata nieuchronnie bezwysiłkowo, ~~będzie działał z nieskończoną~~ przedsięwzięcie, kolonizacja reszty

Modelowanie złożonych systemów w dużym zakresie często opiera się na produkcji wentylatora możliwych wyników ograniczonych przez prawdopodobne skrajności. Apokalipsa i osobliwość oferują dwa absoluty: nasza przyszłość będzie musiała leżeć gdzieś w tym wszechogarniającym zakresie. To, co jest tak niezwykłe we współczesnych przewidywaniach na przyszłość, to sposób, w jaki skłaniały się – pomimo wszystkich dostępnych dowodów – w kierunku jednej z tych dwóch skrajności. W przeszłości to

tendencja do dychotomii była często opisywana jako starcie katastrofistów i cornucopianów, ale te etykiety wydają się być zbyt nieśmiałe, aby odzwierciedlać niedawną skrajną polaryzację nastrojów.⁴ I tej polaryzacji towarzyszyła większa skłonność do datowanych prognoz ilościowych.

Widać je wszędzie, od samochodów (światowa sprzedaż elektrycznych samochodów osobowych osiągnie 56 mln do 2040 r.) i dwutlenku węgla (UE będzie miała zero emisji netto dwutlenku węgla do 2050 r.) po globalne loty (do 2037 r. będzie 8,2 mld podróżnych).⁵ A przynajmniej tak nam powiedziano. W rzeczywistości większość z tych prognoz nie jest lepsza niż zwykłe domysły: każda liczba na rok 2050 uzyskana za pomocą modelu komputerowego opartego na wątpliwych założeniach – lub, co gorsza, dzięki politycznie korzystnej decyzji – ma bardzo krótki okres trwałości. Moja rada: jeśli chcesz lepiej zrozumieć, jak może wyglądać przyszłość, całkowicie unikaj tych przestarzałych proroctw lub używaj ich przede wszystkim jako dowodu dominujących oczekiwani i uprzedzeń.

Przez pokolenia przedsiębiorstwa i rządy były najczęstszymi praktykami i konsumentami prognozowania, następnie naukowcy licznie przyłączyli się do gry od lat 50., a teraz każdy może być prognostykiem — nawet bez żadnych umiejętności matematycznych — po prostu korzystając z oprogramowania typu plug-in lub (co ostatnio jest modne) poprzez bezpodstawne prognozy jakościowe. Podobnie jak w wielu innych przypadkach nowo poszerzonych przedsięwzięć (przepływ informacji, masowa edukacja), ilość nowoczesnego prognozowania stała się odwrotnie proporcjonalna do jego jakości. Wiele prognoz to nic innego jak najprostsze przedłużenie przeszłych trajektorii; inne są wynikiem skomplikowanych interaktywnych modeli, które zawierają dużą liczbę zmiennych i za każdym razem działają przy różnych założeniach (zasadniczo liczbowy odpowiednik scenariuszy narracyjnych); a niektóre nie mają prawie żadnego składnika ilościowego i są tylko życzeniowymi i niezmiernie poprawnymi politycznie narracjami.

Prognozy ilościowe dzielą się na trzy szerokie kategorie. Najmniejsza zawiera prognozy dotyczące procesów, których działanie jest dobrze znane i których dynamika jest z natury ograniczona do stosunkowo ograniczonego zestawu wyników. Druga, znacznie szersza kategoria, obejmuje prognozy wskazujące właściwy kierunek, ale obarczone znaczną niepewnością co do konkretnego wyniku. A trzecia kategoria (w poprzednim rozdziale opisałem już niektóre z jej ostatnich okazów dotyczących energii i środowiska) to bajki ilościowe: takie prognozy mogą obfitować w liczby, ale liczby są wynikiem wielowarstwowych (i często wątpliwych) założeń i procesy śledzone przez takie skomputeryzowane bajki będą miały bardzo

różne zakończenia w świecie rzeczywistym. Oczywiście ich twórcy mogą bronić heurystycznej wartości takich ćwiczeń, podczas gdy niewtajemniczeni użytkownicy mogą wykorzystać niektóre wnioski do wzmacnienia własnych uprzedzeń lub odrzucenia prawdopodobnych alternatyw.

Tylko prognozy (projekcje, modele komputerowe) w pierwszej kategorii dostarczają solidnych informacji i dobrych wskazówek, zwłaszcza patrząc w przyszłość tylko o dekadę. Prognozy demograficzne w ogóle, a szczególnie prognozy dotyczące płodności, należą do najlepszych przykładów w tej ograniczonej kategorii. Weźmy kraj, w którym całkowita dzietność – to znaczy liczba dzieci, jaką przeciętna kobieta ma w swoim życiu – była poniżej poziomu zastępowalności (średnio co najmniej 2,1 dziecka na kobietę jest potrzebne do zastąpienia rodziców) przez całe pokolenie i co więcej, w ciągu ostatniej dekady spadła z 1,8 do 1,5. Tak bardzo niska dzietność prawdopodobnie nie zostanie odwrócona (żaden kraj nie zrobił tego w ciągu ostatnich trzech dekad), aby sprowadzić jakąkolwiek znaczną populację .
[6](#) Najbardziej prawdopodobną perspektywą jest wzrost dzietności w ciągu najbliższych 10 lat. może Chociaż niemożliwe jest określenie wartości ~~nowotworów ludzka (edycja 2011)~~, ~~lub dalejsza spadek~~, o ileż stosunkowo wąski zakres wysoce prawdopodobnych wyników. Na przykład, według ONZ-owskiej prognozy ludności na rok 2030 całkowita liczba ludności Polski (37,9 mln w 2020 r.) spadła do 36,9 mln, przy czym warianty niskie i wysokie odbiegają tylko o ±2 procent od średniej i (z wyjątkiem masowej imigracji, która jest mało prawdopodobna w kraju niechętnego imigracji) istnieje bardzo duże prawdopodobieństwo, że rzeczywista liczba w 2030 r. będzie mieścić się w tym wąskim zakresie.

7

W przeciwnieństwie do tego, nawet krótkoterminowe prognozy obejmujące złożone systemy — te odzwierciedlające wzajemne oddziaływanie wielu czynników technicznych, ekonomicznych i środowiskowych, na które może mieć duży wpływ szereg arbitralnych decyzji, takich jak nieoczekiwane hojne dotacje rządowe, nowe przepisy lub nagłe zmiany polityki — pozostają wysoce niepewne, a nawet perspektywy krótkoterminowe skutkują w szerokim zakresie możliwych wyników. Prognozy dotyczące ogólnosławiatowego przyjęcia elektrycznych samochodów osobowych są doskonałym przykładem z ostatnich [8](#) Trudności technicznych towarzyszących wprowadzeniu znacznie wokół ~~tegoż pojazdu elektrycznego, który może zasilać baterię do końca paliwa~~ pojazdu elektrycznego, który może zasilać baterię do końca paliwa spalinowe wciąż poprawiają swoją wydajność i przez kolejne lata będą oferować korzyści w postaci niższych kosztów początkowych, znajomości przez pokolenia, i wszechobecny serwis.

I podczas gdy niektóre kraje agresywnie promują posiadanie samochodów elektrycznych, oferując hojne dotacje lub nakazując określone udziały w nowych pojazdach w przyszłości, inne oferowały jedynie niewielką pomoc lub nie oferowały żadnej pomocy. W rezultacie wcześniejsze, krótkoterminowe prognozy dotyczące światowej elektryfikacji transportu drogowego niemal jednolicie przeszacowywały rzeczywisty udział: w latach 2014–2016 wynosił on aż 8–11 proc. do 2020 r., podczas gdy zaledwie 2,5 proc. wszystkich pojazdów na drogach do końca 2010 roku miały wykonać taką wielkości, podczas gdy rzeczywista sprzedaż pojazdów spalinowych może przez ponad dekadę przewyższać liczebnie sprzedaż pojazdów elektrycznych.

[11](#)

Trzecią kategorią prognoz ilościowych jest ta, która zasługuje na bliższe przyjrzenie się, ponieważ z perspektywy czasu wiele z nich nie tylko nie uchwyciło przynajmniej odpowiedniego rzędu wielkości, ale ich twierdzenia i wnioski okazały się całkowicie sprzeczne z tym, co w rzeczywistości stało się.

Co ciekawe, dotyczy to nie tylko dobrze znanych proroctw historycznych, od Biblii po Nostradamusa.

[12](#) Wielu współczesnych proroków nie radziło sobie dużo lepiej, jednak wraz z rozwojem wszechobecnego informatyki ich szeregi się powiększyły, a wraz z nienasyconym zapotrzebowaniem mediów na nowe złe wiadomości, ich przewidywania i scenariusze cieszą się bezprecedensową dystrybucją i (coraz bardziej globalną) uwagą.

Nieudane prognozy

Biorąc pod uwagę mnogość nieudanych prognoz, ich systematyczne przeliczanie, czy to według tematu, dekady, czy regionu, byłoby nużące. Czytelnicy w pewnym wieku pamiętają, że do tej pory powinniśmy byli polegać całkowicie (lub przynajmniej w dużej mierze) na energii jądrowej, że Concorde miał być tylko wstępem do wszechobecnych naddźwiękowych lotów międzykontynentalnych i że usterka Y2K powinna była wyłączyć wszystkie komputery 1 stycznia 2000 roku. Ale połączenie szybkich odniesień do niektórych dobrze znanych przypadków i krótkich wyjaśnień niektórych zaskakująco mało docenianych niepowodzeń zapewnia użyteczną kontrolę rzeczywistości – i nie ma powodu, aby zakładać, że takie błędy będą rzadsze.

Przejście od stosunkowo prostych prognoz ołówkowych i papierowych do złożonych scenariuszy komputerowych ułatwia wykonanie niezbędnych obliczeń i tworzenie różnych scenariuszy, ale nie eliminuje nieuniknionych niebezpieczeństw związanych z przyjmowaniem założeń. Wręcz przeciwnie – bardziej złożone modele

Łączenie interakcji czynników ekonomicznych, społecznych, technicznych i środowiskowych wymaga większej liczby założeń i otwiera drogę do większych błędów.

Oczywistym punktem wyjścia przy wyliczaniu niektórych z klasycznych obecnie niepowodzeń prognozowania jest przyjrzenie się intelektualnemu pojedynkowi między cornucopianami a katastrofistami. Obawy dotyczące zbiegłych populacji przekraczających dostępne środki utrzymania, wyrażane w latach 60., można przypisać rekordowemu, a w tym czasie wciąż rosnącemu, wskaźnikowi globalnego wzrostu populacji. Przez tysiąclecia globalny wzrost populacji wynosił niewielki ułamek procenta; wzrósł powyżej 0,5 procent tylko w latach siedemdziesiątych, powyżej 1% w połowie lat dwudziestych, ale pod koniec lat pięćdziesiątych był bliski 2% i wciąż przyspieszał. Nieuchronnie wiele osób zwróciło uwagę, zarówno w profesjonalnych, jak i popularnych publikacjach, a w 1960 roku Science, czołowe amerykańskie czasopismo naukowe, uległo obawom o niepohamowany wzrost populacji i opublikowało absurdalne obliczenia, twierdzące, że kontynuacja historycznego tempa wzrostu doprowadziłaby do nieskończenie szybki wzrost światowej populacji do 13 listopada 2026 r. [13](#)

Ten wynik – ludzkość rozwijająca się w nieskończonym tempie – wymaga pewnej wyobraźni, ale wiele mniej ekstremalnych, choć wciąż katastroficznych prognoz, pomogło stworzyć i zmobilizować współczesny ruch ekologiczny. [14](#) Ale nie trzeba było obawiać się uciekających populacji: katastrofici zignorowali prosty fakt, że żadna forma bardzo szybkiego wzrostu nie może trwać wiecznie na ograniczonej planecie. Doomsday 2026 był oczywistym nonsensem. Przed końcem lat sześćdziesiątych globalny wzrost populacji osiągnął szczyt na poziomie około 2,1 procent rocznie, a po tym szczycie nastąpił dość szybki spadek: do 2000 roku globalny wskaźnik wynosił 1,32 procent, a do 2019 roku już tylko 1,08 procent. [15](#)

Zmniejszenie o połowę względnego tempa wzrostu w ciągu 50 lat, a następnie spadek bezwzględnego tempa wzrostu (osiągnęło ono szczytowy poziom około 93 mln rocznie w 1987 r., a do 2020 r. spadł do około 80 mln) zmieniło perspektywę tak fundamentalnie, że w pewnym momencie na początku lat dwudziestych światowa populacja przekroczy znaczący demograficzny kamień milowy, ponieważ połowa z nich będzie mieszkać w krajach, w których całkowita dzietność jest poniżej poziomu zastępownalności. [16](#) Ta nowa rzeczywistość natychmiast skłania do nowych, katastrofalnych kalkulacji. Jeśli ten trend spadku dzietności będzie się utrzymywał, kiedy globalna populacja przestanie rosnąć? A potem, nieuchronnie, kiedy umrze ostatni Homo sapiens? A młody katastrofista mógłby ponownie spekulować o tym, ile milionów ludzi umrze z głodu (w latach 80. XX wieku?) – nie z powodu niekontrolowanego wzrostu, ale dlatego, że w miarę starzenia się i kurczenia się populacji nie będzie wystarczająco dużo (nawet po intensywnej robotyzacji) ludzi w wieku produkcyjnym, by nakarmić ludzkość.

Proroctwa końca świata dotyczące niedoboru zasobów nie ograniczały się do żywności: wyczerpywanie się surowców mineralnych to kolejny ulubiony temat katastroficznych wizji, a przyszłość ropy naftowej, najważniejszego źródła energii XX-wiecznej cywilizacji, był ulubionym tematem proroctw dystopycznych. Prognozy zbliżającego się szczytowego wydobycia ropy sięgają lat 20. XX wieku, ale w latach 90. i pierwszej dekadzie XXI wieku osiągnęły nowe szczyty egzystencjalnego strachu.

[17](#) Niektórzy zaangażowani członkowie kultu „szczytu naftowego” wierzyli, że malejące wydobycie ropy nie tylko doprowadzi do upadku nowoczesnych gospodarek, ale także przywróci ludzkość do stylu życia znacznie poniżej poziomu sprzed epoki przemysłowej, aż do stylu paleolitycznych zbieraczy – do hominów, którzy mieszkał w Afryce Wschodniej 2 miliony lat [18](#).

A co się właściwie stało? Katastrofy zawsze mieli trudności czas wyobrażając sobie, że ludzka pomysłowość może zaspokoić przyszłe potrzeby żywieniowe, energetyczne i materialne – ale w ciągu ostatnich trzech pokoleń zrobiliśmy to pomimo potrojenia światowej populacji od 1950 r. Zamiast megaśmierci, odsetek niedożywionych ludzi w krajach o niskich dochodach stale spada, od około 40 procent w latach 60. do około 11 procent w 2019 roku, a średnia dzienna podaż żywności na mieszkańca w Chinach, najbardziej zaludnionym kraju na świecie, jest obecnie o około wyższa niż w Japonii. [19](#) Rozpaczliwych niedoborów nawozów, stosowanie nawozów azotowych wzrosło ponad 2,5 razy od 1975 r., a światowe zbiory podstawowych zboż są obecnie około 2,2 razy większe.

[20](#) Jeśli chodzi o ropę, jej

całkowite wydobycie w latach 1995-2019 wzrosło o dwie trzecie, a pod koniec tego roku jej cena sprzed COVID-19 (w stałych pieniądzach) była niższa niż w 2009 roku.

— Katastrofy raz po raz się mylą.

A technooptymiści, którzy obiecuja niekończące się niemal cudowne rozwiązania, musi liczyć się z podobnie słabymi wynikami. Jedną z najbardziej znanych (i żenującco dobrze udokumentowanych) porażek była wiara w wszechogarniającą moc rozszczepienia jądrowego. Wiele osób docenia, że częściowy sukces osiągnięty przez energetykę jądrową (wyprodukowała około 10 proc. światowej energii elektrycznej w 2019 r., z udziałami na poziomie 20 proc. w USA i wyjątkowo ok. 72 proc. we Francji) to tylko ułamek tego, co było szeroko rozpowszechnione. spodziewany przed 1980 rokiem.

[22](#) W tym czasie czołowi naukowcy i duże firmy nie tylko uważali, że rozszczepienie jądrowe wyeliminuje wszystkie inne formy wytwarzania energii elektrycznej, ale także wierzyli, że pierwotne reaktory zostaną w dużej mierze wyparte przez szybkie hodowle zdolne do produkcji (tymczasowo)

więcej energii niż zużyli. Obietnica nuklearna wykroczyła daleko poza wytwarzanie energii elektrycznej, a niektóre zdumiewająco wątpliwe pomysły zostały przetestowane lub kosztowne zbadane.

Która decyzja była bardziej irracjonalna i bardziej skazana na porażkę od samego początku: pogoń za lotem z napędem jądrowym, czy produkcja gazu ziemnego wspomagana wybuchami jądrowymi? Zaprojektowanie małego reaktora jądrowego, który mógłby zasilać okręty podwodne, to jedno, uczynienie go wystarczająco lekkim, by mógł być w powietrzu, okazało się wyzwaniem nie do pokonania – ale takim, które porzucono dopiero w 1961 roku, po wydaniu miliardów dolarów na to beznadziejne zadanie. [23](#) Żaden samolot napędzany rozszczepieniem jądra atomowego, a kilka bomb atomowych zostało zdetonowanych w dążeniu do zwiększenia produkcji gazu ziemnego. 29-kilotonowa bomba (ponad dwa razy silniejsza niż ta zrzuciona na Hiroszimę) została zdetonowana w grudniu 1967 roku na głębokości około 1,2 kilometra w Nowym Meksyku (kryptonim Project Gasbuggy); we wrześniu 1969 roku w Kolorado spadła 40-kilotonowa bomba; w 1973 trzy 33-kilotonowe bomby, również w Kolorado; a amerykańska Komisja Energii Atomowej przewidywała przyszłe detonacje 40–50 bomb a

rok. [24](#) W planach były również takie działania, jak użycie nuklearnych materiałów wybuchowych wykuwać nowe porty i wykorzystywać reaktory jądrowe do napędzania lotów kosmicznych.

Pół wieku później niewiele się zmieniło: obfitują w przerzążające proroctwa i całkowicie nierealistyczne obietnice. Ostatni wybuch wzmożonego katastrofizmu koncentrował się na ogólnej degradacji środowiska, a w szczególności na obawach związanych z globalną zmianą klimatu. Dziennikarze i aktywiści piszą teraz o klimatycznej apokalipsie, wydając ostatnie ostrzeżenia. W przyszłości obszary najlepiej nadające się do zamieszkania przez ludzi skurczą się, duże obszary Ziemi wkrótce staną się niezdatne do zamieszkania, migracja klimatyczna zmieni kształt Ameryki i świata, średni globalny dochód znacznie się zmniejszy, niektóre proroctwa twierdzą, że możemy mieć tylko około pozostała dekada, aby zapobiec globalnej katastrofie, a w styczniu 2020 r. Greta Thunberg posunęła się do określenia zaledwie ośmiu lat.

[25](#)

Zaledwie kilka miesięcy później przewodniczący Zgromadzenia Ogólnego ONZ dał nam 11 lat na uniknięcie całkowitego upadku społecznego, podczas którego planeta będzie jednocześnie płonąć (cierpiąc nieugaszone pożary latem) i zalewana wodą (poprzez gwałtowny wzrost poziomu morza). Ale nihil novi sub sole: w 1989 r. inny wysoki urzędnik ONZ powiedział, że „rządy mają 10-letnie okno na rozwiązywanie problemu efektu cieplarnianego, zanim wyjdzie on poza kontrolę człowieka”, co oznacza, że do tej pory musimy być całkowicie poza zasięgiem poza nią i że samo nasze istnienie może być tylko kwestią Borgesian, jestem przekonany, że moglibyśmy się obejść bez tej nieustającej wyobraźni.

[26](#)

powódź nie mniej niż niepokojących i zbyt często dość przerażających przepowiedni. Jak pomocne jest mówienie każdego dnia, że świat dobija końca w 2050, a nawet 2030?

Takie przewidywalne powtarzające się proroctwa (jakkolwiek dobrze pomyślane i jednak przedstawiane z pasją) nie udzielają praktycznych porad na temat wdrażania najlepszych możliwych rozwiązań technicznych, najefektywniejszych sposobów prawnie wiążącej współpracy globalnej, ani też stawiania czoła trudnemu wyzwaniu, jakim jest przekonanie ludności o potrzebie znacznych nakładów, z których korzyści nie będą widziane przez dziesięciolecia. I są one oczywiście zupełnie niepotrzebne według tych, którzy twierdzą, że „zrównoważona przyszłość jest w naszym zasięgu”, że katastrofiści mają długą historię wzniecania fałszywych alarmów, którzy zatytułują swoje pisma „Nie apokalipsa!” i Nigdy Apokalipsy, a w najostrzejszej sprzeczności z rzekomo szybko zbliżającą się ostatnią kurtyną cywilizacji, posuwają się nawet (jak już wspomniano) do zobaczenia niezbyt odległej Osobliwości.

[27](#)

Dlaczego mielibyśmy się czegokolwiek bać — czy to ekologicznego, społecznego, czy ekonomicznego? zagrożenia — kiedy do 2045, a może nawet do 2030, nasze zrozumienie (a raczej inteligencja wyzwolona przez stworzone przez nas maszyny) nie będzie знаła granic, a zatem każdy problem stanie się niezmiernie mniej niż błahy? W porównaniu z tą obietnicą, wszelkie inne niedawne konkretne i nieumiarkowane twierdzenia — od zbawienia przez nanotechnologię po tworzenie nowych syntetycznych form życia — wydają się banalne. Co się stanie? Nieuchronne niemal piekielne zatracenie, czy boska wszechmoc z prędkością światła?

Oparte na ujawnionych urojeniach przeszłych proroctw, ani też. My nie Mamy cywilizację wyobrażoną na początku lat siedemdziesiątych — taką, w której głód planety będzie się pogarszał, albo pobudzoną przez bezpłatne rozszczepienie jądra atomu — a za pokolenie nie będziemy ani na końcu naszej ścieżki ewolucyjnej, ani nie będziemy mieć cywilizacji przekształconej przez Osobliwość. W latach 30. XX wieku nadal będziemy istnieć, aczkolwiek bez niewyobrażalnych korzyści płynących z inteligencji prędkości światła. A my nadal będziemy próbować dokonać niemożliwego, tworzyć prognozy dalekosiężne. To z pewnością przyniesie więcej zakłopotania i więcej absurdalnych przepowiedni, a także więcej niespodzianek spowodowanych nieprzewidzianymi wydarzeniami. Skrajności są dość łatwe do wyobrażenia; przewidywanie rzeczywistości, które wynikną z kombinacji bezwładności i nieprzewidywalnych nieciągłości, pozostaje nieuchwytnym poszukiwaniem. Żadna ilość modelowania tego nie wyeliminuje, a nasze dalekosiężne prognozy będą nadal błędne.

[28](#)

To nie jest sprzeczność, nie jest to prognoza odrzucenia przyszłych prognoz, po prostu wysoce prawdopodobny, jeśli nie nieunikniony, wniosek oparty na nieprzewidywalnej interakcji nieodłącznej bezwładności złożonych systemów, z ich wbudowanymi stałymi i długoterminowymi imperatywami z jednej strony oraz nagłymi nieciągłościami i niespodziankami — czy to technicznymi (rozwój elektroniki użytkowej; możliwe przełomy w magazynowaniu energii elektrycznej) czy społeczne (upadek ZSRR; kolejna, znacznie bardziej zjadliwa pandemia) – z drugiej. Tym, co sprawia, że wszystkie prognozy są jeszcze trudniejsze, jest to, że teraz kluczowe przemiany muszą zachodzić na ogromną skalę.

Bezwładność, skala i masa

Nowe odejścia, nowe rozwiązania i nowe osiągnięcia są zawsze z nami: jesteśmy bardzo docieklekiem gatunkiem z niezwykłym, długoletnim doświadczeniem w adaptacji i z jeszcze bardziej niezwykłymi niedawnymi osiągnięciami w zakresie zdrowszego, bogatszego życia większości światowej populacji, bezpiecznej i dłużej. Mimo to utrzymują się również podstawowe ograniczenia: zmieniliśmy niektóre z nich dzięki naszej pomyślowości, ale takie dostosowania mają swoje własne ograniczenia. Na przykład nie możemy wyeliminować zapotrzebowania na ziemię, wodę i składniki odżywcze w produkcji żywności. Jak widzieliśmy, wyższe plony zmniejszyły popyt na grunty rolne, a dalsze redukcje są możliwe, jeśli uda nam się dalej domykać luki w plonach (różnice między potencjałem plonowania a faktycznymi plonami).

Luki te pozostają znaczne. Nawet w krajach, w których stosuje się intensywną uprawę roślin (wysokie użycie nawozów, nawadnianie), plony mogą wzrosnąć o 20–25 procent powyżej niedawnej średniej w przypadku kukurydzy w USA i 30–40 procent w przypadku chińskiego ryżu – a ponieważ nadal bardzo niska średnia produktywność, mogą być dwa do czterech razy wyższe w Afryce subsaharyjskiej. [29](#) W przypadkach wydajnych i już zoptymalizowanych rolnictwa wynikającą z tego redukcję powierzchni upraw można osiągnąć przy stosunkowo niewielkich dodatkowych wymaganiach na nawóz i nawadnianie. W przeciwnieństwie do tego Afryka będzie wymagać znacznego zwiększenia średnich zastosowań makroskładników i rozszerzenia nawadniania. Podobnie jak w wielu innych przypadkach, względny wzrost przyszłej wydajności (w granicach biologicznych) nie powinien być mylony z całkowitym oddzieleniem zmiennych wyjściowych i wejściowych, o ile populacja na świecie nadal rośnie i wymaga lepszego odżywiania.

Pod tym względem doniesienia medialne o „bezrolnym” rolnictwie miejskim – uprawie hydroponicznej w wieżowcach – są szczególnie pozbawione prawdziwego zrozumienia globalnego zapotrzebowania na żywność. Takie wysokonakładowe operacje mogą wytworzyć zielone warzywa liściaste (sałata, bazylia) i niektóre warzywa (pomidory, papryka), których wartość odżywcza tkwi prawie wyłącznie w zawartości witaminy C i paszy objętościowej. [30](#) Z całą pewnością uprawa hydroponiczna przy stałym świetle nie może być stosowana do produkcji ponad 3 miliardów ton zbóż i roślin strączkowych, których wysoka zawartość węglowodanów i stosunkowo wysoka podaż białka i lipidów jest wymagana do wyżywienia prawie 8 (wkrótce 10) miliardów ludzi .

[31](#)

Bezwładność dużych, złożonych systemów wynika z ich podstawowej energii i wymagania materialne – a także skala ich działalności. Na zapotrzebowanie na energię i materiały stale wpływa dążenie do wyższych wydajności i zoptymalizowanych procesów produkcyjnych, ale poprawa wydajności i względna dematerializacja mają swoje fizyczne ograniczenia, a korzyści płynące z nowych alternatyw będą miały zrekompensowane koszty. Przykładów takich rzeczywistości jest mnóstwo. Wracając ponownie do dwóch podstawowych nakładów, teoretyczne minimum energii pierwotnej potrzebnej do produkcji stali (łącząc zapotrzebowanie wielkiego pieca i podstawowego konwertora tlenowego) wynosi około 18 gigadżuli na tonę surówki, a amoniaku nie można zsyntetyzować z jego pierwiastków za pomocą

mniej niż około 21 gigadżuli na tonę. [32](#)

Jednym z możliwych rozwiązań jest zastąpienie stali aluminium. Zmniejsza to masę konkretnego projektu, ale aluminium pierwotne wymaga do wyprodukowania od pięciu do sześciu razy więcej energii niż stal pierwotna i nie może być używane w wielu zastosowaniach, które wymagają znacznie większej wytrzymałości stali. Najbardziej radykalnym sposobem obniżenia kosztów energii i wpływu nawozów azotowych na środowisko jest zmniejszenie ich zużycia: ta opcja jest dostępna w krajach zamożnych z nadmierną podażą żywności i marnotrawstwem – ale setki milionów karłowatych dzieci, głównie w Afryce, muszą pić więcej mleka i jeść więcej mięsa, a biało to może pochodzić tylko ze znacznego zwiększenia ilości azotu wykorzystywanego w uprawach. **Aby potwierdzić ten wniosek, roczne stosowanie nawozów wynosi średnio około 160 kilogramów na hektar gruntów rolnych w UE i mniej niż 20 kilogramów w Etiopii, co stanowi różnicę rzędu wielkości ilustrującą ogromną lukę rozwojową, tak często pomijaną w ocenach globalne potrzeby.** [33](#)

A w cywilizacji, w której produkcja podstawowych towarów obsługuje obecnie prawie 8 miliardów ludzi, każde odejście od ustalonych praktyk również

wielokrotnie napotyka ograniczenia skali: jak już widzieliśmy (w rozdziale 3), podstawowe wymagania materiałowe są obecnie mierzone w miliardach i setkach milionów ton rocznie. Uniemożliwia to albo zastąpienie takich mas zupełnie innymi towarami – co zastąpiłoby ponad 4 miliardy ton cementu lub prawie 2 miliardy ton stali? – albo szybkie (lata, a nie dziesięciolecia) przejście na całkowicie nowe sposoby wytwarzania tych niezbędnych nakładów.

Tę nieuniknioną inercję zależności na masową skalę można w końcu przezwyciężyć (przypomnijmy, że przed 1920 rokiem musieliśmy przeznaczyć jedną czwartą amerykańskiej ziemi uprawnej na paszę dla koni i mułów), ale wiele wcześniejszych przykładów gwałtownych zmian nie jest dobrym przewodnikiem do wiarygodne przedziały czasowe dla wszelkich przyszłych osiągnięć. Wcześniejszego przemiany mogły być stosunkowo szybkie, ponieważ zaangażowane wielkości były stosunkowo małe. Do 1900 r. światowe zużycie energii pierwotnej było mniej więcej podzielone między tradycyjną biomasę i paliwa kopalne zdominowane przez węgiel, a wszystkie paliwa kopalne dostarczały równomierająco.³⁴ Dlatego w 2020 globalna podaż netto paliw kopalnych była o rząd wielkości wyższa niż całkowita podaż energii pierwotnej w 1900 r. i chociaż nasze środki techniczne są obecnie pod wieloma względami lepsze, tempo nowej transformacji (dekarbonizacja) jest wolniejsze niż tempo zastępowania tradycyjnej biomasy paliwami kopalnymi.

Mimo że podaż nowych źródeł odnawialnych (wiatr, energia słoneczna, nowe biopaliwa) wzrosła imponująco, około 50-krotnie, w ciągu pierwszych 20 lat XXI wieku, zależność świata od węgla pochodzącego z paliw kopalnych spadła tylko nieznacznie, z 87 do 85 procent całkowita podaż, a większość tego niewielkiego względnego spadku można przypisać rozwiniętej produkcji hydroelektrycznej, starej formy energii odnawialnej.

³⁵ Ponieważ w 1920 r. całkowite zapotrzebowanie na energię było o rząd wielkości niższe niż w 2020 r., na początku XX wieku znacznie łatwiej było zastąpić drewno węglem niż paliwa kopalne przez nowe odnawialne źródła energii (czyli dekarbonizować) na początku XXI wieku. W rezultacie nawet potrojenie lub czterokrotne niedawne tempo dekarbonizacji nadal pozostawiłoby dominujący węgiel kopalny do 2050 r.

Błąd kategorii – błędne przypisanie czemuś cechy lub działaniu, które można właściwie przypisać tylko rzeczom z innej kategorii – stoi za częstym, ale głęboko błędny wnioskiem, że w tym nowym, elektronicznie wyposażonym świecie wszystko może i będzie poruszać się znacznie szybciej. ³⁶ Tak postępują informacje i powiązania, podobnie jak przyjmowanie nowych osobistych gadżetów – ale egzystencjalne imperatywy nie należą do kategorii

mikroprocesory i telefony komórkowe. Zapewnienie wystarczających dostaw wody, uprawa i przetwarzanie upraw, karmienie i ubój zwierząt, produkcja i przetwarzanie ogromnych ilości energii pierwotnej oraz wydobywanie i zmiana surowców w celu dopasowania do niezliczonych zastosowań to przedsięwzięcia, których skala (wymagana do zaspokojenia zapotrzebowania miliardów konsumentów) oraz infrastruktura (umożliwiająca produkcję i dystrybucję tych niezastąpionych potrzeb) należą do kategorii, które różnią się od tworzenia nowego profilu w mediach społecznościowych lub kupowania droższego smartfona.

Co więcej, wiele technik, które umożliwiają te nowe osiągnięcia, nie jest niczym nowym. Ile osób oczarowanych smukością najnowszego smartfona i jego zdolnością do przetwarzania informacji zdaje sobie sprawę, że wiele fundamentalnych procesów, które umożliwiają ich masowe posiadanie, trwa dość dugo? Bardzo czysty krzem jest podstawą wszystkich mikroprocesorów, w tym tych, które obsługują wszystkie nowoczesne urządzenia elektroniczne — od największych superkomputerów po najmniejszy telefon komórkowy — a Jan Czochralski odkrył, jak hodować pojedyncze kryształy krzemu w 1915 roku. W krzem wbudowano dużą liczbę tranzystorów, a Julius Edgar Lilienfeld opatentował pierwszy tranzystor polowy w 1925 roku. Jak już szczegółowo opisano, układy scalone powstały w latach 1958–1959, a mikroprocesory w 1971 roku.³⁷

Większość elektryczności, która zasila wszystkie elektroniczne gadżety, jest wytwarzana przez turbiny parowe, maszyny wynalezione przez Charlesa A. Parsonsza przez gaz. przez telefony komórkowe w ciągu jednego pokolenia. W 1884 roku lub zastąpienie terawatów mocy zainstalowanej w turbinach parowych i gazowych przez ogniwa fotowoltaiczne lub turbiny wiatrowe w podobnym czasie. Telefony komórkowe, tak złożone, jak są, to tylko małe urządzenia na szczycie ogromnej piramidy przemysłu, który wytwarza, przekształca i przesyła energię elektryczną, a którego budowa, przebudowa i utrzymanie wymaga infrastruktury na masową skalę.

Te realia pomagają wyjaśnić, dlaczego podstawy naszego życia nie zmienią się drastycznie w nadchodzących 20-30 latach, pomimo niemal nieustanego napływu twierdeń o lepszych innowacjach, od ogniw słonecznych po baterie litowo-jonowe, od druku 3D wszystkiego (od mikroczęści po całe domy) po bakterie zdolne do syntezy benzyny. Stal, cement, amoniak i tworzywa sztuczne przetrwają jako cztery materialne filary cywilizacji; znaczna część światowego transportu będzie nadal napędzana rafinowanymi paliwami ciekłymi (benzyny samochodowe i olej napędowy, nafta lotnicza oraz olej napędowy i olej opałowy dla

Wysyłka); pola zbożowe będą uprawiane przez ciągniki ciągnące pugi, brony, siewniki i rozsiewacze nawozów, a zbierane przez kombajny zrzucające ziarno do ciężarówek. Mieszkania w wieżowcach nie zostaną wydrukowane na miejscu przez gigantyczne maszyny, a jeśli niedługo pojawi się kolejna pandemia, rola tak szeroko reklamowanej sztucznej inteligencji będzie rozczerowujące, jak miało to miejsce podczas pandemii SARS-CoV-2 w 2020 roku.

[39](#)

Ignorancja, wytrwałość i pokora

COVID-19 dostarczył doskonałego – i kosztownego – globalnego przypomnienia o naszej ograniczonej zdolności do wykreślania naszej przyszłości, a to również nie zmieni się (nie może) w żaden dramatyczny sposób w nadchodzącym pokoleniu. Najnowsza pandemia nastąpiła po dekadzie, która była przepełniona uwielbionymi pochwałami bezprecedensowego i rzekomo naprawdę „destrukcyjnego” postępu naukowego i technicznego. Najważniejszym z nich było przewidywanie rychłego wdrożenia cudownych mocy sztucznej inteligencji i sieci neuronowego uczenia się (można powiedzieć, Singularity lite) oraz edycji genomu, która umożliwi dowolną inżynierię form życia.

Nic lepiej nie podsumowuje nadmiernego charakteru tych roszczeń niż tytuł bestsellera z 2017 roku, *Homo Deus* Yuvala Noah Harariego. wymagane⁴¹ A jeśli więcej są dowody, wtedy COVID-19 ujawnił pustkę wszelkich wyobrażeń o naszej rzekomej boskiej zdolności do kontrolowania naszego losu: żadna z tych tak reklamowanych zdolności nie była przydatna w zapobieganiu wzrostowi lub kontrolowaniu dyfuzji tych wirusowych nici RNA. Najlepsze, co mogliśmy zrobić, to to, co robili mieszkańcy włoskich miasteczek w średniowieczu: trzymać się z daleka od innych, przebywać w środku przez 40 dni, izolować się na quaranta giorni. wcześnie, ale nie leczą poszkodowanych i nie zapobiegają kolejnej epidemii. Mysząc się, nie wiadomości, aby następne wydarzenie (bo zawsze jest następne!) nastąpiło dopiero po dziesięcioleciach stosunkowo spokojnych sezonowych epidemii wirusowych, a nie za kilka lat i w znacznie bardziej zjadliwej formie.

Wpływ COVID-19 ogólnie na bogate kraje, a w szczególności na Stany Zjednoczone, pokazuje również, jak źle ulokowane były niektóre z naszych bardzo reklamowanych (i bardzo drogich) przedsięwzięć kształtujących przyszłość. Najważniejszym z nich są odnowione kroki w kierunku załogowych lotów kosmicznych, a zwłaszcza cel misji na Marsa w stylu science fiction; dążenie do medycyny spersonalizowanej (diagnostyka i leczenie dostosowane do indywidualnych potrzeb pacjenta w oparciu o:

ich specyficzne ryzyko lub reakcja na chorobę), a The Economist opublikował specjalny raport na ten temat w dniu 12 marca 2020 r., Kiedy COVID-19 zaczął rozprzestrzeniać się w Europie i Ameryce Północnej, wypełniając miejskie szpitale ludźmi pozbawionymi tlenu; i zaabsorbowanie coraz szybszą łącznością, z niekończącym się szumem wokół zalet sieci 5G. ⁴³ Jak nieistotne są wszystkie te poszukiwania, podczas gdy (jak to się — utarło) jedynie pozostałe supermocarstwo nie mogło zapewnić swoim pielęgniarkom i lekarzom wystarczającej ilości prostego sprzętu ochrony osobistej, w tym tak mało zaawansowanych technologicznie przedmiotów, jak rękawiczki, maski, czapki i fartuchy?

W związku z tym Stany Zjednoczone musiały płacić wygórowane ceny Chinom – krajowi, w którym genialni architekci globalizacji skoncentrowali prawie całą produkcję tych niezbędnych przedmiotów – w celu zabezpieczenia transportów powietrznych z niewystarczającą ilością sprzętu ochronnego tylko po to, aby zapobiec zamknięciu szpitali w środku pandemii. bilionów rocznie ⁴⁴ Kraj, który wydaje ponad połowę wszystcy jego potencjalni przeciwnicy razem wzięci) był nieprzygotowany na wydarzenie, które było absolutnie pewne, i nie miał wystarczającej ilości podstawowych środków medycznych: inwestycje w produkcję krajową o wartości kilkuset milionów dolarów mogły znacznie zmniejszyć straty ekonomiczne COVID-19, mierzone w bilionach! ⁴⁵

Europa też się nie wyróżniała. państwa członkowskie zaangażowane w rywalizację o duże samoloty z plastiku ochronnego z Chin; osławiony brak granic szybko przekształcił się w układ forteczny; coraz bliższy związek nie był w stanie zapewnić żadnej skoordynowanej reakcji na skalę ogólnozwiązkową; w ciągu pierwszych sześciu miesięcy pandemii cztery z pięciu najludniejszych krajów kontynentu (Wielka Brytania, Francja, Włochy i Hiszpania) oraz dwa z jego najbogatszych krajów (Szwajcaria i Luksemburg) – których systemy opieki zdrowotnej przez dziesięciolecia były chwalone jako wzór doskonałość — zarejestrowano jedne z najwyższych na świecie śmiertelności z powodu pandemii. ⁴⁶ Kryzys obnażała głębię odległości, na jakie państwa reagują na COVID-19, zasługując na jeden ironiczny komentarz: rzeczywiście Homo deus !

Jednocześnie reakcja bogatego świata na COVID-19 ilustruje nasz wiecznie nierealistyczny stosunek do fundamentalnych rzeczywistości spowodowany zapominaniem nawet traumatycznych doświadczeń. Gdy pandemia COVID-19 zaczęła się rozwijać, nie spodziewałem się, że to wyzwanie zostanie osadzone w odpowiednich perspektywach historycznych (czego innego można się spodziewać w społeczeństwie zdominowanym przez tweety?), i nie zaskoczyły mnie odniesienia do 1918- grypy z 1919 r., która spowodowała najwyższą, choć na całym świecie wysoce niepewną, liczbę zgonów w wyniku pandemii w

Współczesna historia.⁴⁷ Ale, jak już wspomniałem w rozdziale o ryzyku, od tego czasu przeżyliśmy trzy godne uwagi (i znacznie lepiej zrozumiane) epizody i nie pozostawiły one żadnego głębokiego śladu w naszej zbiorowej pamięci.

Zasugerowałem już kilka wyjaśnień, ale inne są wiarygodne. Czy żniwo ponad miliona zgonów w latach 1957–1958 (w większości krajów miało to miejsce narastająco w ciągu 6–9 miesięcy) było postrzegane przez pryzmat znacznie większych strat II wojny światowej, które wciąż były wyraźne w pamięci wszystkich dorosłych? A może nasza zbiorowa percepja zmieniła się do tego stopnia, że nie możemy zaakceptować faktu, że tymczasowa nadmierna śmiertelność zawsze będzie poza naszą kontrolą? A może jest to po prostu fakt, że zapominanie jest niezbędnym uzupełnieniem pamiętania, czy to na poziomie osobistym, czy zbiorowym, i że to również się nie zmieni, ponieważ będziemy ciągle zaskakiwać tym, czego należało się spodziewać?

Wytrwałość jest równie ważna jak zapominanie: pomimo obietnic nowego początki i śmiałe odejścia, stare wzorce i stare podejścia wkrótce powracają, aby przygotować grunt pod kolejną rundę niepowodzeń. Proszę wszystkich czytelników, którzy w to wątpią, aby sprawdzili nastroje w trakcie i bezpośrednio po wielkim kryzysie finansowym 2007-2008 – i porównali je z doświadczeniami pokryzysowymi. Kogo uznano za odpowiedzialnego za to systemowe bliskie załamanie ładu finansowego? Jakie fundamentalne odejścia (oprócz ogromnych zastrzyków nowych pieniędzy) zostały podjęte w celu zreformowania wątpliwych praktyk lub zmniejszenia nierówności ekonomicznych?

[48](#)

Wracając do przykładu COVID-19, ten wzór trwałości oznacza, że nikt nigdy nie zostanie uznany za odpowiedzialnego za którykolwiek z wielu strategicznych pomyłek, które gwarantowały złe zarządzanie pandemią jeszcze przed jej rozpoczęciem. Niewątpliwie niektóre zdawkowe przesłuchania i kilka artykułów z think-tanków stworzą listę zaleceń, ale zostaną one szybko zignorowane i nie wpłyną na głęboko zakorzenione nawyki. Czy świat podjął jakieś zdecydowane kroki po pandemii z lat 1918-1919, 1958-1959, 1968-1969 i 2009? Rządy nie zapewnią odpowiednich dostaw potrzebnych na przyszłą pandemię, a ich reakcja będzie tak niespójna – jeśli nie tak niespójna – jak zawsze. Zyski z produkcji z jednego źródła na masową skalę nie zostaną zamienione na mniej podatną, ale droższą produkcję zdecentralizowaną. A ludzie powrócą do ciągłego globalnego mieszania się, gdy wrócą do lotów międzykontynentalnych i rejsów donikąd, chociaż trudno wyobrazić sobie lepszy inkubator wirusów niż statek z 3000

załogi i 5000 pasażerów, którzy są często w większości w podeszłym wieku z wieloma wcześniejszymi schorzeniami.⁴⁹ Oznacza to również, że będziemy musieli wciąż na nowo uczyć się, jak pogodzić się z rzeczywistością poza naszą kontrolą. COVID-19 to przydatne przypomnienie. Pandemia spowodowała najwyższą nadmierną śmiertelność wśród najstarszych kohort i, jak już wspomniano, wynik ten jest oczywiście powiązany z naszymi bardzo udanymi wysiłkami na rzecz wydłużenia średniej długości życia.

[50](#) Ja, urodzony

w 1943 roku, znalazłem się wśród dziesiątek milionów beneficjentów tego trendu – ale nie możemy mieć tego w obie strony: dłuższej oczekiwanej długości życia towarzyszyć będzie większa wrażliwość. Nic dziwnego, że choroby współistniejące w starszym wieku – od dość powszechnego nadciśnienia i cukrzycy po mniej powszechnie formy raka i obniżoną odporność – były najlepszymi predyktormi nadmiernej śmiertelności wirusowej.

[51](#)

Nie przeszkodzi nam to jednak, jak nie w roku 1968 czy 2009, brać więcej kroki w kierunku przedłużenia średniej długości życia – a następnie obawianie się prawdopodobnych konsekwencji tego poszukiwania (widocznych, w mniejszym, ale nadal istotnym stopniu, nawet podczas sezonowych epidemii grypy). Poza następnym razem ryzyko będzie znacznie wyższe, ponieważ połączenie naturalnego starzenia się i wydłużenia życia znacznie zwiększy udział osób powyżej 65 roku życia. Projekty ONZ, których udział wzrosnie o około 70 procent do 2050 r., a w zamożniejszych krajach jedna osoba na cztery będzie starsza.⁵² Jak poradzimy sobie w 2050 r. z pandemią, która może być bardziej zakaźna niż COVID-19, kiedy krajach jedna trzecia populacji należy do kategorii najbardziej podatnej na zagrożenia?

Te realia obalają wszelką ogólną, automatyczną, zakorzenioną, nieuniknioną ideę postępu i ciągłego doskonalenia, promowaną przez wielu technooptymistów. Ani ewolucja, ani historia naszego gatunku nie są ciągle wznoszącą się strzałą. Nie ma przewidywalnych trajektorii, nie ma określonych celów.

Stale gromadząca się masa naszego zrozumienia i zdolność do kontrolowania rosnącej liczby zmiennych, które wpływają na nasze życie (od produkcji żywności wystarczającej do wykarmienia całej populacji świata, po wysoce skuteczne szczepienie, które zapobiega wcześniejszym niebezpiecznym chorobom zakaźnym) obniżyło ogólną ryzyko życia, ale nie uczyniło wielu egzystencjalnych zagrożeń bardziej przewidywalnymi ani łatwiejszymi do opanowania.

W niektórych krytycznych przypadkach nasze sukcesy i nasze umiejętności unikania najgorszego wyniki wynikały z bycia przewidującym, czujnym i zdeterminowanym, aby znaleźć skuteczne rozwiązania. Godne uwagi przykłady obejmują wyeliminowanie polio (przez

opracowanie skutecznych szczepionek) do obniżenia ryzyka lotów komercyjnych (poprzez budowę bardziej niezawodnych samolotów i wprowadzenie lepszych środków kontroli lotu), od redukcji patogenów pokarmowych (poprzez połączenie prawidłowego przetwarzania żywności, chłodzenia i higieny osobistej) po sprawienie, by białaczka dziecka stała się w dużej mierze choroby możliwe do przeżycia (poprzez chemioterapię i przeszczepy komórek macierzystych). uniknęliśmy konfrontacji nuklearnej. W tej sprawie powinno być jasne, że dziesięciolecia temu, kiedy technologia była jeszcze wczesnym okresem rozwoju, nie mogłyśmy się tego dokonać. Wysokość bezpieczeństwa i zaufania do technologii, której nie ma, jest niezwykle istotna dla dalekiej przyszłości.

poszło w obie strony.⁵⁴ Ponownie, nie ma wyraźnych oznak, że nasza zdolność do zapobiegania awariom stale rośnie.

Fukushima i Boeing 737 MAX to niestety dwa doskonałe przykłady tych niepowodzeń – zarówno z dużymi, jak i trwałymi konsekwencjami.

Dlaczego Tokyo Power Company straciło trzy reaktory w elektrowni Fukushima Daiichi, gdy 11 marca 2011 r. nastąpiło trzęsienie ziemi i tsunami?

W końcu zaledwie około 15 kilometrów na południe od zakładu, na tym samym wybrzeżu Pacyfiku dotknietym tym samym tsunami, jego bliźniaczka, Fukushima Daini, nie doznała najmniejszego uszkodzenia. Reperkusje niepowodzenia w Fukushima Daiichi sięgały od pozbawienia Japonii 30 procent mocy wytwórczych energii elektrycznej po decyzję Niemiec o wyłączeniu wszystkich reaktorów do 2021 r., a przede wszystkim na jeszcze głębszą publiczną nieufność do rozszczepienia jako źródła energii. .

I dlaczego Boeing — firma, która zaryzykowała wszystko, rozwijając się? 747 w 1966 r., a następnie wprowadził nowe, odnoszące sukcesy rodzinę samolotów pasażerskich (obecnie do 787) – nalegał na ciągłe powiększanie 737 (wprowadzonego w 1964 r.), co było wątpliwą misją, która doprowadziła do dwóch katastrofalnych wypadków?

⁵⁵ Dlaczego samolot nie został uziemiony, ani przez Boeinga, ani przez Federalną Administrację Lotnictwa, zaraz po pierwszym śmiertelnym wypadku? Ponownie konsekwencje tych awarii były głębokie: najpierw tymczasowe uziemienie całej floty 737 MAX od marca 2019 r., potem zaprzestanie produkcji samolotu i anulowanie nowych zamówień. Na dłuższą metę wpłynie to na zdolność Boeinga do wprowadzenia bardzo potrzebnego nowego projektu, który zastąpi jego starzejący się 757 (ze wszystkimi tymi konsekwencjami spotęgowanymi przez wywołany przez COVID upadek międzynarodowych lotów).

Biorąc pod uwagę liczbę nowych projektów, struktur, skomplikowanych procesów i interaktywnych operacji, niepowodzeń zilustrowanych przez Fukushima i Boeinga 737 MAX nie da się zapobiec, a nadchodzące dziesięciolecia przyniosą inne (i nieprzewidywalne) przejawy tej rzeczywistości. Przyszłość to powtórka z przeszłości

— połączenie godnych podziwu postępów i (nie)uniknionych niepowodzeń. Ale gdy patrzymy w przyszłość, pojawia się coś nowego, to bezbłędnie rosnące (choć nie jednoznaczne) przekonanie, że ze wszystkich zagrożeń, przed którymi stojmy, globalne zmiany klimatyczne są tym, któremu należy najpilniej i skuteczniej przeciwdziałać. I są dwa podstawowe powody, dla których ta kombinacja szybkości i skuteczności będzie znacznie trudniejsza do zrealizowania, niż się ogólnie zakłada.

Bezprecedensowe zobowiązania, opóźnione nagrody

Poradzenie sobie z tym wyzwaniem, po raz pierwszy w historii, będzie wymagało prawdziwie globalnego, a także bardzo znaczącego i długotrwałego zaangażowania. Konkluzja, że będziemy w stanie osiągnąć dekarbonizację w najbliższym czasie, skutecznie i na wymaganą skalę, jest sprzeczna z wszelkimi dowodami z przeszłości. Pierwsza konferencja klimatyczna ONZ odbyła się w 1992 roku, a w kolejnych dziesięcioleciach mieliśmy szereg globalnych spotkań oraz niezliczone oceny i badania – ale prawie trzy dekady później nadal nie ma wiążącego międzynarodowego porozumienia w sprawie ograniczenia rocznych emisji gazów cieplarnianych i brak perspektyw na jego wcześniejsze przyjęcie.

Aby było to skuteczne, musiałoby to wiązać się z niczym innym, jak z globalnym porozumieniem. Nie oznacza to, że 200 krajów musi podpisać się w liniach przerywanych: łączne emisje około 50 małych krajów stanowią mniej niż prawdopodobny błąd w kwantyfikacji emisji tylko pięciu największych producentów gazów cieplarnianych. Nie można osiągnąć żadnego rzeczywistego postępu, dopóki przynajmniej pięć największych krajów, które są obecnie odpowiedzialne za 80 procent wszystkich emisji, nie zgodzi się na jasne i wiążące zobowiązania. Ale nie jesteśmy bliscy podjęcia takiej decyzji, by tak działań globalnych. konkretnie nie podjęto żadnych działań, które mogłyby prowadzić do takiego rezultatu, a niewiążące obietnice niczego nie złagodzą – do 2050 r. będą skutkować 50 procentami wyższymi emisjami!

Co więcej, wszelkie skuteczne zobowiązania będą kosztowne, będą musieli trwać przez co najmniej dwa pokolenia, aby przynieść pożądany rezultat (znacznie zredukowanej, jeśli nie całkowicie wyeliminowanej, emisji gazów cieplarnianych), a nawet drastyczne redukcje, wykraczające daleko poza wszystko, co można realistycznie przewidzieć, nie przyniosą żadnych przekonujących korzyści przez dziesięciolecia. [58](#) To podnosi niezwykle trudny problem sprawiedliwości międzypokoleniowej — to znaczy naszej nieustannej skłonności do dyskontowania przyszłości. [59](#)

Teraz cenimy bardziej niż później i odpowiednio to wyceniamy. zapalony 30-Rocznego alpinista jest gotów zapłacić około 60 000 dolarów za pozwolenia, sprzęt, Szerpów, tlen i inne wydatki, aby wspiąć się na Mount Everest w przyszłym roku. Domagałby się jednak znacznej zniżki – odzwierciedlającej tak oczywiste wątpliwości, jak jego zdrowie, stabilność przyszłych rządów nepalskich, prawdopodobieństwo, że poważne trzęsienia ziemi w Himalajach uniemożliwią jakiekolwiek ekspedycje oraz prawdopodobieństwo zamknięcia dostępu – za kupienie obietnicy zwiększenia skali góry w 2050 roku. Ta powszechna skłonność do dyskontowania przyszłości ma duże znaczenie, gdy rozważa się tak złożone i kosztowne przedsięwzięcia, jak wycena węgla w celu złagodzenia globalnych zmian klimatycznych, ponieważ nie byłoby dostrzegalnych korzyści ekonomicznych dla pokolenia ludzi, którzy rozpoczęliby kosztowną misję. Ponieważ gazy cieplarniane pozostają w atmosferze przez długi czas po ich emisji (w przypadku CO₂ nawet do 200 lat), nawet bardzo silne działania łagodzące nie dałyby wyraźnego sygnału sukcesu – pierwszego znaczącego spadku średniej globalnej temperatury powierzchni — przez kilkadziesiąt lat. [60](#) Oczywiście wzrost temperatury trwał 25–35 lat po

rozpoczęcie masowych wysiłków na rzecz dekarbonizacji na skalę światową stanowiłoby poważne wyzwanie dla wprowadzenia i realizacji tak drastycznych środków. Ale ponieważ obecnie nie ma globalnie wiążących zobowiązań, które mogłyby doprowadzić do powszechnego przyjęcia takich kroków w ciągu kilku lat, zarówno próg rentowności, jak i początek mierzalnych spadek temperatury przesuwają się jeszcze dalej w przyszłość. Powszechnie stosowany model gospodarki klimatycznej wskazuje, że rok progu rentowności (kiedy optymalna polityka zacznie przynosić korzyści gospodarcze netto) dla działań łagodzących rozpoczętych na początku lat 2020, to dopiero około 2080 roku.

Jeśli średnia światowa średnia długość życia (około 72 lata w 2020 r.) pozostanie taka sama, to pokolenie urodzone w połowie XXI wieku będzie pierwszym, które doświadczy skumulowanych korzyści ekonomicznych netto ze zmian klimatu polityka łagodzenia. [61](#) Czy młodzi obywatele zamożnych krajów są gotowi przedłożyć te odległe korzyści ponad swoje bardziej bezpośrednie? Czy są gotowi utrzymać ten kurs przez ponad pół wieku, mimo że kraje o niskich dochodach, z rosnącą populacją, nadal, dla podstawowego przetrwania, rozszerzają swoją zależność od węgla kopalnego? Czy ludzie po czterdziestce i pięćdziesiątce są gotowi dołączyć do nich, aby przynieść nagrody, których nigdy nie zobaczą?

Ostatnia pandemia posłużyła jako kolejne przypomnienie, że jednym z najlepszych sposobów na zminimalizowanie wpływu coraz bardziej globalnych wyzwań jest posiadanie zestawu

priorytetów i podstawowych środków, jak sobie z nimi radzić – ale pandemia, z jej niespójnymi i niejednolitymi międzynarodowymi i międzynarodowymi środkami, pokazała również, jak trudno byłoby skodyfikować takie zasady i przestrzegać takich wytycznych. Niepowodzenia ujawnione podczas kryzysów stanowią kosztowne i przekonujące ilustracje naszej powtarzającej się niezdolności do prawidłowego opanowania podstaw, zadbania o podstawy. Do tej pory czytelnicy tej książki zrozumieją, że ta (krótka) lista musi obejmować bezpieczeństwo podstawowych dostaw żywności, energii i materiałów, przy jak najmniejszym możliwym wpływie na środowisko, a wszystko zrobione z realistyczną oceną kroków, które podejmujemy. może podjąć, aby zminimalizować zasięg przyszłego globalnego ocieplenia. To zniechęcająca perspektywa i nikt nie może być pewien, że odniesiemy sukces – lub że poniesiemy porażkę.

Bycie agnastykiem wobec odległej przyszłości oznacza bycie szczerym: musimy przyznać się do granic naszego zrozumienia, z pokorą podchodzić do wszystkich planetarnych wyzwań i zdawać sobie sprawę, że postępy, niepowodzenia i porażki nadal będą częścią naszej ewolucji i że mogą nie będzie żadnej gwarancji (jakkolwiek zdefiniowanego) ostatecznego sukcesu, żadnego osiągnięcia jakiejkolwiek osobliwości – ale tak dugo, jak będziemy korzystać z naszego nagromadzonego zrozumienia z determinacją i wytrwałością, nie będzie również wczesnego końca. Przyszłość wyłoni się z naszych osiągnięć i niepowodzeń i chociaż możemy być na tyle sprytni (i szczęścia), aby przewidzieć niektóre jej formy i cechy, całość pozostaje nieuchwytna, nawet patrząc tylko o pokolenie do przodu.

Pierwszy szkic tego zamykającego rozdział powstał 8 maja 2020 r., w 75. rocznicę zakończenia II wojny światowej w Europie. Wyobraźmy sobie scenariusz, w którym tego wiosennego dnia w połowie XX wieku mała grupa ludzi ucieleśniających całą ówczesną wiedzę zasiadła do dyskusji i przewidywania stanu świata w 2020 roku. Świadomość najnowszych przełomów w dziedzinach począwszy od inżynierii (turbiny gazowe, reaktory jądrowe, komputery elektroniczne, rakiety) po nauki przyrodnicze (antybiotyki, pestycydy, herbicydy, szczepionki), mogli prawidłowo przewidzieć wiele rosnących trajektorii, od masowej mobilizacji i przystępnych cenowo lotów międzykontynentalnych po komputery elektroniczne i od zwiększenie plonów do znacznego wydłużenia oczekiwanej długości życia.

Ale nie byłby w stanie opisać postępów, złożoności i niuanse świata, które stworzyliśmy dzięki naszym osiągnięciom i porażkom w ciągu minionych 75 lat. Aby podkreślić tę niemożliwość, wystarczy pomyśleć w kategoriach narodowych. W 1945 roku japońskie drewniane miasta zostały (z wyjątkiem Kioto) zasadniczo zrównane z ziemią. Europa była w powojennym nieładzie, wkrótce podzielona przez zimną wojnę. ZSRR zwyciężył, ale ogromnym kosztem, i to

pozostał pod bezwzględnymi rządami Stalina. Stany Zjednoczone stały się bezprecedensowym supermocarstwem, generującym około połowy światowego produktu gospodarczego. Chiny były rozpaczliwie biedne i znów na krawędzi wojny domowej. Kto mógł prześledzić ich specyficzne trajektorie wzlotów i upadków (Japonia), nowego dobrobytu, nowych problemów, nowej jedności i nowego rozłamu (Europa), agresywnej ufności („Pogrzebiemy was!”) i zgonu (ZSRR), błędów, porażek, zmarnowanych osiągnięć i niezrealizowanych możliwości (USA) i cierpienia, największego głodu na świecie, powolnego powrotu do zdrowia i stromego wznoszenia się na wątpliwe wyżyny (Chiny)?

Nikt w 1945 roku nie mógł przewidzieć świata z więcej niż 5 miliardami dodatkowych ludzi, który jest również lepiej odżywiony niż kiedykolwiek w historii – nawet jeśli nadal marnuje nieuchronnie dużą część całej uprawianej przez siebie żywności. Nikt też nie przewidział świata, w którym wiele chorób zakaźnych (zwłaszcza polio na całym świecie i gruźlicę w krajach zamożnych) zepchnięto do historycznych przypisów, ale to nie powstrzyma nierówności ekonomicznych przed pogłębianiem się nawet w najbogatszych krajach; świat, który jest jednocześnie znacznie czystszy i zdrowszy, a jednocześnie bardziej zanieczyszczony na nowe sposoby (od plastiku w oceanie po metale ciężkie w glebie), a ze względu na trwającą degradację biosfery również bardziej niepewny; lub świat przesycony natychmiastową i zasadniczo darmową informacją, za cenę masowo rozpowszechnianych dezinformacji, kłamstw i nagannych twierdzeń.

Życie później nie ma powodu, by sądzić, że jesteśmy w lepszej sytuacji przewidzieć zakres nadchodzących innowacji technicznych (o ile oczywiście nie wierzysz w zbliżającą się Osobliwość), wydarzenia, które będą kształtować losy narodów oraz decyzje (lub ich godny ubolewania brak), które zadecydują o losie naszej cywilizacji w ciągu następnych 75 lat. Pomimo niedawnego zaabsorbowania ewentualnymi skutkami globalnego ocieplenia i koniecznością szybkiej dekarbonizacji, niewiele niepewnych wyników będzie tak ważnych dla określenia naszej przyszłości, jak trajektoria globalnej populacji w pozostałe części XXI wieku.

Ekstremalne prognozy oferują zupełnie inną przyszłość: czy globalna populacja przekroczy 15 miliardów do 2100 r. (prawie dwa razy więcej niż w 2020 r.), czy też skurczy się do 4,8 miliarda, tracąc ponad połowę dzisiejszej całości, a Chiny skurczą się o 48 procent.⁶² Zgodnie z oczekiwaniemi średnie warianty tych prognoz nie różnią się aż tak daleko (8,8 i 10,9 mld). Mimo to odległość 2 miliardów ludzi nie jest nieistotną luką, a te porównania pokazują, jak nawet podstawowe prognozy dotyczące populacji różnią się już po jednym pokoleniu. Zbyt oczywiste, nawet

kiedy prognozy sięgają jedynie dzisiejszej średniej długości życia w krajach zamożnych, implikacje ich skrajnych wartości kształtują dwie bardzo różne trajektorie gospodarcze, społeczne i środowiskowe. A ponieważ pierwszy i drugi szkic tej książki zostały napisane podczas pierwszej i drugiej fali COVID-19, całkiem realistyczne jest pytanie, czy nowe pandemie, z którymi przyjdzie nam się zmierzyć do końca XXI wieku (biorąc pod uwagę ich częstotliwość po 1900 r. — 1918, 1957, 1968, 2009, 2020 — możemy się spodziewać, że co najmniej dwa lub trzy takie wydarzenia przed 2100) będą podobne, znacznie słabsze lub znacznie bardziej zjadliwe niż wydarzenie w 2020 roku.

Życie z tymi fundamentalnymi niepewnościami pozostaje istotą ludzkiej kondycji – i ogranicza naszą zdolność do działania przewidującego.

Jak zauważyłem w rozdziale otwierającym, nie jestem pesymistą ani optimistą, jestem naukowcem. Nie ma żadnego planu w zrozumieniu, jak naprawdę działa świat.

Realistyczne ujęcie naszej przeszłości, teraźniejszości i niepewnej przyszłości jest najlepszą podstawą do zbliżenia się do niepoznawalnej przestrzeni czasu przed nami. Chociaż nie możemy być konkretni, wiemy, że najbardziej prawdopodobna perspektywa jest mieszanką postępu i niepowodzeń, pozornie niemożliwych do pokonania trudności i prawie cudownych postępów. Przyszłość, jak zawsze, nie jest z góry określona. Jego wynik zależy od naszych działań.

Dodatek: Zrozumienie liczb rzędy wielkości

Czas leci, organizmy rosną, rzeczy się zmieniają. W świecie fikcji te nieubłagane procesy i rezultaty traktuje się niemal bez wyjątku w kategoriach jakościowych. W baśniach zawsze było, a bohaterowie są bogaci (książęta) i biedni (Kopciuszki), piękni (dziewczyny) i brzydcy (ogry), odważni (rycerze) lub bojaźliwi (myszy). Liczby zwykle wchodzą tylko jako proste liczniki, jako urządzenia służące do fabuły, często trójkami: trzech braci, trzy życzenia, trzy małe świniki...

Niewiele zmian we współczesnej fikcji.

Lady Brett Ashley z Hemingwaya jest „cholernie ładna”, ale nigdy nie poznajemy jej wzrostu, a opowiadany przez Fitzgeralda Gatsby pojawi się po raz pierwszy jako „mężczyzna mniej więcej w moim wieku” i nigdy nie dowiadujemy się o jego wieku – ani o jego prawdziwym bogactwie. Tylko dokładny czas staje się nieco bardziej widoczny, często w pierwszym zdaniu. Pieniądze Zoli: „Jedenasta właśnie uderzyła w giełdę...” Intruz w pyle Faulknera: „W niedzielny poranek było właśnie w południe...” Jeden dzień z życia Iwana Denisowicza Sołżenicyna: „O piątej rano tego ranka ...”

W przeciwnieństwie do tego, dzisiejszy świat jest pełen liczb. Nowe bajki, opowieści o nieprawdopodobnych miliarderach, niezawodnie odnotowują ostatnie sumy na swoim koncie; nowe tragedie, doniesienia o ostatnim zatonięciu promu lub kolejnym masowym zabójstwie, zawsze wiążą się z liczbą ofiar. Codzienne liczenie zgonów w kraju i na świecie stało się nieuniknionym znakiem pandemii w 2020 roku. Nasz jest nowym, ilościowym światem, w którym ludzie mierzą liczbę swoich „przyjaciół” (na Facebooku), swoich codziennych kroków (według Fitbit) i swoich zdolności inwestycyjnych (pokonując średnią NASDAQ). Ta kwantyfikacja jest wszechobecna, ale zbyt często jej jakość jest wątpliwa, ponieważ liczby wahają się od precyzyjnych i powtarzanych pomiarów po niechlujne założenia i nieostrożne szacunki. Niestety, niewielu ludzi, którzy widzą, powtarzają i używają tych liczb, kwestionuje ich pochodzenie i bardzo niewielu próbuje je oceniać w kontekście. Ale nawet najlepsze współczesne liczby — te, które mogą być doskonałymi miarami

złożone rzeczywistości — są często nieuchwytnie, ponieważ reprezentują wielkości, które są albo zbyt duże, albo zbyt małe, aby można je było pojąć intuicyjnie.

To sprawia, że są łatwym przedmiotem do wprowadzenia w błąd i nadużycia. Nawet dzieci w wieku przedszkolnym mają mentalny system reprezentacji wielkości, który tworzy intuicyjne „poczucie liczby”, a zdolność ta poprawia się wraz z nauką.¹ Oczywiście ten system liczbowy jest tylko przybliżony i zawodzi, gdy ilości rosną do tysięcy, milionów i miliardów. Tutaj przydają się rzędy wielkości. Pomyśl o nich po prostu jako o całkowitej liczbie cyfr po pierwszej cyfrze dowolnej liczby całkowitej lub liczbie cyfr po pierwszej cyfrze przed przecinkiem dziesiętnym. Żadna cyfra nie występuje po 7 (i żadna dodatkowa cyfra nie znajduje się między pierwszą liczbą a przecinkiem dziesiętnym w 3,5), a zatem obie te liczby są zerowego rzędu wielkości. Wyraża się to na skali logarytmicznej o podstawie 10 (dekadowej) jako 10^0 . Dowolna liczba od 1 do 10 będzie wielokrotnością 10. Zalety 10^0 , 10^1 staje się 10^2 , 20 to 2×10^1 . tego stają się szybko widoczne, gdy liczby rosną.

10-krotny skok prowadzi nas do przedmiotów liczonych w setkach (10^2), a następnie do tysiące (10^3), dziesiątki tysięcy (10^4), setki tysięcy (10^5), oraz milionów. w⁶.

2020 roku świat miał około 2100 miliarderów (10 dolarów), a najbogatsi są obecnie wyceniani na ponad 100 miliardów dolarów lub 11 2×10^1 dolarów.

10^7 lub setki (10^8) z 10^9

kilkoma poszczęśliwymi ludźmi i w doskonale wykształconym i fryska geniu z migrantami za kilkadziesiąt dolarów, różnica wynosi 10 rzędów wielkości.

Różnica ta jest tak duża, że nie znajdziemy odpowiednika wśród właściwości oddzielających dwie najważniejsze klasy zwierząt lądowych: ptaków i ssaków. Różnica między masami ciała najmniejszych i największych ssaków (ryjówka etruska ma 10 słonia na 10 lat między rozpiętością głowy i rynku i najbliższego i największego latającego ptaka, kiedyś zazwyczaj w Bokosym Róni condor andyjski na 320 centymetrów) jest tylko dwa rzędy wielkości.

³ Najwyraźniej niektórzy ludzie posunęli się znacznie dalej, niż kiedykolwiek mogła osiągnąć naturalna ewolucja, oddzielając się od tłumu.

I jest jeszcze łatwiejszy sposób wskazywania rzędów wielkości niż przez

przeliterowanie pełnych oznaczeń wartości lub zapisanie ich jako wykładników logarytmów dziesięciodniowe. Ponieważ te wielokrotności są tak często spotykane w zarówno badania naukowe, jak i praktyka inżynierska zostały przydzielone specyficzne nazwy greckie, które mają być używane jako przedrostki dla pierwszych trzech rzędów wielkość— 10^1 jest dziesięć, 10^2 jest hekto, 10^3 to kilogram — a potem co trzeci zamówienie: 10^6 jest mega, 10^9 giga, aż do yotty, 10^{24} , teraz najwyższy nazwany rząd wielkości. Wszystko – od rzeczywistych liczb do konkretnych nazwy — podsumowano w poniższej tabeli:

Wielokrotności w międzynarodowym układzie jednostek używanych w tekście

Prefiks	Skrót	Notacja naukowa
hekto	h	10^2
kilogram	k	10^3
mega	M	10^6
wysoki	G	10^9
że	T	10^{12}
peta	P	10^{15}
sprawdzać	ORAZ	10^{18}
zetta	Z	10^{21}
jota	Tak	10^{24}

Jeszcze inny sposób na zilustrowanie bezprecedensowego zakresu wielkości, które... umożliwia funkcjonowanie nowoczesnych społeczeństw jest porównanie ich z szereg tradycyjnych doświadczeń. Wystarczą dwa kluczowe przykłady. W społeczeństwa przedustrialne, ekstremalne prędkości podrózowania na lądzie różniły się jedynie czynnik dwa, od wolnego marszu (4 km/h) do autokarów konnych (8 km/godz.) dla tych, którzy mogli zapłacić za miejsce siedzące (często nietapicerowane). W dla kontrastu, prędkości jazdy wahają się teraz w zakresie dwóch rzędów wielkości, od 4 km/h dla powolnego marszu do 900 km/h dla odrzutowców.

I najpotężniejszy główny napęd (organizm lub maszyna dostarczająca) energią kinetyczną), którą osoba może powszechnie kontrolować podczas Era przedustrialna była potężnym koniem o mocy 750 watów.⁴ Teraz setki milionów ludzi jeżdżą pojazdami o mocy od 100 do 300 kilowatów — do 400 razy więcej niż moc silnego konia — i pilot a

szerokokadłubowy odrzutowiec ma moc około 100 megawatów (odpowiednik ponad 130 000 silnych koni) w trybie przelotowym. Te zdobycze były zbyt duże, aby można je było pojąć bezpośrednio lub intuicyjnie: zrozumienie współczesnego świata wymaga uważnej uwagi na rzędy wielkości!

Referencje i uwagi

1. Zrozumienie energii: paliwa i energia elektryczna
- 2 Nigdy nie będziemy w stanie wskazać tego wydarzenia: datuje się je już na 3,7 miliarda lat, a dopiero na 2,5 miliarda lat temu. T. Cardona, „Myślenie dwa razy o ewolucji fotosyntezy”, Open Biology 9/3 (2019), 180246.
- 3 A. Herrero i E. Flores, red., Cyanobacteria: Molecular Biologia, genomika i ewolucja (Wymondham: Caister Academic Press, 2008).
- 4 ML Droser i JG Gehling, „The advent of animals: the view from the Ediacaran”, Proceedings of the National Academy of Sciences 112/16 (2015), s. 4865–4870.
- 5 G. Bell, Ewolucja życia (Oxford: Oxford University Press, 2015).
- 6 C. Stanford, Upright: ewolucyjny klucz do stania się człowiekiem (Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2003).
- 7 Moment najwcześniejszego celowego, kontrolowanego użycia ognia przez: homininy zawsze pozostaną niepewne, ale najlepszym dowodem jest to, że stało się to nie później niż około 800 000 lat temu: N. Goren-Inbar i in., „Dowody kontroli homininów nad ogniem w Gesher Benot Ya'aqov, Izrael”, Science 304 / 5671 (2004), s. 725-727.
- 8 Wrangham twierdzi, że gotowanie było jednym z najważniejszych osiągnięć ewolucyjnych: R. Wrangham, Catching Fire: How Cooking Made Us Human (New York: Basic Books, 2009).
- 9 Nastąpiło udomowienie wielu gatunków roślin niezależnie w kilku regionach Starego i Nowego Świata, ale Bliski Wschód wytworzył najwcześniejszego zbiór: M. Zeder, „The origins of Agriculture in the Near East”, Current Anthropology 52/Supplement 4 (2011), S221–S235.
- 10 Zwierzęta pociągowe to bydło, bawoły wodne, jaki, konie, muły, osły, wielbłądy, lamy, słonie, a rzadziej także renifery, owce, kozy i psy. Oprócz koniowatych (konie,

osły, muły), tylko wielbłady, jak i słonie były powszechnie używane do jazdy konnej.

- 10 Ewolucję tych maszyn śledzimy w V. Smil, Energy and Civilization: A History (Cambridge, MA: MIT Press, 2017), s. 146–163.
- 11 P. Warde, Zużycie energii w Anglii i Walii, 1560–2004 (Neapol: National Research Council, 2007).
- 12 Na temat historii angielskiego i brytyjskiego górnictwa węgla patrz: JU Nef, The Rise of the British Coal Industry (Londyn: G. Routledge, 1932); MW Flinn i in., History of the British Coal Industry, 5 tomów (Oxford: Oxford University Press, 1984-1993).
- 13 R. Stuart, Opisowa historia silnika parowego (Londyn: Wittaker, Treacher i Arnot, 1829).
- 14 RL Hills, Power from Steam: A History of the Stationary Steam Engine (Cambridge: Cambridge University Press, 1989), s. 70; J. Kanefsky i J. Robey, „Silniki parowe w XVIII-wiecznej Wielkiej Brytanii: ocena ilościowa”, Technology and Culture 21 (1980), s. 161-186.
- 15 Obliczenia te są bardzo przybliżone; nawet gdybyśmy wiedzieli dokładne sumy siły roboczej i zwierząt pociągowych, nadal musielibyśmy przyjąć założenia dotyczące ich typowej mocy i łącznych godzin pracy.
- 16 Rzeczywiste sumy wynosiły mniej niż 0,5 EJ w 1800 r., wzrastając do prawie 22 EJ w 1900 r. i do prawie 350 EJ w 2000 r., a do 525 EJ w 2020 r. przejścia, zob. V. Smil, Energy Transitions: Global and National Perspectives (Santa Barbara, CA: Praeger, 2017).
- 17 Pobiera się średnie złożone historycznej efektywności energetycznej z obliczeń, które wykonałem dla: Smil, Energy and Civilization, s. 297–301. Ogólne sprawności konwersji w ostatnich latach patrz wykresy Sankeya przepływów energii przygotowane dla świata (<https://www.iea.org/sankey>) lub dla poszczególnych krajów; natomiast w przypadku USA patrz https://flowcharts.llnl.gov/content/assets/images/energy/us/Energy_US_2019.png

- 18 Dane do tych obliczeń można znaleźć w Roczniku statystycznym ONZ dotyczącym energii, <https://unstats.un.org/unsd/energystats/pubs/yearbook/>; oraz w Statistical Review of World Energy BP, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>.
-
- 19 L. Boltzmann, Drugie prawo mechaniki Wärmetheorie (Wykład wygłoszony na „Uroczystej Sesji” Imperial Academy of Sciences w Wiedniu), 29 maja 1886. Zobacz także P. Schuster, „Boltzmann and evolution: Niektóre podstawowe pytania biologii widziane przez okulary atomistyczne”, w G. Gallavotti i in., red., Boltzmann's Legacy (Zurich: European Mathematical Society, 2008), s. 1-26.
- 20 E. Schrödinger, Czym jest życie? (Cambridge: Cambridge University Press, 1944), s. 71.
- 21 AJ Lotka, „Dobór naturalny jako zasada fizyczna” Materiały Narodowej Akademii Nauk 8/6 (1922), s. 151–154.
- 22 HT Odum, Środowisko, władza i społeczeństwo (Nowy Jork: Wiley Interscience, 1971), s. 27.
- 23 R. Ayres, „Luki w ekonomii głównego nurtu: energia, wzrost i zrównoważony rozwój”, w red. S. Shmelev, Green Economy Reader: Lectures in Ecological Economics and Sustainability (Berlin: Springer, 2017), s. 40. Zob. także R. Ayres, Energy, Complexity and Wealth Maximization (Cham: Springer, 2016).
- 24 Smil, Energia i cywilizacja, s. 1.
- 25 Ayres, „Luki w ekonomii głównego nurtu”, s. 40.
- 26 Historia pojęcia energii jest szczegółowo opisana w J. Coopersmith, Energy: The Subtle Concept (Oxford: Oxford University Press, 2015).
- 27 RS Westfall, Siła w fizyce Newtona: Nauka Dynamika w XVII wieku (Nowy Jork: Elsevier, 1971).
- 28 C. Smith, Nauka o energii: kulturowa historia energii Fizyka w wiktoriańskiej Wielkiej Brytanii (Chicago: University of Chicago Press,

1998); DSL Cardwell, Od Watta do Clausiusa: The Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age (Londyn: Heinemann Educational, 1971).

29 JC Maxwell, Theory of Heat (Londyn: Longmans, Green and Company, 1872), s.

101.

30 R. Feynman, Feynman Lectures on Physics (Redwood City, CA: Addison-Wesley, 1988), tom. 4, s. 2.

31 Nie brakuje książek wprowadzających do termodynamiki, ale ta wciąż się wyróżnia: K. Sherwin, Wprowadzenie do termodynamiki (Dordrecht: Springer Netherlands, 1993).

32 N. Friedman, Amerykańskie okręty podwodne od 1945: An Illustrated Design History (Annapolis, MD: US Naval Institute, 2018).

33 Współczynnik mocy (obciążenia) to stosunek rzeczywistej generacji do maksymalna moc, jaką jednostka jest w stanie wytworzyć. Na przykład duża turbina wiatrowa o mocy 5 MW pracująca non stop przez cały dzień wygeneruje 120 MWh energii elektrycznej; jeśli jego rzeczywista moc wynosi tylko 30 MWh, to jej współczynnik mocy wynosi 25 procent. Średnie roczne współczynniki wydajności w USA w 2019 r. były (w zaokrągleniu): 21 procent dla paneli słonecznych, 35 procent dla turbin wiatrowych, 39 procent dla elektrowni wodnych i 94 procent dla elektrowni jądrowych: Tabela 6.07.B, „Współczynniki wydajności dla generatorów w skali użytkowej głównie Korzystanie z paliw niekopalnych”, https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.php?t=epmt_6_07_b. Niski współczynnik pojemności niemieckich ogniw słonecznych nie jest zaskoczeniem: zarówno Berlin, jak i Monachium mają mniej godzin słonecznych rocznie niż Seattle!

34 Świeca wotywna – ważąca około 50 g, o gęstości energii parafiny 42 kJ/g – zawiera $2,1 \text{ MJ} (50 \times 42\,000)$ energii chemicznej, a jej średnia moc podczas 15-godzinnego palenia wyniesie prawie 40 W (podobnie jak słaba żarówka). Ale w obu przypadkach tylko niewielka część całkowitej energii zostanie zamieniona na światło: mniej niż 2 procent w przypadku nowoczesnej żarówki, zaledwie 0,02 procent w przypadku świecy parafinowej. Wagę świec i czas palenia można znaleźć na stronie <https://www.candlewarehouse.ie/shopcontent.asp?type=burn-times>; w sprawie skuteczności świetlnej patrz <https://web.archive.org/web/20120423123823/http://www.ccri.edu/physics/keefe/lig>

- 35 Obliczenia metabolizmu podstawowego znajdują się w: Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation, Human Energy Requirements (Rzym: FAO, 2001), s. 37, <http://www.fao.org/3/a-y5686e.pdf>.
- 36 Zestaw narzędzi inżynierskich, „Paliwa kopalne i alternatywne – energia Treść” (2020), https://www.engineeringtoolbox.com/fossil-fuels-energy-content-d_1298.html.
- 37 V. Smil, Olej: przewodnik dla początkujących (Londyn: Oneworld, 2017); L. Maugeri, Wiek ropy: mitologia, historia i przyszłość najbardziej kontrowersyjnego zasobu świata (Westport, CT: Praeger Publishers, 2006).
- 38 T. Mang, red., Encyclopedia of Lubricants and Lubrication (Berlin: Springer, 2014).
- 39 Asphalt Institute, The Asphalt Handbook (Lexington, KY: Asphalt Instytut, 2007).
- 40 Międzynarodowa Agencja Energetyczna, Przyszłość petrochemii (Paryż: MAE, 2018).
- 41 CMV Thuro, Lampy naftowe: Era nafty w Ameryce Północnej (Nowy Jork: Wallace-Homestead Book Company, 1983).
- 42 G. Li, Światowy Atlas Zagłębi Naftowych i Gazowych (Chichester: Wiley Blackwell, 2011); R. Howard, Łowcy ropy: eksploracja i szpiegostwo na Bliskim Wschodzie (Londyn: Hamledon Continuum, 2008).
- 43 RF Aguilera i M. Radetzki, Cena ropy (Cambridge: Wydawnictwo Uniwersytetu Cambridge, 2015); AH Cordesman i KR al Rodhan, Światowy rynek naftowy: ryzyko i niepewność (Waszyngton, DC: CSIS Press, 2006).
- 44 Średnia wydajność amerykańskich samochodów wynosiła około 16 mpg (15 L/100 km) we wczesnych latach 30. i powoli pogarszała się przez cztery dekady, osiągając zaledwie 13,4 mpg (17,7 l/100 km) w 1973 r. Nowe normy CAFE (Corporate Average Fuel Economy) podwoiły go do 27,5 mpg (8,55 l/100 km) do 1985 r., ale późniejsze niskie ceny ropy oznaczały brak dalszych postępów aż do 2010 r. V. Smil, Transforming the Twentieth Century (Nowy Jork: Oxford University Press, 2006), s. 203–208.

- 45 Szczegółowe statystyki dotyczące produkcji i zużycia energii są dostępne w Roczniku Statystycznym ds. Energii Organizacji Narodów Zjednoczonych oraz Statystycznym Przeglądzie Energii Światowej BP .
- 46 SM Ghanem, OPEC: The Rise and Fall of a Exclusive Club (Londyn: Routledge, 2016); V. Smil, Energy Food Environment (Oxford: Oxford University Press, 1987), s. 37-60.
- 47 J. Buchan, Dni Boga. Rewolucja w Iranie i jej Konsekwencje (Nowy Jork: Simon i Schuster, 2013); S. Maloney, The Iranian Revolution at Forty (Washington, DC: Brookings Institution Press, 2020).
- 48 Przemysły energochłonne (metalurgia, syntezy chemiczne) były pierwszymi sektorami, które obniżyły swoje jednostkowe zużycie energii; zauważono już sukces standardów US CAFE (patrz nota 44); a prawie cała produkcja energii elektrycznej, która wcześniej opierała się na spalaniu ropy naftowej lub oleju opałowego, została przekształcona w węgiel lub gaz ziemny.
- 49 Udziały ropy naftowej po 1980 r. obliczono na podstawie danych o zużyciu w British Petroleum, Statistical Review of World Energy.
- 50 Feynman, Wykłady Feynmana z fizyki, tom. 1, s. 4–6.
- 51 Obawy te dotyczą obecnie coraz większego udziału ludności – od 2007 r. ponad połowa wszystkich ludzi mieszka w miastach, a do 2025 r. około 10 proc. będzie mieszkać w megamiasbach.
- 52 B. Bowers, Wydłużenie dnia: historia oświetlenia (Oxford: Oxford University Press, 1988).
- 53 V. Smil, „Świetlna skuteczność”, IEEE Spectrum (kwiecień 2019), s. 22.
- 54 Pierwsze komercyjne zastosowania małych silników elektrycznych prądu przemiennego pojawiły się w Stanach Zjednoczonych pod koniec lat 80. XIX wieku, a w latach 90. XIX wieku mały wentylator napędzany silnikiem o mocy 125 W sprzedał prawie 100 000 sztuk: LC Hunter i L. Bryant, Historia władzy przemysłowej w Stanach Zjednoczonych, 1780-1930, tom. 3: The Transmission of Power (Cambridge, MA: MIT Press, 1991), s. 202.
- 55 SH Schurr, „Zużycie energii, zmiana technologiczna i wydajność produkcyjna”, Annual Review of Energy 9 (1984), s. 409–425.
- 56 Dwie podstawowe konstrukcje to mimośrodowe silniki wibracyjne z wirującą masą i liniowe silniki wibracyjne. Silniki na monety są teraz najcieńsze (jak

tylko 1,8 mm) dostępnych jednostek (<https://www.vibrationmotors.com/vibration-motor-product-guide/cell-phone-vibration-motor>). Biorąc pod uwagę globalną sprzedaż smartfonów – 1,37 miliarda sztuk w 2019 r. ([https://www.canalys.com/newsroom/canalys-global-smartphone market-q4-2019](https://www.canalys.com/newsroom/canalys-global-smartphone-market-q4-2019)) – żadne inne silniki elektryczne nie są obecnie produkowane w porównywalnych ilościach.

57 francuskich pociągów TGV ma dwa wagony napędowe, których silniki mają łączną moc 8,8-9,6 MW. W japońskiej serii N700 Shinkansen 14 z 16 samochodów to samochody o łącznej mocy 17 MW: <http://www.railway-research.org/IMG/pdf/r.1.3.3.3.pdf>.

58 W pojazdach luksusowych całkowita masa tych małych pojazdów elektrycznych serwomotory mogą ważyć nawet 40 kg: G. Ombach, „Wyzwania i wymagania dla wielkoseryjnej produkcji silników elektrycznych” SAE (2017), <http://www.sae.org/events/training/symposia/emotor/presentations/2011/GrzegorzO> 59 Więcej informacji na temat silników elektrycznych w urządzeniach kuchennych można znaleźć w Johnson Electric, „Niestandardowe napędy silnikowe do procesorów żywności” (2020), [https://www.johnsonelectric.com/en/features/custom-motor-drives for-food-processors](https://www.johnsonelectric.com/en/features/custom-motor-drives-for-food-processors).

60 Meksyk jest najlepszym przykładem takiego nadzwyczajnego zapotrzebowania: woda z głównego źródła, rzeki Cutzamala, dostarcza około dwóch trzecich całkowitego zapotrzebowania i musi być podnoszona ponad 1 km; przy rocznych dostawach przekraczających 300 mln m³ oznacza to energię potencjalną ponad 3 PJ, co odpowiada prawie 80 000 ton oleju napędowego. R. Salazar i in., „Energy and Environmental Costs related to water supply in Mexico City”, Water Supply 12 (2012), s. 768–772.

61 Są dość małe (0,25–0,5 KM; czyli około 190–370 W) silników, ponieważ nawet większy silnik dmuchawy ma mniejszą moc niż ten w małym robocie kuchennym (400–500 W). Przetaczanie powietrza jest znacznie łatwiejszym zadaniem niż siekanie i ugniatanie.

62 Wczesną historię elektryczności opisuje L. Figuier, The New Conquests of Science: Electricity (Paryż: Manoir Flammarion, 1888); A. Gay i CH Yeaman, Dworzec Centralny

Dostawa energii elektrycznej (Londyn: Whittaker & Company, 1906); M. MacLaren, Powstanie przemysłu elektrycznego w XIX wieku (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1943); Smil, Tworzenie XX wieku, s. 32-97.

- 63 Nawet w USA jest tylko nieznacznie wyższy. W 2019 r. 27,5% wszystkich paliw kopalnych w USA (w przybliżeniu w podziale na węgiel i gaz ziemny, przy znikomym udziale paliw płynnych) było wykorzystywane do wytwarzania energii elektrycznej: https://flowcharts.llnl.gov/content/assets/images/energia/us/Energy_US_2019.png 64 Międzynarodowa Komisja ds. Dużych Zapór, Światowy Rejestr Zapór (Paryż: ICOLD, 2020).
- 65 Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, The Database of Nuclear Power Reactors (Wiedeń: MAEA, 2020).
- 66 Dane z British Petroleum, Statistical Review of World Energy.
- 67 Tokyo Metro, Tokyo Station Rozkład jazdy (dostęp 2020), https://www.tokyometro.jp/lang_en/station/tokyo/timetable/marunouchi/a/index.htm
- 68 Duża kolekcja nocnych zdjęć satelitarnych jest dostępna pod adresem <https://earthobservatory.nasa.gov/images/event/79869/earth-at-night.>
-
- 69 Electric Power Research Institute, Metrics for Micro Grid: Reliability and Power Quality (Palo Alto, CA: EPRI, 2016), http://integratedgrid.com/wp-content/uploads/2017/01/4-Key_Microgrid-Reliability -PQ-metryki.pdf.
- 70 W okresach wysokiej śmiertelności związanej z COVID-19 nie było problemów z dostawą energii elektrycznej, ale w niektórych miastach występowały przejściowe niedobory pojemności kostnic i trzeba było rozmieścić ciężarówki chłodnie. Chłodnictwo pogrzebowe to kolejny krytyczny sektor zależny od silników elektrycznych: <https://www.fiocchetti.it/en/prodotti.asp?id=7>.
- 71 Koncepcja zakłada, że nie będzie możliwe wyeliminowanie wszystkich antropogenicznych emisji CO₂, ale nie jest to konieczne aby być bezosobową jak wychwyt z powietrza, ani nie ma w tym celu żadnych procesów na dużą skalę i przystępnych cenowo. Niektóre z tych opcji rozważę w rozdziale końcowym.

72 Zmiany klimatyczne ONZ, „Zobowiązania do podwójnego zerowego netto za mniej niż rok” (wrzesień 2020), <https://unfccc.int/news/commitments-to-net-zero-double-in-less-than-a-year>.
Zobacz także śledzenie działań na rzecz klimatu (<https://climateactiontracker.org/countries/>).

73 Duńska Agencja Energii, Annual Energy Statistics (2020), <https://ens.dk/en/our-services/statistics-data-key-figures-and-energy-maps/annual-and-monthly-statistics>.

74 Niemieckie dane dotyczące mocy i generacji można znaleźć w:
Federalne Stowarzyszenie Gospodarki Energetycznej i Wodnej, Park Elektrowni w Niemczech (2018), https://www.bdew.de/energie/kraftwerkspark-deutschland_gesamtfoliesatz/; VGB, wytwarzanie energii elektrycznej 2018/2019, https://www.vgb.org/daten_stromgeneration.html?dfid=93254.

75 Clean Line Energy, firma, która planowała rozwinąć pięć dużych projektów przesyłowych w USA, złożona w 2019 roku, oraz Plains & Eastern Clean Line, która miała stać się kręgosłupem nowej amerykańskiej sieci do 2020 roku (jej deklaracja oddziaływania na środowisko została już ukończona w 2014) zakończył się wycofaniem się Departamentu Energii USA z projektu; może nie powstać nawet do 2030 roku.

76 N. Troja i S. Law, „Bądźmy elastyczni — magazyny szczytowe i przyszłość systemów elektroenergetycznych”, strona internetowa IHA (wrzesień 2020 r.). W 2019 roku firma Florida Power and Light ogłosiła, że największy na świecie projekt magazynowania akumulatorów o mocy 900 MWh Manatee zostanie ukończony pod koniec 2021 roku. Jednak największa hydroelektrownia pompowana (hrabstwo Bath w USA) ma pojemność 24 GWh, 27 razy większą niż przyszły magazyn FPL, a globalna moc pompowanej elektrowni wodnej w 2019 r. wyniosła 9 TWh w porównaniu z około 7 GWh w bateriach — prawie 1300 -krotnie różnica.

77 Jednodniowe magazynowanie dla megamiasta liczącego 20 milionów ludzi musiałoby zapewnić co najmniej 300 GWh, łącznie ponad 300 razy więcej niż największy na świecie magazyn baterii na Florydzie.

78 Komisja Europejska, Going Climate-Neutral do 2050 (Bruksela: Komisja Europejska, 2020).

79 W 2019 roku akumulatory litowo-jonowe w najlepiej sprzedających się pojazdach elektrycznych o mocy około 250 Wh/kg: G. Bower, „Tesla Model 3 2170 Energy

Gęstość w porównaniu do Bolt, model S1009D", InsideEVs (luty 2019),
<https://insideevs.com/news/342679/tesla-model-3-2170-energia-density-w-porownaniu-do-bolt-model-s-p100d/>.

- 80 W styczniu 2020 r. najdłuższymi rejsami rejsowymi były Newark-Singapur (9 534 km), Auckland-Doha i Perth-Londyn, pierwsza trwa około 18 godzin: T. Pallini, „The 10 najdłuższych tras latanych przez linie lotnicze w 2019 roku”, Business Insider (kwiecień 2020),
[https://www.businessinsider.com/top-10-longest-flight-routes-in-the-world-2020-4.](https://www.businessinsider.com/top-10-longest-flight-routes-in-the-world-2020-4)
- 81 Federalne Ministerstwo Gospodarki i Energii, Dane dotyczące energii: pełne wydanie (BWE, 2019).
- 82 The Energy Data and Modeling Center, Handbook of Japan's & World Energy & Economic Statistics (Tokio: EDMC, 2019).
- 83 Dane dotyczące zużycia z British Petroleum, Statistical Review of World Energy.
- 84 Międzynarodowa Agencja Energii, World Energy Outlook 2020 (Paryż: IEA, 2020), https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook_2020.
-
- 85 V. Smil, „Co musimy wiedzieć o tempie dekarbonizacji”, Substantia 3/2, suplement 1 (2019), s. 13–28; V. Smil, „Energetyczne (r)ewolucje wymagają czasu”, World Energy 44 (2019), s. 10–14. Z innej perspektywy patrz Energy Transitions Commission, Mission Possible: Reaching Net-Zero Carbon Emissions from Harder-to-Abate Sectors by Mid-Century (2018), http://www.energytransitions.org/sites/default/files/ETC_MissionPossible_FullReport.pdf.
-

2. Zrozumienie produkcji żywności: jedzenie paliw

kopalnych 1 BL Pobiner, „Nowe aktualne dane dotyczące ekologii i energetyki możliwości wymiatania hominów”, Journal of Human Evolution 80 (2015), s. 1–16; RJ Blumenschine i JA Cavallo, „Scavenging and human evolution”, Scientific American 267/4 (1992), s. 90–95.

- 2 V. Smil, Energy and Civilization: A History (Cambridge, MA: MIT Press 2018), s. 28–40.

Butzer 3 KW, wczesna cywilizacja hydrauliczna w Egipcie (Chicago:

University of Chicago Press, 1976); KW Butzer, Długoterminowa zmienność powodzi Nilu i nieciągłości polityczne w faraońskim Egipcie, w red. JD Clark i SA Brandt, From Hunters to Farmers (Berkeley: University of California Press 1984), s. 102–112.

4 FAO, Stan bezpieczeństwa żywnościowego i żywienia na świecie

(Rzym: FAO, 2020), <http://www.fao.org/3/ca9692en/CA9692EN.pdf>.

5 Długości fal, które są w dużej mierze absorbowane, to 450–490 nm dla niebieskiej i 635–700 nm dla czerwonej części widma; zielony (520–560 nm) jest w dużym stopniu odbity, stąd dominujący kolor roślinności.

6 Całkowita roczna produktywność fotosyntezy lądowej (lasy, łąki, uprawy) i oceanicznej (głównie fitoplankton) jest mniej więcej taka sama, ale w przeciwnieństwie do roślin lądowych, fitoplankton jest bardzo krótkotrwały, utrzymując się zaledwie kilka dni.

7 Szczegółowe informacje na temat XIX-wiecznych amerykańskich praktyk uprawowych zebrano w L. Rogin, The Introduction of Farm Machinery (Berkeley: University of California Press, 1931). Budżet czasu na rok 1800 opiera się na praktykach z lat 1790–1820, szczegółowo omówionych na s. 234.

8 Obliczenia na podstawie danych Rogina dotyczących uprawy pszenicy w hrabstwie Richland w Północnej Dakocie w 1893 r., s. 218.

9 Smil, Energia i cywilizacja, s. 111.

10 Aby zapoznać się ze średnią wielkością amerykańskich gospodarstw rolnych w latach 1850–1940, zob. Departament Rolnictwa Stanów Zjednoczonych, US Census of Agriculture: 1940, s. 68. Dla wielkości gospodarstw Kansas: Kansas Department of Agriculture, Kansas Farm Facts (2019), <https://agriculture.ks.gov/about-kda/kansas-agriculture>.

11 Zdjęcia i specyfikacje techniczne dużych ciągników można znaleźć na stronie internetowej John Deere pod adresem <https://www.deere.com/en/agriculture/>.

12 Moje obliczenia opierają się na budżetach upraw 2020 dla nienawadnianej pszenicy Kansas oraz na typowych szacunkach wydajności pracy: Kansas State University, 2020 Farm Management Guides for Non-Irrigated Crops, <https://www.agmanager.info/farm-mgmt-przewodniki/2020-gospodarstwo->

[przewodniki-zarządzania-nie-nawadnianymi-uprawami](#); B. Battel i D. Stein,

Custom Machine and Work Rate Estimates (2018), <https://www.canr.msu.edu/>

[field_crops/uploads/files/2018percent20Custompercent20 13](#) Kwantyfikacja tych pośrednich zastosowań

energii wymaga wielu

nieuniknionych założeń i przybliżeń, a zatem nigdy nie może być tak dokładny, jak monitorowanie bezpośredniego zużycia paliwa.

14 Na przykład europejskie zastosowania glifosatu, najpowszechniej stosowanego herbicydu na świecie, wynoszą średnio zaledwie 100–300 g substancji czynnej na hektar: C. Antier, „Stosowanie glifosatu w europejskim sektorze rolniczym i ramy dalszego monitorowania”,

Zrównoważony rozwój 12 (2020), s. 5682.

15 V. Gowariker i in., The Fertilizer Encyclopedia (Chichester: John Wiley, 2009); HF Reetz, Nawozy i ich efektywne wykorzystanie (Paryż: Międzynarodowe Stowarzyszenie Nawozów, 2016).

16 Ale plon, który otrzymał zdecydowanie najwięcej azotu zastosowania to japońska zielona herbata. Jej suche liście zawierają 5–6 procent azotu; plantacje uzyskują zwykle ponad 500 kg N/ha i aż 1 t N/ha: K. Oh i in., „Problemy środowiskowe z uprawy herbaty w Japonii i środek kontrolny przy użyciu cyjanamidu wapnia”, Pedosphere 16/6 (2006), s. 770–777.

17 GJ Leigh, red., Nitrogen Fixation at the Millennium (Amsterdam: Elsevier, 2002); T. Ohyama, ed., Advances in Biology and Ecology of Nitrogen Fixation (IntechOpen, 2014), <https://www.intechopen.com/books/advances-in-biology-and-ecology-of-nitrogen-fixation>.

18 Badania i edukacja zrównoważonego rolnictwa, opłacalne zarządzanie uprawami okrywowymi (College Park, MD: SARE, 2012). 19 Émile Zola, Gruby i chudy, <https://www.gutenberg.org/files/5744/5744-h/5744-h.htm>.

20 Na temat historii syntezy amoniaku zob. V. Smil, Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production (Cambridge, MA: MIT Press, 2001); D. Stoltzenberg, Fritz Haber: Chemik, laureat Nagrody Nobla, niemiecki, Żyd (Filadelfia, PA: Chemical Heritage Press, 2004).

- 21 NR Borlaug, Zielona rewolucja ponownie i Droga
Przed nami, wykład o nagrodzie Nobla
[1970, https://assets.nobelprize.org/uploads/2018/06/borlaug-lecture.pdf;](https://assets.nobelprize.org/uploads/2018/06/borlaug-lecture.pdf)
MS Swaminathan, 50 lat zielonej rewolucji: antologia prac badawczych
(Singapur: World Scientific Publishing, 2017).
- 22 G. Piringer i LJ Steinberg, „Ponowna ocena zużycia energii w produkcji pszenicy w Stanach Zjednoczonych”, Journal of Industrial Ecology 10/1–2 (2006), s. 149–167; CG Sørensen i in., „Nakłady energii i emisje GHG systemów uprawy roli, Biosystems Engineering 120 (2014), s. 2–14; WMJ Achten i K. van Acker, „Uśredniony wpływ produkcji pszenicy: metaanaliza oceny cyklu życia”, Journal of Industrial Ecology 20/1 (2015), s. 132–144; B. Degerli i in., „Ocena efektywności energetycznej i egzergii procesów uprawy zboża na widelec i wypieku chleba w Turcji i Niemczech”, Energy 93 (2015), s. 421–434.
- 23 Olej napędowy jest stosowany we wszystkich dużych maszynach rolniczych (ciągniki, kombajny, ciężarówki, pompy nawadniające), a także w dalekobieżnym transporcie masowym zbóż (pociągi towarowe ciągnięte przez lokomotywy spalinowe, barki, statki). Małe traktory i pickupy napędzane są benzyną, a do suszenia ziarna używa się propanu.
- 24 Jest to tylko trochę mniej obszerny niż amerykański kubek używany do mierzenia składników do gotowania: dokładnie 236,59 ml.
- 25 N. Myhrvold i F. Migoya, Chleb modernistyczny (Bellevue, WA: The Cooking Lab, 2017), tom. 3, s. 63.
- 26 Bakerpedia, „Współczynnik ekstrakcji”, <https://bakerpedia.com/processes/extraction-rate/>.
- 27 Carbon Trust, Industrial Energy Efficiency Accelerator: Przewodnik po sektorze piekarniczym (Londyn: Carbon Trust, 2009); K. Andersson i T. Ohlsson, „Ocena cyklu życia chleba wyprodukowanego w różnych skalach”, International Journal of Life Cycle Assessment 4 (1999), s. 25–40.
- 28 Szczegółowe informacje na temat brojlerów CAFO, zob. V. Smil, Should We Eat Meat? (Chichester: Wiley-Blackwell, 2013), s. 118–127, 139–149.

- 29 Departament Rolnictwa Stanów Zjednoczonych, Statystyka Rolnicza (2019), Tabela 1-75 USDA, https://www.nass.usda.gov/Publications/Ag_Statistics/2019/2019_complete_publica
- 30 National Chicken Council, „US Broiler Performance” (2020), <https://www.nationalchickencouncil.org/about-the-industry/statistics/us-broiler-performance/>.
-
- 31 Porównania wagi żywnej, tuszy i jadalnej dla domowych zwierząt mięsnych zob. Smil, Should We Eat Meat?, s. 109–110.
- 32 VP da Silva i in., „Zmiennaść wpływu na środowisko brazylijskiej soi według scenariuszy produkcji roślinnej i transportu”, Journal of Environmental Management 91/9 (2010), s. 1831–1839.
- 33 M. Ranjaniemi i J. Ahokas, „Studium przypadku energii” system pomiaru zużycia w produkcji broilerów” Agronomy Research Biosystem Engineering Special Issue 1 (2012), s. 195–204; MC Mattioli i in., „Analiza energetyczna systemu produkcji kurcząt broilerów z instalacją w cieplni”, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 22 (2018), s. 648–652.
- 34 US Bureau of Labor Statistics, „Average Retail Food and Energy Prices, US and Midwest Region” (dostęp w 2020 r.), https://www.bls.gov/regions/mid_atlantic/data/averageretailfoodandenergyprices_usandmidwest_table.htm; FranceAgriMer, „Poulet” (dostęp 2020), <https://rnm.franceagrimer.fr/prix?POULET>.
-
- 35 R. Mehta, Historia pomidora (jabłko biednego człowieka), IOSR Journal of Humanities and Social Science 22/8 (2017), s. 31–34.
- 36 Pomidor zawiera około 20 mg witaminy C na 100 g; ten zalecane dzienne spożycie witaminy C w diecie wynosi 60 mg dla osób dorosłych.
- 37 DP Neira i in., „Zużycie energii i ślad węglowy pomidora produkcja w ogrzewanych szklarniach wielotunelowych w Almerii w kontekście eksportu systemu rolno-spożywczego”, Science of the Total Environment 628 (2018), s. 1627–1636.
- 38 Rośliny pomidora Almería otrzymują 1000–1500 kg N/ha rocznie, podczas gdy średnia uprawa kukurydzy zbożowej w USA otrzymuje 150 kg N/ha: US

Department of Agriculture, Fertilizer Use and Price (2020), tabela 10, <https://www.ers.usda.gov/data-products/fertilizer-use-and-price.aspx>.

39 „Hiszpania: Almeria eksportuje już 80 procent owoców i warzyw, które produkuje”, Fresh Plaza (2018), <https://www.freshplaza.com/article/9054436/spain-almeria-already-exports-80-of-the-owocowo-warzywne-to-produkuje/>.

40 Typowe zużycie paliwa przez europejskie ciężarówki dalekobieżne wynosi 30 l/100 km lub 11 MJ/km: Międzynarodowa Rada Czystego Transportu, badanie zużycia paliwa w ciągnikach-naczepach w Unii Europejskiej i Stanach Zjednoczonych (maj 2018 r.).

41 Rybołówstwo na skalę przemysłową odbywa się obecnie w ponad 55 procentach oceanów na świecie, obejmując obszar ponad cztery razy większy niż obszar przeznaczony dla globalnego rolnictwa: DA Kroodsma i in., „Śledzenie globalnego śladu rybołówstwa” Nauka 359/6378 (2018), s. 904–908. Statki łowiące nielegalnie wyłączają swoje transpondery, ale lokalizacje tysięcy legalnie działających statków rybackich (pomarańczowe znaczniki) można zobaczyć w czasie rzeczywistym na stronie <https://www.marinetraffic.com>.

42 RWR Parker i PH Tyedmers, „Zużycie paliwa przez globalne floty rybackie: bieżące zrozumienie i luki w wiedzy”, Fish and Fisheries 16/4 (2015), s. 684–696.

43 Najwyższy koszt energii dotyczy skorupiaków (krewetki i homary) złowione przez niszczycielskie włoki denne w Europie, przy maksymalnych wartościach do 17,3 l/kg połowu.

44 DA Davis, Praktyki żywieniowe i żywieniowe w akwakulturze (Sawston: Wydawnictwo Woodhead, 2015); AGJ Tacon i in., „Pasze dla akwakultury: adresowanie długoterminowej stabilności sektora”, w Farming the Waters for People and Food (Rzym: FAO, 2010), s. 193–231.

45 S. Gingrich i in., „Przemiany energetyczne agroekosystemów w starym i nowym świecie: trajektorie i determinanty w skali regionalnej”, Regional Environmental Change 19 (2018), s. 1089–1101; E. Aguilera i in., Energia ucieśniona w nakładach rolnych: uwzględnianie perspektywy historycznej (Sewilla: Pablo de Olavide

Uniwersytet, 2015); J. Woods i in., „Energia i system żywnościový”, Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 365 (2010), s. 2991–3006.

46 V. Smil, Growth: From Microorganisms to Megacities (Cambridge, MA: MIT Press, 2019), s. 311.

47 S. Hicks, „Energia do uprawy i zbioru roślin jest duża komponent kosztów operacyjnych farmy”, Today in Energy (17.10.2014), <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=18431>.

48 P. Canning i in., Energy Use in the US Food System (Waszyngton, DC: USDA, 2010).

49 Konsolidacja gospodarstw stale postępuje: JM MacDonald i in., „Trzy dekady konsolidacji w USA Rolnictwo”, Biuletyn Informacji Gospodarczej USDA 189 (marzec 2018 r.). Import żywności jako udział w całkowitej konsumpcji rośnie nawet w wielu krajach będących dużymi eksporterami żywności netto (USA, Kanada, Australia, Francja), głównie ze względu na większy popyt na świeże owoce, warzywa i owoce morza. Od 2010 r. udział Amerykanów w budżecie na jedzenie poza domem przewyższa udział w jedzeniu w domu: MJ Saksena i in., America's Eating Habits: Food Away From Home (Waszyngton, DC: USDA, 2018).

50 S. Lebergott, Siła robocza i zatrudnienie 1800–1960, w DS Brady, red., Output, Employment, and Productivity in the United States after 1800 (Cambridge, MA: NBER, 1966), s. 117–204.

51 Uśmiech, Wzrost, s. 122–124.

52 Zawartość azotu w wielu rodzajach odpadów organicznych zob Smil, Wzbogacanie Ziemi, załącznik B, s. 234-236. Informacje na temat zawartości azotu w nawozach można znaleźć w podręczniku Yara Fertilizer Industry Handbook 2018, <https://www.yara.com/siteassets/investors/057-reports-and-presentations/other/2018/fertilizer-industry-handbook-2018-with-notes.pdf>.

53 Obliczyłem globalne przepływy azotu w produkcji roślinnej dla połowy 1990 (V. Smil, „Azot w produkcji roślinnej: konto globalnych przepływów”, Global Biogeochemical Cycles 13 (1999), s. 647–662) i wykorzystał najnowsze dostępne dane dotyczące zbiorów i liczebności zwierząt, aby przygotować zaktualizowaną wersję dla 2020.

- 54 CM Long i in., „Użycie składników odżywczych obornika z skoncentrowanego żywienia zwierząt”, Journal of Great Lakes Research 44 (2018), s. 245-252.
- 55 X. Ji i in., „Obfitość genów oporności na antybiotyki związane z antybiotykami i metalami ciężkimi w odchodach zwierzęcych i glebach rolniczych sąsiadujących z pastwiskami w Szanghaju; Chiny”, Journal of Hazardous Materials 235–236 (2012), s. 178–185.
- 56 FAO, Nakłady azotu do gleb rolniczych z odchodów zwierzęcych: Nowe statystyki (Rzym: FAO, 2018).
- 57 Amoniak ulatniający się jest również zagrożeniem dla zdrowia ludzi: jego reakcja ze związkami kwaśnymi w atmosferze tworzy drobne cząstki, które powodują choroby płuc, a amoniak osadzany na lądzie lub w wodzie może powodować nadmierne ładunki azotu: SG Sommer i in., „Nowe współczynniki emisji do obliczania ulatniania się amoniaku z europejskich systemów gospodarowania odchodami zwierząt gospodarskich”, Frontiers in Sustainable Food Systems 3 (listopad 2019).
- 58 Typowe zasięgi biofiksacji przez rośliny strączkowe okrywowe zob. Smil, Enriching the Earth, załącznik C, s. 237. Informacje o przeciętnych zastosowaniach azotu do głównych upraw w USA można znaleźć na stronie: Departament Rolnictwa Stanów Zjednoczonych, zastosowanie i cena nawozów, <https://www.ers.usda.gov/data-products/fertilizer-use-and-price.aspx>. Spadek podaży impulsów jest udokumentowany na stronie <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>.
-
- 59 Średnie światowe plony w ostatnich latach wynosiły około 4,6 t/ha w przypadku ryżu i 3,5 t/ha w przypadku pszenicy oraz 2,7 t/ha w przypadku soi i zaledwie 1,1 t/ha w przypadku soczewicy. Różnice w plonach są znacznie większe w Chinach: 7 t/ha ryżu i 5,4 t/ha pszenicy, w porównaniu z 1,8 t/ha soi i 3,7 t/ha orzeszków ziemnych (inny ulubiony roślin strączkowych w Chinach). Dane z: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
-
- 60 Podwójne przycinanie oznacza albo uprawę tej samej rośliny w sukcesja w tym samym roku (powszechna w przypadku ryżu w Chinach) lub następująca po uprawie roślin strączkowych przez uprawę zbóż (na przykład płodozmian orzeszków ziemnych/pszenicę powszechny na Nizinie Północnochińskiej).
- 61 S.-J. Jeong i in., „Wpływ podwójnego przycinania na letni klimat Niziny Północnochińskiej i sąsiednich regionów”, Nature

Zmiany klimatu 4/7 (2014), s. 615–619; C. Yan i in., „Ściółka z folii z tworzywa sztucznego w chińskim rolnictwie: znaczenie i problem”
Światowe rolnictwo 4/2 (2014), s. 32-36.

- 62 Odnośnie do liczby osób wspieranych na jednostkę powierzchni ziemi uprawnej zob. Smil, Enriching the Earth.
- 63 Średnie dzienne spożycie dla wszystkich Amerykanów w wieku powyżej dwóch lat wynosi około 2100 kcal, podczas gdy średnia podaż na mieszkańca wynosi 3600 kcal, różnica ponad 70 procent! Podobne luki dotyczą większości krajów UE, a wśród krajów zamożnych tylko podaż Japonii jest znacznie bliższa rzeczywistej konsumpcji (około 2700 vs. 2000 kcal/dzień).
- 64 FAO, Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction (Rzym: FAO, 2014).
- 65 WRAP, Gospodarstwa domowe odpady żywnościowe: dane przekształcone za lata 2007–2015 (2018).
- 66 USDA, „System danych o dostępności żywności (na mieszkańca)”, [https://www.ers.usda.gov/data-products/food-availability-per_capita-data-system/](https://www.ers.usda.gov/data-products/food-availability-per-capita-data-system/).
- 67 Średnia dzienna podaż żywności w Chinach wynosi obecnie około 3200 kcal/mieszkańca w porównaniu z japońską średnią wynoszącą około 2700 kcal/mieszkańca. O marnotrawieniu żywności w Chinach zob. H. Liu, „Żywność marnowana w Chinach może wyżywić 30-50 milionów: Raport”, China Daily (marzec 2018 r.).
- 68 Przeciętna amerykańska rodzina wydaje obecnie tylko 9,7 proc dochód rozporządzalny na żywność; Średnie UE wahają się od 7,8 procent w Wielkiej Brytanii do 27,8 procent w Rumunii: Eurostat, „Ile gospodarstw domowych wydaje na żywność?” (2019).
- 69 CB Stanford i HT Bunn, red., Meat-Eating and Human Evolution (Nowy Jork: Oxford University Press, 2001); Uśmiechnij się, czy powinniśmy jeśćmięso?
- 70 O mięsożerności wśród szimpanów pospolitych zob. C. Boesch, „Szimpansy — czerwony colobus: system drapieżnik-ofiara”, Animal Behaviour 47 (1994), s. 1135–1148; CB Stanford, The Hunting Apes: Meat Eating and the Origins of Human Behaviour (Princeton: Princeton University Press, 1999). O mięsożerności wśród bonobo patrz G. Hohmann i B. Fruth, „Capture and meat eating by

bonobo w Lui Kotale, Park Narodowy Salonga, Demokratyczna Republika Konga, Folia Primatologica 79/2 (2008), s. 103-110.

- 71 Szczegółowe japońskie statystyki historyczne dokumentują ten trend. W 1900 r. 17-latkowie mieli średnio 157,9 cm; do 1939 r. średnia wynosiła 162,5 cm (przyrost 1,1 mm/rok); wojenne i powojenne niedobory żywności obniżyły go do 160,6 cm w 1948 r.; ale do roku 2000 lepsze odżywianie zwiększyło go do 170,8 cm (przyrost o około 0,2 mm/rok): Biuro Statystyczne Japonii, Statystyka Historyczna Japonii (Tokio: Biuro Statystyczne, 1996).
- 72 Z. Hrynowski, „Jaki procent Amerykanów to wegetarianie?”
Gallup (wrzesień 2019), <https://news.gallup.com/poll/267074/percentage-americans-vegetarian.aspx>.
-
- 73 Roczną podaż mięsa na mieszkańca (masa tuszy) jest dostępna na stronie: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>.
- 74 Szczegółowe informacje na temat zmiany nawyków żywieniowych we Francji zob. C. Duchène i in., *La consommation de boeuf en France* (Paryż: CIV, 2017).
- 75 Unia Europejska wykorzystuje obecnie około 60 procent całkowitej produkcji zbóż (pszenicy, kukurydzy, jęczmienia, owsa i żyta) na pasze: USDA, *Grain and Feed Annual 2020*.
- 76 Na podstawie średniej podaży mięsa na mieszkańca (masy tuszy):
<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>.
-
- 77 L. Lassalle i in., „50-letnie trendy w efektywności wykorzystania azotu w światowych systemach upraw: związek między plonem a wkładem azotu do gruntów uprawnych”, *Environmental Research Letters* 9 (2014), 105011.
- 78 J. Guo i in., „Praktyki produkcji ryżu o wysokiej wydajności i wysokiej wydajności wykorzystania azotu w Jiangsu”, *Nature Scientific Reports* 7 (2016), artykuł 2101.
- 79 Pierwszy demonstracyjny prototyp ciągnika elektrycznego zbudowany przez Johna Deere, wiodący na świecie producent ciągników, nie ma akumulatorów: zasilany jest kilometrowym kablem prowadzonym na dołączonej szpuli, ciekawe, ale mało wygodne, uniwersalne rozwiązanie:

[https://enrg.io/john-deere-traktor-elektryczny-wszystko-co-musisz-wiedziec/ .](https://enrg.io/john-deere-traktor-elektryczny-wszystko-co-musisz-wiedziec/)

- 80 M. Rosenblueth i in., „Wiązanie azotu w zbożach”, *Frontiers in Microbiology* 9 (2018), s. 1794; D. Dent i E. Cocking, „Ustalanie symbiotycznego wiązania azotu w zbożach i innych uprawach innych niż strączkowe: The Greener Nitrogen Revolution”, *Agriculture & Food Security* 6 (2017), s. 7.
- 81 HT Odum, *Środowisko, władza i społeczeństwo* (Nowy Jork: Wiley Interscience, 1971), s. 115-116.

3. Zrozumieć nasz materialny świat: cztery filary współczesnej cywilizacji

- 1 Pierwszym komercyjnym produktem wykorzystującym tranzystory było radio Sony w 1954 roku; pierwszym mikroprocesorem był Intel 4004 w 1971 roku; pierwszym powszechnie używanym komputerem osobistym był Apple II wprowadzony w 1977 roku, następnie IBM PC w 1981 roku, a IBM wypuścił pierwszy smartfon w 1992 roku.
- 2 P. Van Zant, *Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing* (Nowy Jork: McGraw-Hill Education, 2014). Odnośnie kosztów energii, patrz M. Schmidt i in., „Ocena cyklu życia przetwarzania płyt ekrymowych dla układów mikroelektronicznych i ogniw słonecznych”, *International Journal of Life Cycle Assessment* 17 (2012), s. 126–144.
- 3 Semiconductor and Materials International, „Silicon shipping statistics” (2020),
<https://www.semi.org/en/products-services/market-data/materials-si-shipment-statistics>.
- 4 V. Smil, *Making the Modern World: Materials and Dematerialization* (Chichester: John Wiley, 2014); Uśmiechnij się: „Co musimy wiedzieć o tempie dekarbonizacji”. Więcej informacji na temat kosztów energii materiałów, patrz TG Gutowski i in., „Energia wymagana do produkcji materiałów: ograniczenia dotyczące poprawy energochłonności, parametry popytu”, *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 371 (2013), 20120003.
- 5 Roczne sumy produkcji krajowej i globalnej wszystkich komercyjnych ważne metale i minerały niemetaliczne są dostępne w regularnych

aktualizacje opublikowane przez US Geological Survey. Najnowsza edycja to: US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2020, <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>.

- 6 JP Morgan, Góry i kretowiska: osiągnięcia i zakłócenia na drodze do dekarbonizacji (Nowy Jork: JP Bank Prywatny Morgana, 2019).
- 7 To są moje przybliżone obliczenia, oparte na rocznej produkcji 1,8 Gt stali, 4,5 Gt cementu, 150 Mt NH₃ i 370 Mt tworzyw sztucznych.
- 8 Smil: „Co musimy wiedzieć o tempie dekarbonizacji”.
Aby uzyskać optymistyczny pogląd na możliwości dekarbonizacji trudniejszych do redukcji emisji, zobacz Energy Transitions Commission, Mission Possible.
- 9 M. Appl, Ammonia: Principles & Industrial Practice (Weinheim: Wiley-VCH, 1999); Uśmiechnij się, wzbogacając Ziemię.
- 10 Instytut Historii Nauki, „Roy J. Plunkett”, <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/roy-j-plunkett>.
- 11 Więcej zob. V. Smil, Grand Transitions: How the Modern World Was Made (Nowy Jork: Oxford University Press, 2021).
- 12 Aby zapoznać się z historią globalnych zmian użytkowania gruntów, zob. HYDE, Historia Baza danych globalnego środowiska (2010), <http://themasites.pbl.nl/en/themasites/hyde/index.html>.
- 13 Floryda i Karolina Północna nadal produkują ponad 75% amerykańskiego fosforytu, który obecnie stanowi około 10% światowej produkcji: USGS, „Phosphate rock” (2020), <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-fosforan.pdf>.
- 14 Smil, Wzbogacanie Ziemi, s. 39–48.
- 15 W. Crookes, Problem pszenicy (Londyn: John Murray, 1899), s. 45–46.
- 16 Za prekursorów odkrycia Habera i za szczegółowe opisy jego eksperymentów laboratoryjnych, zob. Smil, Enriching the Earth, s. 61–80.
- 17 Na temat życia i twórczości Carla Boscha zob. K. Holdermann, Im Banne der Chemie: Carl Bosch Leben und Werk (Düsseldorf: Econ-

Verlag, 1954).

- 18 W tym czasie udział nieorganicznych nawozów azotowych w Chinach podaż rolnictwa nie przekraczała 2 proc.: Smil, Wzbogacanie Ziemi, s. 250.
- 19 V. Pattabathula i J. Richardson, „Wprowadzenie do produkcji amoniaku”, CEP (wrzesień 2016), s. 69–75; T. Brown, „Portfel technologii amoniaku: optymalizacja pod kątem efektywności energetycznej i efektywności węglowej”, „Amonia Industry” (2018); VS Marakatti i EM Giagneaux, „Ostatnie postępy w katalizie heterogenicznej do syntezy amoniaku”, ChemCatChem (2020).
- 20 V. Smil, Przesłość Chin, Przyszłość Chin: energia, żywność, Środowisko (Londyn: RoutledgeCurzon, 2004), s. 72-86.
- 21 Szczegółowe informacje na temat procesu amoniaku MW Kellogg, patrz Smil, Wzbogacanie Ziemi, s. 122–130.
- 22 FAO,
<http://www.fao.org/faostat/en/#search/Food%20supply%20kcal%2Fcapita%2Fday>
- 23 L. Ma i in., „Modelowanie przepływów składników odżywczych w łańcuchu pokarmowym Chin”, Journal of Environmental Quality 39/4 (2010), s. 1279-1289.
Udział Indii jest równie wysoki: H. Pathak i in., „Azot, fosfor i potas w rolnictwie indyjskim”, Nutrient Cycling in Agroecosystems 86 (2010), s. 287–299.
- 24 Zawsze bawi mnie, gdy widzę kolejną listę najbardziej ważne (lub największe) nowoczesne wynalazki zawierające komputery, reaktory jądrowe, tranzystory lub samochody, które nie mają syntezy amoniaku!
- 25 Roczne spożycie mięsa na osobę (masa tuszy) jest dobre wskaźnik tych różnic: ostatnio średnie wynosiły około 120 kg w USA, 60 kg w Chinach i zaledwie 4 kg w Indiach: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>.
- 26 Odplamiająca moc amoniaku sprawia, że jest to ulubiony składnik. Windex, najpopularniejszy płyn do mycia okien w Ameryce Północnej, zawiera 5 procent NH₃.
- 27 J. Sawyer, „Zrozumienie zastosowania bezwodnego amoniaku w glebie” (2019),

[https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2019/03/understanding-bezwodna-aplikacja-amoniaku-gleby.](https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2019/03/understanding-bezwodna-aplikacja-amoniaku-gleby)

- 28 Podręcznik przemysłu nawozowego Yara.
- 29 Azja Wschodnia i Południowa (zdominowana odpowiednio przez Chiny i Indie) zużywają obecnie nieco ponad 60 procent całego mocznika: Nutrien, Fact Book 2019, [https://www.nutrien.com/sites/default/files/uploads/2019-05/Nutrien%20Fakt%20Książka%2019.pdf.](https://www.nutrien.com/sites/default/files/uploads/2019-05/Nutrien%20Fakt%20Książka%2019.pdf)
- 30 Średnia światowa absorpcji zastosowanego azotu przez rośliny uprawne (efektywność stosowania nawozów) spadła w latach 1961-1980 (z 68 procent do 45 procent) i od tego czasu ustabilizowała się na poziomie około 47 procent: L. Lassaletta i in., „50-letnie trendy w efektywności wykorzystania azotu w światowych systemach upraw: związek między plonem a wkładem azotu do gruntów uprawnych”, Environmental Research Letters 9 (2014), 105011.
- 31 JE Addicott, The Precision Farming Revolution: Global Drivers of Local Agricultural Methods (Londyn: Palgrave Macmillan, 2020).
- 32 Obliczono na podstawie danych ze strony: [http://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN.](http://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN)
- 33 Europa stosuje obecnie 3,5 razy więcej azotu na hektar ziemi uprawnej niż Afryka, a różnice między najintensywniej nawożonymi ziemiami w UE a najbiedniejszymi ziemiami uprawnymi Afryki Subsaharyjskiej są ponad dziesięciokrotne: [http://www.fao.org/faostat/pl/#data/RFN.](http://www.fao.org/faostat/pl/#data/RFN)
-
- 34 Niektóre typowe reakcje polimeryzacji — procesy przekształcania prostszych (monomerowych) cząsteczek w trójwymiarowe sieci o dłuższych łańcuchach — wymagają tylko nieznacznie większej masy początkowego wsadu: do wytworzenia 1 jednostki polietylenu o małej gęstości potrzebne jest 1,03 jednostki etylenu (którego najczęściej stosuje się je w plastikowych torebkach), a ten sam stosunek dotyczy przetwarzania chlorku winylu w polichlorek winylu (PCW, powszechnie stosowany w produktach medycznych). P. Sharpe, „Wytwarzanie tworzyw sztucznych: od monomeru do polimeru”, CEP (wrzesień 2015).
- 35 MW Ryberg i in., Mapowanie globalnego łańcucha wartości tworzyw sztucznych i strat tworzyw sztucznych dla środowiska (Paryż: UNEP, 2018).

36 Engineering Toolbox, „Moduł Younga — wytrzymałość na rozciąganie i plastyczność dla popularnych materiałów” (2020), https://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_417.html.

37 Boeing 787 był pierwszym samolotem pasażerskim zbudowanym głównie z materiały kompozytowe: objętościowo stanowią 89 procent samolotu, a wagowo 50 procent, z czego 20 procent to aluminium, 15 procent tytan i 10 procent stal: J. Hale, „Boeing 787 od podstaw”, Boeing AERO 24 (2006), s. 16-23.

38 WE Bijker, O rowerach, bakelitach i żarówkach: ku teorii zmiany socjotechnicznej (Cambridge, MA: The MIT Press, 1995).

39 S. Mossman, red., Early Plastics: Perspectives, 1850–1950 (Londyn: Muzeum Nauki, 1997); S. Fenichell, Plastic: The Making of a Synthetic Century (Nowy Jork: HarperBusiness, 1996); R. Marchelli, Cywilizacja tworzyw sztucznych: ewolucja przemysłu, który zmienił świat (Pont Canavese: Muzeum Sandretto, 1996).

40 NA Barber, Politereftalan etylenu: zastosowania, właściwości i degradacja (Haupauge, NY: Nova Science Publishers, 2017).

41 PA Ndiaye, Nylon i bomby: DuPont i marsz Współczesna Ameryka (Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 2006).

42 R. Geyer i in., „Produkcja, zastosowanie i los wszelkiego plastiku, jaki kiedykolwiek powstał” Postępy naukowe 3 (2017), e1700782.

43 I nie tylko wszelkiego rodzaju małe plastikowe przedmioty: podłogi, ścianki działowe, płytki sufitowe, drzwi i ramy okienne mogą być również wykonane z plastiku.

44 Oto obszerny przegląd niedoborów amerykańskich środków ochrony indywidualnej: S. Gondi i wsp., „Potrzeby osobistego wyposażenia ochronnego w USA podczas pandemii COVID-19”, The Lancet 390 (2020), e90–e91. A oto tylko jeden z wielu doniesień medialnych: Z. Schlanger, „Błagając o termometry, torby na ciało i suknie: amerykańscy pracownicy służby zdrowia są niebezpiecznie źle wyposażeni do walki z COVID-19” Czas (20 kwietnia 2020 r.). Aby zapoznać się z perspektywą globalną, patrz Światowa Organizacja Zdrowia, „Niedobór sprzętu ochrony osobistej zagrażający pracownikom służby zdrowia na całym świecie” (3 marca 2020 r.).

- 45 CE Wilkes i MT Berard, Podręcznik PVC (Cincinnati, Ohio: Hanser, 2005).
- 46 M. Eriksen i in., „Zanieczyszczenie plastikiem oceanów na świecie: ponad 5 bilionów kawałków plastiku ważących ponad 250 000 ton unosi się na morzu”, PLoS ONE 9/12 (2014) e111913. A oto wyjaśnienie, dlaczego większość z nich nie jest plastikowa: G. Suaria i in., „Mikrowłókna w oceanicznych wodach powierzchniowych: charakterystyka globalna”, Science Advances 6/23 (2020).
- 47 Podstawowe wykresy i tabele podsumowujące stal i żeliwo klasyfikacje są dostępne pod adresem: https://www.mah.se/upload/_upload/steel%20and%20cast%20iron.pdf.
- 48 O długiej historii surówki zob. V. Smil, Still the Iron Age: Żelazo i stal we współczesnym świecie (Amsterdam: Elsevier, 2016), s. 19-31.
- 49 Szczegółowe informacje na temat przednowoczesnych sposobów wytwarzania stali w Japonii, Chinach, Indiach i Europie zob. Smil, Still the Iron Age, s. 12-17.
- 50 Wytrzymałości na ściskanie granitu i stali wynoszą do 250 milionów paskali (MPa), ale wytrzymałość na rozciąganie granitu nie przekracza 25 MPa w porównaniu do 350–750 MPa dla stali konstrukcyjnych: Cambridge University Engineering Department, Materials Data Book (2003), <http://www.mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/cueddatabooks/materials.pdf>.
-
- 51 W celu zapoznania się z najbardziej szczegółowym opisem patrz JE Bringas, red., Handbook of Comparative World Steel Standards (West Conshohocken, PA: ASTM International, 2004).
- 52 M. Cobb, Historia stali nierdzewnej (Park materiałowy, Ohio: ASM International, 2010).
- 53 Rada ds. Wysokich Budynków i Siedlisk Ludzkich, „Burj Khalifa” (2020), <http://www.skyscrapercenter.com/building/burj-khalifa/3>.
- 54 The Forth Bridges, „Trzy mosty obejmujące trzy wieki” (2020), <https://www.theforthbridges.org/>.
- 55 D. MacDonald i I. Nadel, Golden Gate Bridge: History and Design of a Icon (San Francisco: Chronicle Books, 2008).

- 56 „Wprowadzenie mostu Akashi-Kaikyō”, Bridge World (2005), <https://www.jb-honshi.co.jp/english/bridgeworld/bridge.html>.
-
- 57 JG Speight, Handbook of Offshore Oil and Gas Operations (Amsterdam: Elsevier, 2011).
- 58 Smil, Tworząc współczesny świat, s. 61.
- 59 World Steel Association, „Steel in Automotive” (2020), https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/steel_markets/automotive.html.
-
- 60 Międzynarodowe Stowarzyszenie Producentów Pojazdów Samochodowych, „Statystyki produkcji” (2020), http://www.oica.net/production_statistics/.
-
- 61 Nippon Steel Corporation, „Rails” (2019), https://www.nipponsteel.com/product/catalog_download/pdf/K003en.pdf
- 62 Na temat historii kontenerowców zob. V. Smil, Prime Movers of Globalization (Cambridge, MA: MIT Press, 2010), s. 180–194.
- 63 US Bureau of Transportation Statistics, „US oil and gas pipeline mileage” (2020), <https://www.bts.gov/content/us-oil-and-gas-pipeline-mileage>.
-
- 64 Czołgi podstawowe to najczęstsza stalowa broń stosowana na dużą skalę przez współczesne armie: największa wersja amerykańskiego czołgu M1 Abrams (prawie cała stal) waży 66,8 tony.
- 65 D. Alfè i in., „Temperatura i skład jądra Ziemi”, Fizyka Współczesna 48/2 (2007), s. 63–68.
- 66 Sandatlas, „Skład skorupy” (2020), <https://www.sandatlas.org/composition-of-theearths-crust/>.
-
- 67 US Geological Survey, „Ruda żelaza” (2020), <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-iron-ore.pdf>.
- 68 AT Jones, Electric Arc Furnace Steelmaking (Washington, DC: American Iron and Steel Institute, 2008).
- 69 Elektryczny piec łukowy zużywający tylko 340 kWh/t stali ma moc 125–130 MW, a jego dzienna eksploatacja (40 wytopów po 120 t) będzie wymagała 1,63 GWh energii elektrycznej. Przy użyciu średniego rocznego zużycia energii elektrycznej przez gospodarstwo domowe w USA wynoszącego około 29 kWh/dzień i średniej wielkości gospodarstwa domowego

2,52 osoby, co przekłada się na odpowiednik około 56 000 gospodarstw domowych lub 141 000 osób.

70 „Alang, Gujarat: The World's Biggest Ship Breaking Yard & A Dangerous Environmental Time Bomb”, Marine Insight (marzec 2019), https://www.marineinsight.com/environment/alang-gujarat_zlom-niebezpieczna-srodowiskowa-bomba_zegarowa/. W marcu 2020 roku widok satelitarny Google pokazał ponad 70 statków i platform wiertniczych na różnych etapach demontażu na plażach Alang między P. Rajesh Shipbreaking na południowym krańcu a Rajendra Shipbreakers, około 10 km na północny zachód.

71 Instytut Stali Wzmacniającej Beton, „Materiały z recyklingu” (2020), <https://www.crsi.org/index.cfm/architecture/recycling>.

72 Biuro Recyklingu Międzynarodowego, World Steel Recycling w Liczby 2014–2018 (Bruksela: Bureau of International Recycling, 2019).

73 World Steel Association, Stal w liczbach 2019 (Bruksela: World Steel Association, 2019).

74 O długiej historii wielkich pieców zob. Smil, Still the Iron Age. Budowa i eksploatacja nowoczesnych wielkich pieców, patrz M. Geerdes i in., Nowoczesne wytwarzanie żelaza w piecu wielkopiecowym (Amsterdam: IOS Press, 2009); I. Cameron i in., Produkcja żelaza w wielkim piecu (Amsterdam: Elsevier, 2019).

75 Wynalezienie i dyfuzja zasadowych pieców tlenowych jest śledzone w W. Adams i JB Dirlam, „Wielka stal, wynalazki i innowacje” Kwartalnik Journal of Economics 80 (1966), s. 167–189; TW Miller i in., „Procesy produkcji stali tlenowej”, w DA Wakelin, red., The Making, Shaping and Treating of Steel: Ironmaking Volume (Pittsburgh, PA: The AISE Foundation, 1998), s. 475–524; J. Stubbles, „Produkcja stali EAF – przeszłość, teraźniejszość i przyszłość” Bezpośrednio z MIDREX 3 (2000), s. 3-4.

76 World Steel Association, „Wykorzystanie energii w przemyśle stalowym” (2019), https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:f07b864c-908e-4229-9f92-669f1c3abf4c/fact_energy_2019.pdf.

- 77 O trendach historycznych zob. Smil, Still the Iron Age; Energia USA Information Administration, „Zmiany w produkcji stali zmniejszają energochłonność” (2016), <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=27292>.
- 78 World Steel Association, Wkład stali w niskoemisyjną przyszłość i społeczeństwa odporne na zmiany klimatu (Bruksela: World Steel Association, 2020); H. He i in., „Ocena przepływu energii i emisji dwutlenku węgla w zintegrowanych hutach”, Energy Reports 3 (2017), s. 29–36.
- 79 JP Saxena, Cementowy piec obrotowy: całkowita produktywność Konserwacja, techniki i zarządzanie (Boca Raton, FL: CRC Press, 2009).
- 80 V. Smil, „Konkretnie fakty”, Spectrum IEEE (marzec 2020), s. 20–21; Krajowe stowarzyszenia mieszanek betonowych, Arkusz informacyjny dotyczący betonu CO₂ (2008).
- 81 F.-J. Ulm, „Beton o potencjale innowacyjnym: od atomów do zielonej infrastruktury”, „Beton and Reinforced Concrete Builders” 107 (2012), s. 504–509.
- 82 Nowoczesne budynki drewniane stają się coraz wyższe, ale nie używa się w nich zwykłego tarcicy, ale znacznie mocniejszego drewna klejonego krzyżowo (CLT), zastrzeżonego materiału inżynierijnego prefabrykowanego z kilku (3, 5, 7 lub 9) warstw suszonych w piecu tarcica ułożona na płasko i sklejona : <https://cwc.ca/jak-budować-z-dREWna/produkty-dREWniane/mass-timber/cross-laminated-timber-clt/>. W 2020 roku najwyższym na świecie (85,4 m) budynkiem CLT był Mjøstårnet by Voll Arkitekter w Brumunddal w Norwegii, obiekt wielofunkcyjny (mieszkania, hotel, biura, restauracja, basen) ukończony w 2019 roku: <https://www.dezeen.com/2019/03/19/mjostarne-worlds-najwyzsza-dREWniana-wieza-voll-arkitekter-norway/>.
- 83 F. Lucchini, Panteon - Zabytki Architektury (Rzym: Nowe naukowe Włochy, 1966).
- 84 AJ Francis, Przemysł cementowy, 1796–1914: historia (Newton Abbot: David i Charles, 1978).
- 85 Uśmiech, „Konkretnie fakty”.

- 86 JL Bosc, Joseph Monier i narodziny wzmacnionego cementu (Paryż: Editions du Linteau, 2001); F. Newby, ed., Wczesny żelbet (Burlington, VT: Ashgate, 2001).
- 87 Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Budownictwa, „Ingalls building” (2020), <https://www.asce.org/project/ingalls-building/>; MM Ali, „Ewolucja betonowych drapaczy chmur: od Ingalla do Jin Mao”, Electronic Journal of Structural Engineering 1 (2001), s. 2-14.
- 88 M. Peterson, „Betonowe domy Thomasa Edisona”, Invention & Technologia 11/3 (1996), s. 50-56.
- 89 DP Billington, Robert Maillart i sztuka betonu zbrojonego (Cambridge, MA: MIT Press, 1990).
- 90 BB Pfeiffer i D. Larkin, Frank Lloyd Wright: The Masterworks (Nowy Jork: Rizzoli, 1993).
- 91 E. Freyssinet, Bezgraniczna miłość (Paryż: Editions du Lintel, 1993).
- 92 Opera w Sydney: Zasady projektowania Utzon (Sydney: Sydney Opera, 2002).
- 93 Historia mostów, „Najdłuższy most świata — Danyang — Kunshan Grand Bridge” (2020), <http://www.historyofbridges.com/famous-bridges/longest-bridge-in-the-world/>.
- 94 US Geological Survey, „Materiały używane w USA Interstate” Autostrady” (2006), <https://pubs.usgs.gov/fs/2006/3127/2006-3127.pdf>.
- 95 Associated Engineering, „Nowe pasy startowe i otwarte niebo i drogi na międzynarodowym lotnisku w Calgary” (czerwiec 2015).
- 96 Wśród wielu książek o zaporze Hoovera naoczny świadek wyróżniają się relacje zawarte w następujących: AJ Dunar i D. McBride, Budowa zapory Hoovera: ustna historia wielkiego kryzysu (Las Vegas: University of Nevada Press, 2016).
- 97 Power Technology, „Three Gorges Dam Hydro Electric Power Plant, China” (2020), https://www.power_technology.com/projects/gorges/.

98 Dane dotyczące produkcji, handlu i konsumpcji amerykańskiej

cement są dostępne w rocznych zestawieniach publikowanych przez US Geological Survey. Wydanie 2020: US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2020, <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>.

99 Przy 320 mln ton produkcja w Indiach w 2019 r., druga co do wielkości na świecie, stanowi zaledwie 15 procent całkowitej produkcji w Chinach: USGS, „Cement” (2020), <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-cement.pdf>.

100 N. Delatte, ed., Awaria, cierplenie i naprawa konstrukcji betonowych (Cambridge: Woodhead Publishing, 2009).

101 DR Wilburn i T. Goonan, Aggregates from Natural and Recycled Sources (Washington, DC: USGS, 2013).

102 Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Budownictwa, Karta Raportu o Infrastrukturze 2017, <https://www.infrastructurereportcard.org/>.

103 C. Kenny, Paving Paradise, Foreign Policy (styczeń/luty 2012), s. 31-32.

104 Opuszczane konstrukcje betonowe na całym świecie obejmują obecnie niemal każdy rodzaj budynków, od baz atomowych okrętów podwodnych po reaktory jądrowe (każdy z nich można znaleźć na Ukrainie), od dworców kolejowych i dużych stadionów sportowych po teatry i pomniki.

105 Obliczono na podstawie oficjalnych chińskich danych publikowanych corocznie w chiński Rocznik Statystyczny . Najnowsze wydanie jest dostępne pod adresem: <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2019/indexeh.htm>.

106 MP Mills, Mines, Minerals and „Green” Energy: A Reality Check (Nowy Jork: Manhattan Institute, 2020).

107 V. Smil, „Co widzę, gdy widzę turbinę wiatrową”, IEEE Spectrum (marzec 2016), s. 27.

108 H. Berg i M. Zackrisson, „Perspektywy oceny środowiskowej i kosztowej elektrod ujemnych z metalem litowym w akumulatorach trakcyjnych pojazdów elektrycznych”, Journal of Power Sources 415 (2019), s. 83–90; M. Azevedo i in., Lithium and Cobalt: A Tale of Two Commodities (Nowy Jork: McKinsey & Company, 2018).

109 C. Xu i in., „Przyszłe zapotrzebowanie materiałowe na samochodowe baterie litowe”, Communications Materials 1 (2020), s. 99.

4. Zrozumienie globalizacji: silniki, mikroczipy i nie tylko

- 1 Informacje o pochodzeniu części iPhone'a można znaleźć w artykule „Oto skąd pochodzą wszystkie komponenty Twojego iPhone'a”, [Business Insider, https://i.insider.com/570d5092dd089568298b4978](https://i.insider.com/570d5092dd089568298b4978); i zobacz rzeczywiste części na: „iPhone 11 Pro Max Teardown”, iFixit (wrzesień 2019), <https://www.ifixit.com/Teardown/iPhone+11+Pro+Max+Teardown/126000> 2 Prawie 1,1 miliona zagranicznych studentów zostało zapisanych do US
-

uniwersytety i uczelnie wyższe w roku akademickim 2018/2019, stanowiące 5,5% całości i wnoszące 44,7 miliarda dolarów do amerykańskiej gospodarki: Publikacja danych Open Doors 2019, <https://opendoorsdata.org/annual-release/>.

- 3 Nic nie oddaje przed-COVID-owej plagi nadmiernej turystyki, tak jak zdjęcia głównych ośrodków turystycznych pokrytych przez masy ludzi: wystarczy wyszukać „overtourism” i kliknąć Obrazy.
- 4 Światowa Organizacja Handlu, Najważniejsze wydarzenia światowego handlu (2019), https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2019_e/wts2019chapter02_e.pdf
- 5 Bank Światowy, „Bezpośrednie inwestycje zagraniczne, wpływy netto” (dostęp: 2020), <https://data.worldbank.org/indicator/BX.KLT.DINV.CD.WD>; A. Debnath i S. Barton, „Globalny obrót walutami wzrasta do 6,6 biliona dolarów dziennie”, GARP (wrzesień 2019), <https://www.garp.org/#!/risk/intelligence/all/all/a1Z1W000003mKKPUA2>.
-
- 6 V. Smil, „Data world: Racing into yotta”, IEEE Spectrum (lipiec 2019), s. 20. Szczegółowe informacje na temat podwielokrotności jednostek znajdują się w Dodatku.
- 7 Peterson Institute for International Economics, „Co to jest globalizacja?” (dostęp 2020), <https://www.piie.com/microsites/globalization/what-is-globalization>.
-
- 8 WJ Clinton, Public Papers of the Presidents of the United States: William J. Clinton, 2000-2001 (Best Books, 2000).

- 9 Bank Światowy, „Bezpośrednie inwestycje zagraniczne, wpływy netto”.
- 10 Oczywiście brak wolności osobistych lub wysoki poziom korupcji nie są przeszkodą w dużym napływie inwestycji. Wynik wolności Chin wynosi 10, a Indii 71 na 100 możliwych (Kanady 98), a Chiny dzielą wysoką pozycję we wskaźniku postrzegania korupcji (80, w porównaniu do Finlandii 3) z Indiami: Freedom House, „Kraje i terytoria” (dostęp 2020), <https://freedomhouse.org/countries/freedom-world/scores>; Transparency International, „Wskaźnik postrzegania korupcji” (dostęp 2020), <https://www.transparency.org/en/cpi/2020/index/nzl>.
-
- 11 G. Wu, „Koniec ubóstwa w Chinach: co tłumaczy wielkie ubóstwo zmniejszenie i równoczesny wzrost nierówności na obszarach wiejskich?” Blogi Banku Światowego (październik 2016), <https://blogs.worldbank.org/estasiapacific/ending-poverty-in-china-what-explains-great-poverty-reduction-and-a-simultaneous-growth-in-inequality-in-obszary-wiejskie>.
- 12 Oto tylko mały wybór kilku godnych uwagi wypowiedzi: J. E. Stiglitz, Globalizacja i jej niezadowolenia (New York: WW Norton, 2003); G. Buckman, Globalization: Ose It or Scrap It?: Mapowanie alternatyw ruchu antyglobalistycznego (Londyn: Zed Books, 2004); M. Wolf, Dlaczego globalizacja działa (New Haven, CT: Yale University Press, 2005); P. Marber, „Globalizacja i jej zawartość”, World Policy Journal 21 (2004), s. 29–37; J. Bhagvati, W obronie globalizacji (Oxford: Oxford University Press, 2007); J. Miśkiewicz i M. Ausloos, „Czy światowa gospodarka osiągnęła granicę globalizacji?” Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 389 (2009), s. 797–806; L.J. Brahm, Antyglobalistyczny Klub Śniadaniowy: Manifest Pokojowej Rewolucji (Chichester: John Wiley, 2009); D. Rodrik, Paradoks globalizacji: demokracja i przyszłość gospodarki światowej (Nowy Jork: WW Norton, 2011); R. Baldwin, Wielka konwergencja: technologia informacyjna i nowa globalizacja (Cambridge, MA: Belknap Press, 2016).
- 13 J. Yellin i in., „Nowe dowody na prehistoryczne szlaki handlowe: The obsidianowe dowody z Gilat w Izraelu, Journal of Field Archeology

23 (2013), s. 361–368.

- 14 Cassius Dio, Romaika LXVIII: 29: „Potem przybył do samego oceanu, a kiedy poznał jego naturę i zobaczył statek płynący do Indii, powiedział: 'Z pewnością powiniensem był też przepłynąć do Indii, gdybym był jeszcze młody. Zaczął bowiem myśleć o Indiach i był ciekaw ich spraw, a Aleksandra uważała za szcześciarza". (tłumaczenie E. Cary'ego).
- 15 V. Smil, Dlaczego Ameryka nie jest nowym Rzymem (Cambridge, MA: MIT Press, 2008).
- 16 J. Keay, The Honorable Company: Historia angielskiej Kompanii Wschodnioindyjskiej (Londyn: Macmillan, 1994); FS Gaastra, Holenderska Kompania Wschodnioindyjska (Zutpen: Walburg Press, 2007).
- 17 Tragarze z ciężkimi ładunkami (50–70 kg) w górzystym terenie nie mogli pokonywać dziennie więcej niż 9–11 km; z lżejszymi ładunkami (35–40 kg) mogą pokonywać do 24 km dziennie, tyle samo co karawany konne: N. Kim, Mountain Rivers, Mountain Roads: Transport in Southwest China, 1700–1850 (Leiden: Brill, 2020), p. 559.
- 18 JR Bruijn i in., Holendersko-azjatycka żegluga w XVII i XVIII wieku (Haga: Martinus Nijhoff, 1987).
- 19 J. Lucassen, „Międzynarodowa firma i jej siła robocza: Holenderska Kompania Wschodnioindyjska, 1595–1795”, International Labour and Working Class History 66 (2004), s. 12–39.
- 20 C. Mukerji, Z obrazów rytych: wzory nowoczesności Materializm (Nowy Jork: Columbia University Press, 1983).
- 21 W. Franits, holenderskie XVII-wieczne malarstwo rodzajowe (Nowe Haven, CT: Yale University Press, 2004); D. Shawe-Taylor i Q. Buvelot, Masters of the Everyday: Dutch Artists in the Age of Vermeer (Londyn: Royal Collection Trust, 2015).
- 22 W. Fock, „Symbol czy rzeczywistość? Wnętrze domu w Seventeenth-Century Dutch Genre Painting”, w red. M. Westermann, Art & Home: Dutch Interiors in the Age of Rembrandt (Zwolle: Waanders, 2001), s. 83–101.
- 23 J. de Vries, „Luksus w holenderskim Złotym Wieku w teorii i praktyka”, w red. M. Berg i E. Eger, Luxury in the Eighteenth

Century (Londyn: Palgrave Macmillan, 2003), s. 41-56.

- 24 D. Hondius, „Czarni Afrykanie w XVII-wiecznym Amsterdamie”,
Renesans i Reformacja 31 (2008), s. 87-105; T. Moritake, „Holandia i herbata”,
Światowe Stowarzyszenie Zielonej Herbaty (2020), <http://www.o-cha.net/english/teacha/history/netherlands.html>.
- 25 A. Maddison, „Holenderski dochód w Indonezji i z Indonezji 1700–1938”,
Studia współczesnej Azji 23 (1989), s. 645-670.
- 26 RT Gould, chronometr morski: jego historia i rozwój
(Nowy Jork: ACC Art Books, 2013).
- 27 CK Harley, „Brytyjski przemysł stoczniowy i żegluga handlowa: 1850–1890”,
Journal of Economic History 30/1 (1970), s. 262–266.
- 28 R. Knauerhase, Mieszany silnik parowy i produktywność: zmiany w
niemieckiej flocie handlowej, 1871–1887,
Journal of Economic History 28/3 (1958), s. 390-403.
- 29 CL Harley, „Stery na wodzie: Północnoatlantycki handel mięsem, liniowcem”
przewaga i stawki frachtowe, 1870–1913”, Journal of Economic History 68/4
(2008), s. 1028–1058.
- 30 Na temat historii telegrafu zob. FB Jewett, 100 Years of Electrical
Communication in the United States (New York: American Telephone
and Telegraph, 1944); D. Hochfelder, The Telegraph in America,
1832–1920 (Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 2013); R.
Wenzlhuemer, Łączenie XIX-wiecznego świata. The Telegraph and
Globalization (Cambridge: Cambridge University Press, 2012).
- 31 Aby zapoznać się z wcześnieą historią telefonu, zob. HN Casson, The
Historia telefonu (Chicago: AC McClurg & Company, 1910); E. Garcke,
„Telefon”, w Encyclopaedia Britannica, wyd. 11, tom. 26 (Cambridge:
Cambridge University Press, 1911), s. 547-557.
- 32 Smil, Tworzenie XX wieku.
- 33 G. Federico i A. Tena-Junguito, Handel światowy, 1800–1938: a
nowa synteza”, Revista de Historia Económica / Journal of Iberian and Latin
American Economic History 37/1 (2019); CEPII, „Bazy danych”, http://www.cepii.fr/CEPII/en/bdd_modele/bdd.asp;

MJ Klasing i P. Milionis, „Quantifying the evolution of world trade, 1870-1949”, Journal of International Economics 92/1 (2014), s. 185-197. Aby zapoznać się z historią „globalizacji pary”, zob. J. Darwin, *Unlocking the World: Port Cities and Globalization in the Age of Steam, 1830–1930* (Londyn: Allen Lane, 2020).

34 Departament Bezpieczeństwa Wewnętrzne Stanów Zjednoczonych, „Całkowita liczba imigrantów według dekada”,

http://teacher.scholastic.com/activities/immigration/pdfs/by_decade/decade_line_charts.pdf

35 Rozwój turystyki w XIX wieku opisuje P. Smith, *The History of Tourism: Thomas Cook and the Origins of Leisure Travel* (Londyn: Psychology Press, 1998); E. Zuelow, *A History of Modern Tourism* (Londyn: Red Globe Press, 2015).

36 Lenin mieszkał i podróżował po Europie Zachodniej (Francja, Szwajcaria, Anglia, Niemcy i Belgia) i austriackiej Polsce od lipca 1900 do listopada 1905, a następnie od grudnia 1907 do kwietnia 1917: R. Service, *Lenin. Biografia* (Cambridge, MA: Belknap Press, 2002).

37 Smil, Pierwsi twórcy globalizacji.

38 F. Oppel, red., *Early Flight* (Secaucus, NJ: Castle, 1987); B. Gunston, *Lotnictwo: pierwsze 100 lat* (Hauppauge, NY: Barron's, 2002).

39 M. Raboy, *Marconi: The Man Who Networked the World* (Oxford: Oxford University Press, 2018); HGJ Aitkin, *The Continuous Wave: Technologia i American Radio, 1900-1932* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1985).

40 Smil, główni twórcy globalizacji.

41 JJ Bogert, „Nowe silniki olejowe”, *The New York Times* (26 września 1912), s. 4.

42 E. Davies i in., *Douglas DC-3: 60 lat i liczenie* (Elk Grove, Kalifornia: Aero Vintage Books, 1995); MD Klaás, *Last of the Flying Clippers* (Atglen, PA: Schiffer Publishing, 1998); „Pan Am across the Pacific”, *Pan Am Clipper Flying Boats* (2009), <https://www.clipperflyingboats.com/transpacific-airline-service>.

- 43 M. Novak, „Jak wyglądały międzynarodowe podróże lotnicze w latach 30.”
Gizmodo (2013), <https://paleofuture.gizmodo.com/what-international-air-travel-was-like-in-the-1930s-1471258414>.
-
- 44 J. Newman, „Titanic: Bezprzewodowe wiadomości o niebezpieczeństwie wysłane i odebrane 14-15 kwietnia 1912, Great Ships (2012),
<https://greatships.net/distress.>
- 45 AK Johnston i in., Czas i nawigacja (Washington, DC: Smithsonian Books, 2015).
- 46 Aby zapoznać się z wykresem wskaźników adopcji nowych urządzeń, zob. D. Thompson, „100 - letni marsz technologii na jednym wykresie”, The Atlantic (kwiecień 2012), <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2012/04/the-100-year-march-of-technology-w-1-wykresie/255573/>.
-
- 47 V. Smil, Made in USA: The Rise and Retreat of American Manufacturing (Cambridge, MA: MIT Press, 2013).
- 48 S. Okita, Japan's Economy and the Korean War, Far Eastern Survey 20 (1951), s. 141–144.
- 49 Historyczne statystyki (krajowe i światowe) produkcji stali, cementu i amoniaku (azotu) są dostępne w: US Geological Survey, „Commodity statistics and information”, <https://www.usgs.gov/centers/nmic/commodity-statystyki-i-informacje>. W przypadku produkcji tworzyw sztucznych patrz R. Geyer i in., „Produkcja, wykorzystanie i los wszystkich tworzyw sztucznych, jakie kiedykolwiek powstały”, Science Advances 3/7 (2017), e1700782.
- 50 R. Solly, Tanker: The History and Development of Crude Oil Tankers (Barnsley: Chatham Publishing, 2007).
- 51 Organizacja Narodów Zjednoczonych, Światowe dostawy energii w wybranych latach 1929–1950 (Nowy Jork: ONZ, 1952); British Petroleum, Statystyczny Przegląd Energii Światowej.
- 52 PG Noble, „Krótka historia żeglugi LNG, 1959–2009”, NAZWISKO (2009).
- 53 M. Levinson, Pudełko (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2006); Smil, pierwsi inicjatorzy globalizacji.

- 54 Odnośnie do wzrostu importu i spadku udziału samochodów z Detroit w amerykańskim rynku samochodowym zob. Smil, Made in the USA.
- 55 Niemiecki MAN (Maschinenfabrik-Augsburg-Nürnberg) był liderem postępu technicznego w silnikach wysokoprężnych po drugiej wojnie światowej, ale obecnie największe maszyny są projektowane przez fińską Wärtsilä i produkowane w Azji (Japonia, Korea Południowa, Chiny): <https://www.wartsila.com/marine/build/engines-and-generating-sets/diesel-engines> (dostęp w 2020 r.).
- 56 Smil, Prime Movers of Globalization, s. 79–108.
- 57 GM Simons, Kometa! Pierwszy na świecie samolot pasażerski odrzutowy (Filadelfia: Casemate, 2019).
- 58 EE Bauer, Boeing: pierwszy wiek (Enumclaw, Waszyngton: TABA Publishers, 2000); A. Pelletier, Boeing: The Complete Story (Sparkford: Haynes Publishing, 2010).
- 59 O 747 opublikowano więcej książek niż o jakiekolwiek innej
inne samoloty komercyjne w historii. J. Sutter i J. Spenser, 747: Tworzenie
pierwszego na świecie Jumbo Jet i innych przygód z życia w lotnictwie
(Washington, DC: Smithsonian, 2006). Aby zapoznać się z wnętrzem, patrz C.
Wood, Boeing 747 Owners' Workshop Manual (Londyn: Zenith Press, 2012).
- 60 „JT9D Engine”, Pratt & Whitney (dostęp 2020), <https://prattwhitney.com/products-and-services/products/commercial-engines/jt9d>. Po szczegóły dotyczące turbowentylatorów
patrz N. Cumpsty, Jet Propulsion (Cambridge: Cambridge University Press,
2003); A. Linke-Diesinger, Systemy komercyjnych silników turbowentylatorowych
(Berlin: Springer, 2008).
- 61 E. Lacitis, „50 lat temu pierwszy 747 wystartował i zmienił lotnictwo”,
The Seattle Times (luty 2019).
- 62 S. McCartney, ENIAC (Nowy Jork: Walker & Company, 1999).
- 63 TR Reid, Chip (Nowy Jork: Random House, 2001); C.
Lécuyer i DC Brock, Twórcy mikroprocesora (Cambridge: MIT Press, 2010).
- 64 „Historia Intel 4044”, Intel (dostęp w 2020 r.),
<https://www.intel.com/content/www/us/en/history/museum-story->

[of-intel-4004.html.](#)

65 Bank Światowy, „Eksport towarów i usług (procent PKB)” (dostęp 2020), <https://data.worldbank.org/indicator/ne.exp.gnfs.zs>.

66 Organizacja Narodów Zjednoczonych, World Economic Survey, 1975 (Nowy Jork: ONZ, 1976).

67 SA Camarota, Imigranci w Stanach Zjednoczonych, 2000 (Centrum Studiów Imigracyjnych, 2001), https://cis.org/Report/Immigrants_United-States-2000.

68 P. Nolan, Chiny i globalna rewolucja biznesowa (Londyn: Palgrave, 2001); L. Brandt i in., red., China's Great Transformation (Cambridge: Cambridge University Press, 2008).

69 S. Kotkin, Armageddon zażegnany: The Soviet Collapse, 1970–2000 (Oxford: Oxford University Press, 2008).

70 C. VanGrasstek, Historia i przyszłość Światowej Organizacji Handlu (Genewa: WTO, 2013).

71 Bank Światowy, „Wzrost PKB per capita (procent roczny) — Indie” (dostęp w 2020 r.), <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.KD.ZG?lokalizacje=IN>.

72 Światowa Organizacja Handlu, Światowy Przegląd Statystyczny Handlu 2019 (Genewa: WTO, 2019),

https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2019_e/wts2019_e.pdf.

73 Bank Światowy, „Udział w handlu (procent PKB)” (dostęp w 2020 r.), <https://data.worldbank.org/indicator/ne.trd.gnfs.zs>.

74 Bank Światowy, „Bezpośrednie inwestycje zagraniczne, odpływy netto (procent GDP)” (dostęp 2020), <https://data.worldbank.org/indicator/BM.KLT.DINV.WD.GD.ZS>.

75 S. Shulgin i in., „Pomiar globalizacji: podejście sieciowe do globalnych wskaźników łączności krajów i ich ewolucji w czasie”, Ewolucja społeczna i historia 18/1 (2019), s. 127–138.

76 Konferencja Narodów Zjednoczonych ds. Handlu i Rozwoju, Przegląd Transportu Morskiego, 1975 (Nowy Jork: UNCTAD, 1977); Przegląd Transportu Morskiego, 2019 (Nowy Jork: UNCTAD, 2020); 50

Lata Przeglądu Transportu Morskiego, 1968–2018 (Nowy Jork: UNCTAD, 2018).

77 Maersk, „O naszej grupie”

<https://web.archive.org/web/20071012231026/http://about.maersk.com/en> Mediterranean Shipping Company, „Gülsün Class Ships” (dostęp w 2020 r.), <https://www.msc.com/tha/about-us/new-ships>.

78 International Air Transport Association, World Air Transport Statistics

(Montreal: IATA, 2019) oraz poprzednie tomy tej corocznej publikacji.

79 Światowa Organizacja Turystyki, „Tourism statistics” (dostęp 2020),

<https://www.e-unwto.org/toc/unwtotfb/current>.

80 K. Koens i in., Overtourism? Zrozumienie i zarządzanie rozwojem turystyki

miejskiej poza postrzeganiem (Madryt: Światowa Organizacja Turystyki, 2018).

81 GE Moore, „Pchanie większej liczby komponentów w zintegrowanych

obwody”, Electronics 38/8 (1965), s. 114–117; „Postęp w cyfrowej zintegrowanej elektronice”, Technical Digest, IEEE International Electron Devices Meeting (1975), s. 11–13; „Żaden wykładnik nie jest wieczny: ale 'na zawsze' można opóźnić!”, referat przedstawiony na konferencji Solid State Circuits Conference, San Francisco (2003); Intel, „Moore's law and Intel innovation” (dostęp 2020), <http://www.intel.com/content/www/us/en/history/museum-gordon-moore-law.html>.

82 C. Tung i in., Atlas technologii półprzewodników ULSI (Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2003).

83 JV der Spiegel, „ENIAC-on-a-chip”, Moore School of Electrical Engineering (1995),

<https://www.seas.upenn.edu/~jan/eniacproj.html>.

84 H. Mujtaba, „Procesory AMD EPYC Rome drugiej generacji są wyposażone w

olbrzymią 39,54 miliarda tranzystorów, szczegółowo przedstawiono kość IO” WCCF Tech (październik 2019), <https://wccftech.com/amd-2nd-gen-epyc-rome-iod-ccd-chipshots-39-billion-transistors/>.

85 PE Ceruzzi, GPS (Cambridge, MA: MIT Press, 2018); AK

Johnston i in., Czas i nawigacja (Washington, DC: Smithsonian Books, 2015).

- 86 MarineTraffic, <https://www.marinetraffic.com>.
- 87 Radar lotów24, <https://www.radar24.com>; Świadomość lotu, <https://flightaware.com/live/>.
- 88 Na przykład normalny tor lotu (po trasie Great Circle) z Frankfurtu (FRA) do Chicago (ORD) przebiega na południe od najbardziej wysuniętego na południe punktu Grenlandii (patrz: Great Circle Mapper, [http://www.gcmap.com/mapui? P=FRA-ORD](http://www.gcmap.com/mapui?P=FRA-ORD)). Ale kiedy nadciąga silny prąd strumieniowy, trajektoria przesuwa się na północ i samoloty przelatują nad lodowcami wyspy.
- 89 Najbardziej znaczące niedawne zakłócenie lotów było spowodowane erupcją islandzkiego Eyjafjallajökull w kwietniu i maju 2010 r.: BGS Research, „Eyjafjallajökull eruption, Iceland”, British Geological Survey (dostęp 2020), https://www.bgs.ac.uk/research/volcanoes/icelandic_ash.html.
-
- 90 MJ Klasing i P. Milionis, „Quantifying the evolution of world trade, 1870–1949”, Journal of International Economics 92 (2014), s. 185–197.
- 91 Aby zapoznać się z mapą wskaźnika samowystarczalności żywnościowej, zob. Organizacja Wyżywienia i Rolnictwa, „Samowystarczalność żywnościowa a handel międzynarodowy: fałszywa dychotomia?” w The State of Agricultural Markets IN DEPTH 2015–16 (Rzym: FAO, 2016), <http://www.fao.org/3/a-i5222e.pdf>.
- 92 Internet z pozytkiem sugeruje 10, 13, 20, 23, 50 lub 100 miejsc docelowych na liście — wystarczy wyszukać „Bucket list places to visit”.
- 93 Przegląd malejącego udziału USA i UE w światowej produkcji w publikacji M. Levinson, US Manufacturing in International Perspective (Congressional Research Service, 2018), <https://fas.org/sgp/crs/misc/R42135.pdf>; oraz R. Marschinski i D. Martínez-Turégano, „Skurczający się udział UE w globalnej produkcji: analiza rozkładu łańcucha wartości”, National Institute Economic Review 252 (2020), R19–R32.
- 94 Pomimo chronicznego dużego deficytu handlowego z Chinami, w 2019 roku import Kanady obejmował prawie pół miliarda dolarów papieru, tektury i masy celulozowej – a mimo to powierzchnia naturalnie odnawiających się lasów w Kanadzie na mieszkańca jest około 90 razy większa niż w Kanadzie.

Chiny: FAO, Global Forest Resources Assessment 2020, <http://www.fao.org/3/ca9825en/CA9825EN.pdf>.

95 A. Case i A. Deaton, Deaths of Despair and the Future of Capitalism (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2020).

96 S. Lund i in., Globalization in Transition: The Future of Trade and Value Chains (Washington, DC: McKinsey Global Institute, 2019).

97 OECD, Trade Policy Implications of Global Value Chains (Paryż: OECD, 2020).

98 A. Ashby, „Od globalnego do lokalnego: reshoring dla zrównoważonego rozwoju”, Badania nad zarządzaniem operacyjnym 9/3-4 (2016), s. 75-88; O. Butzbach i in., „Niezadowolenie z produkcji: instytucje krajowe, strategie firm wielonarodowych i sprzeciw wobec globalizacji w gospodarkach zaawansowanych”, Global Strategy Journal 10 (2019), s. 67-93.

99 OECD, „COVID-19 i globalne łańcuchy wartości: opcje polityki budować bardziej odporne sieci produkcyjne” (czerwiec 2020); UNCTAD, Światowy Raport Inwestycyjny 2020 (Nowy Jork: UNCTAD, 2020); Swiss Re Institute, „Pozabezpieczenie globalnych łańcuchów dostaw: Rebalancing w celu wzmacnienia odporności”, Sigma 6 (2020); A. Fish i H. Spillane, „Reshoring zaawansowanych łańcuchów dostaw produkcyjnych w celu generowania dobrych miejsc pracy”, Brookings (lipiec 2020), <https://www.brookings.edu/research/reshoring-advanced-production-supply-chains-to-generate-dobra-robota/>.

100 V. Smil, „Historia i ryzyko”, Wnioskowanie 5/1 (kwiecień 2020). Sześć miesięcy po pandemii COVID w amerykańskich szpitalach nadal utrzymywały się tragiczne niedobory ŚOI: D. Cohen, „Dlaczego niedobór ŚOI wciąż nęka Amerykę i co musimy z tym zrobić”, CNBC (sierpień 2020), <https://www.cnbc.com/2020/08/22/coronavirus-dlaczego-a-ppe-brakuje-nadal-plagi-the-us.html>.

101 P. Haddad, „Rosnący chiński eksport transformatorów powoduje obawy w USA”, Power Transformer News (maj 2019), <https://www.powertransformernews.com/2019/05/02/growing-chinese-transformer-exports-cause-concern-w-nas/>.

102 N. Stonnington, „Dlaczego reshoring produkcji w USA może być falą przyszłości”, Forbes (9 września 2020 r.); M. Leonard, „64 procent producentów twierdzi, że reshoring jest prawdopodobnie następstwem pandemii: ankiet”, Supply Chain Dive (maj 2020), <https://www.supplychaindive.com/news/manufacturing-reshoring-pandemic-thomas/577971/>.

5. Zrozumienie zagrożeń: od wirusów przez diety do rozbłysków słonecznych **1** A. de Waal, „Koniec głodu? Perspektywy likwidacji masowego głodu przez działania polityczne, geografia polityczna 62 (2017), s. 184–195.

2 O wpływie częstszego mycia rąk, patrz Global Partnerstwo w zakresie mycia rąk, „O praniu rąk” (dostęp w 2020 r.), <https://globalhandwashing.org/about-handwashing/>. Ryzyko zatrucia CO było szczególnie wysokie w zimnym klimacie, gdzie piece na drewno były jedynym źródłem ciepła: J. Howell i in., „Zagrożenia związane z tlenkiem węgla w wiejskich domach na Alasce”, Alaska Medicine 39 (1997), s. 8–11. Przy tak wielu rodzajach niedrogich detektorów CO (pierwsze z nich zostały wprowadzone na rynek na początku lat 90.), nie ma usprawiedliwienia dla ofiar śmiertelnych spowodowanych niepełnym spalaniem w domu.

3 Prawdopodobnie nie ma innego projektu o porównywalnej prostocie niż trzypunktowy samochodowy pas bezpieczeństwa (po raz pierwszy autorstwa Nilsa Ivara Bohlina dla Volvo w 1959), któremu można przypisać uratowanie tak wielu istnień ludzkich i zapobieżenie wielu poważniejszym obrażeniom – a czyniąc to w taki niski koszt. Słusznie w 1985 roku Niemiecki Urząd Patentowy zaliczył ją do ośmiu najważniejszych innowacji minionych 100 lat. N. Bohlin, „Analiza statystyczna 28 000 przypadków wypadków z naciskiem na wartość unieruchomienia pasażerów”, SAE Technical Paper 670925 (1967); T. Borroz, „Sukces w zakresie spinania: 3-punktowy pas bezpieczeństwa kończy 50 lat”, Wired (sierpień 2009).

4 Sprawa ta od dawna drażni stosunki zewnętrzne Japonii. Kraj wielokrotnie odmawiał podpisania Konwencji Haskiej dotyczącej cywilnych aspektów uprowadzenia dziecka za granicę (podpisanej w 1980 r., obowiązującej od 1 grudnia 1983 r.): Konwencja dotycząca cywilnych aspektów uprowadzenia dziecka za granicę,

- <https://assets.hcch.net/docs/e86d9f72-dc8d-46f3-b3bf-e102911c8532.pdf>. I choć ostatecznie podpisał ją w 2014 r., niewielu amerykańskim czy europejskim partnerom udało się odzyskać prawa rodzicielskie.
- 5 O zaniku gwałtownych konfliktów zob. JR Oneal, „Od realizmu do liberalnego pokoju: dwadzieścia lat badań nad przyczynami wojny”, w red. G. Lundestad, International Relations Since the End of the Cold War: Some Kluczowe wymiary (Oxford: Oxford University Press, 2012), s. 42-62; S. Pinker, „Upadek wojny i koncepcje natury ludzkiej”, Przegląd Studiów Międzynarodowych 15/3 (2013), s. 400-405.
- 6 Narodowy Instytut Raka, „Narażenie na azbest i ryzyko raka” (dostęp 2020), <https://www.cancer.gov/about-cancer/>; American Cancer Society, „Talcum powder and cancer” (dostęp 2020), <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/talcum-powder-and-cancer.html>; J. Entine, Scared to Death: How Chemofobia Threatens Public Health (Washington, DC: American Council on Science and Health, 2011). Na temat globalnego ocieplenia istnieje szeroki wybór najnowszych apokaliptycznych książek, a wyzwanie zostanie omówione w następnych dwóch rozdziałach.
- 7 S. Knobler i in., Nauka z SARS: Przygotowanie do następnej epidemii choroby — podsumowanie warsztatów (Washington, DC: National Academies Press, 2004); D. Quammen, Ebola: Naturalna i ludzka historia śmiertelnego wirusa (New York: WW Norton, 2014).
- 8 Literatura na temat ryzyka jest obecnie ogromna, z wieloma specjalistycznymi gałęziami: szczególnie liczne są książki i artykuły dotyczące zarządzania ryzykiem biznesowym, a dalszej kolejności publikacje dotyczące zagrożeń naturalnych. Trzy wiodące czasopisma to Risk Analysis, Journal of Risk Research i Journal of Risk.
- 9 Opowieść o ewolucji człowieka w epoce paleolitu zob. F. J. Ayala i CJ Cela-Cond, Procesy w ewolucji człowieka: podróż od wczesnych hominów do neandertalczyków i współczesnych ludzi (Nowy Jork: Oxford University Press, 2017). Aby uzyskać informacje na temat skuteczności diety „paleolitycznej”, zobacz <https://thepaleodiet.com/>. Aby uzyskać bezstronny przegląd diety, skonsultuj się z: Harvard TH Chan School of

Zdrowie publiczne, „Przegląd diety: dieta paleo dla utraty wagi” (dostęp w 2020 r.), <https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/healthy-weight/diet-reviews/paleo-diet/>. Nie brakuje książek, które obiecują nie tylko, że zostaną wegetarianami, a nawet weganami, ale „dosłownie, ocalą świat”. Tylko dwa szeroko nagłośnione ujęcia można znaleźć w JM Masson, The Face on Your Plate: The Truth About Food (Nowy Jork: WW Norton, 2010); oraz JS Foer, We Are the Weather: Saving the Planet Begins at Breakfast (Nowy Jork: Farrar, Straus i Giroux, 2019).

- 10 E. Archer i in., „Brak pomiaru spożycia żywności wywołał fikcyjny dyskurs na temat relacji między dietą a chorobami”, Frontiers in Nutrition 5 (2019), s. 105. Najobszerniejszą, a także najbardziej oskarżycielską wymianę opinii na temat współczesnych prospektywnych badań żywieniowych można znaleźć w czterech zestawach komentarzy, rozpoczynających się od E. Archer i in., „Kontrowersje i debata: Metody oparte na pamięci, artykułu 1: śmiertelne wady kwestionariuszy częstotliwości jedzenia i innych opartych na pamięci metod oceny diety”, Journal of Clinical Epidemiology 104 (2018), s. 113–124.
- 11 Najdalej idące kontrowersje dotyczyły roli tłuszcze dietetyczne i cholesterol w chorobach serca. Aby zapoznać się z pierwotnymi twierdzeniami, zob. American Heart Association, „Wytyczne dietetyczne dla zdrowych dorosłych Amerykanów”, Circulation 94 (1966), s. 1795–1800; A. Keys, Siedem krajów: wielowymiarowa analiza śmierci i choroby wieńcowej serca (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1980). Aby zapoznać się z ich krytyką i odwróceniem wcześniejszych twierdzeń, patrz AF La Berge, „How the ideology of low fat pokonać Amerykę”, Journal of the History of Medicine and Allied Sciences 63/2 (2008), s. 139–177; R. Chowdhury i wsp., „Stowarzyszenie dietetycznych, krążących i uzupełniających kwasów tłuszczowych z ryzykiem wieńcowym: przegląd systematyczny i metaanaliza”, Annals of Internal Medicine 160/6 (2014), s. 398–406; RJ De Souza i wsp., „Spożycie nasyconych i trans nienasyconych kwasów tłuszczowych i ryzyko zgonu z jakiekolwiek przyczyny, choroby sercowo-naczyniowej i cukrzycy typu 2: przegląd systematyczny i metaanaliza badań obserwacyjnych”, British Medical Journal (2015); M. Dehghan i wsp., „Związki spożycia tłuszczów i węglowodanów z chorobami układu krążenia i śmiertelnością w 18 krajach na pięciu kontynentach (PURE): prospektywne badanie kohortowe ”

Lancet 390/1007 (2017), s. 2050-2062; American Heart Association, „Cholesterol w diecie i ryzyko sercowo-naczyniowe: porada naukowa American Heart Association”, nakład 141 (2020), e39–e53.

- 12 Oczekiwana długość życia jako średnia z pięciu lat w latach 1950–2020 są dostępne dla wszystkich krajów i regionów pod adresem: Organizacja Narodów Zjednoczonych, World Population Prospects 2019, <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>.
- 13 Szczegółowe japońskie statystyki historyczne dokumentują ten trend. Urząd Statystyczny Japonii, Statystyka Historyczna Japonii (Tokio: Urząd Statystyczny, 1996).
- 14 H. Toshima i in., wyd., „Lekcje nauki z badania siedmiu krajów: 35-letnie doświadczenie współpracy w epidemiologii chorób układu krążenia” (Berlin: Springer, 1994).
- 15 Więcej na temat spożycia cukru ogółem i dodanego w USA i Japonii zob. SA Bowman i in., Added Sugars Intake of Americans: What We Eat in America, NHANES 2013–2014 (maj 2017); A. Fujiwara i in., „Oszacowanie spożycia skrobi i cukru w populacji japońskiej na podstawie nowo opracowanej bazy danych o składzie żywności”, Nutrients 10 (2018), s. 1474.
- 16 Dobre wprowadzenie to M. Ashkenazi i J. Jacob, The Essence of Japanese Cuisine (Philadelphia: University of Philadelphia Press, 2000); KJ Cwiertka, Nowoczesna kuchnia japońska (Londyn: Reaktion Books, 2006); EC Ratha i S. Assmann, eds., Japanese Foodways: Past & Present (Urbana, IL: University of Illinois Press, 2010).
- 17 Pozorne wskaźniki konsumpcji w Hiszpanii pochodzą z: Fundación Foessa, Sociological studies on the Social Sytuacja in Spain, 1975 (Madryt: Editorial Euramerica, 1976), s. 513; Ministerstwo Rolnictwa, Rybołówstwa i Żywności, Raport dotyczący konsumpcji żywności w Hiszpanii 2018 (Madryt: Ministerstwo Rolnictwa, Rybołówstwa i Żywności, 2019).
- 18 Porównania na podstawie: FAO, „Food Balances” (dostęp 2020), <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>.

- 19 Odnośnie do śmiertelności z powodu CVD, zob. L. Serramajem i wsp., „How could changes in diet wyjaśniać zmiany w śmiertelności z powodu choroby wieńcowej serca w Hiszpanii — The Spanish Paradox”, American Journal of Clinical Nutrition 61 (1995), S1351–S1359; OECD, Cardiovascular Disease and Diabetes: Policies for Better Health and Quality of Care (czerwiec 2015). Oczekiwana długość życia można znaleźć w ONZ, World Population Prospects 2019.
- 20 C. Starr, „Korzyści społeczne a ryzyko technologiczne”, Science 165 (1969), s. 1232–1238.
- 21 Według szczegółowej ilościowej oceny ryzyka, tytoń dym zawiera 18 szkodliwych i potencjalnie szkodliwych składników: K. M. Marano i in., „Ilościowa ocena ryzyka wyrobów tytoniowych: potencjalnie użyteczny element oceny zasadniczej równowagi”, Regulatory Toxicology and Pharmacology 95 (2018), s. 371–384.
- 22 M. Davidson, „Szczepienie jako przyczyna autyzmu – mity i kontrowersje”, Dialogues in Clinical Neuroscience 19/4 (2017), s. 404–407; J. Goodman i F. Carmichael, „Koronawirus: teoria spiskowa „mikrochipów” Billiego Gatesa i inne twierdzenia dotyczące szczepionek sprawdzone”, BBC News (29 maja 2020 r.).
- 23 Na początku września 2020 r. dwie trzecie Amerykanów stwierdziło, że nie przyjmie szczepionki COVID-19, gdy stanie się ona dostępna: S. Elbeshbishi i L. King, „Ekskluzywne: dwie trzecie Amerykanów twierdzi, że nie dostanie szczepionki COVID-19, gdy będzie ona dostępna po raz pierwszy, pokazy USA TODAY/Suffolk Poll”, USA Today (wrzesień 2020 r.).
- 24 Obszerne raporty na temat skutków zdrowotnych tych dwóch katastrof są dostępne pod adresem: B. Bennett i in., Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programs, Report of the ONZ Chernobyl Forum (Genewa: WHO, 2006); Światowa Organizacja Zdrowia, Ocena ryzyka dla zdrowia po awarii jądrowej po wielkim trzęsieniu ziemi i tsunami we wschodniej Japonii w 2011 r. na podstawie wstępnego oszacowania dawki (Genewa: WHO, 2013).
- 25 World Nuclear Association, „Nuclear power in France” (dostęp 2020), <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-af/france.aspx>.

- 26 C Joppke, *Mobilizing Against Nuclear Energy: A Comparison of Germany and United States* (Berkeley, CA; University of California Press, 1993); Tresantis, *Ruch antynuklearny: historia i perspektywy* (Berlin: Stowarzyszenie A, 2015).
- 27 Te kwestie były wielokrotnie powtarzane przez Barucha Fischhoffa i Paula Slovica: B. Fischhoff i in., „Jak bezpieczne jest wystarczająco bezpieczne? Psychometryczne badanie postaw wobec zagrożeń i korzyści technologicznych”, *Policy Sciences* 9 (1978), s. 127–152; B. Fischhoff, „Percepcja ryzyka i komunikacja unplugged: Twenty years of process”, *Risk Analysis* 15/2 (1995), s. 137–145; B. Fischhoff i J. Kadany, *Ryzyko: bardzo krótkie wprowadzenie* (New York: Oxford University Press, 2011); P. Slovic, „Postrzeganie ryzyka”, *Science* 236/4799 (1987), s. 280–285; P. Slovic, *Postrzeganie ryzyka* (Londyn: Earthscan, 2000); P. Slovic, „Percepcja ryzyka i analiza ryzyka w świecie hiperpartyjnym i cnotliwie brutalnym”, *Analiza ryzyka* 40/3 (2020), s. 2231–2239.
- 28 Trzy godne uwagi niedawne katastrofy wskazują na typowy zakres ofiar śmiertelnych podczas wypadków przemysłowych i budowlanych: wykolejenie, pożar i eksplozja pociągu przewożącego ropę naftową w Lac Mégantic w Quebecu (6 lipca 2013 r.) z 47 ofiarami śmiertelnymi; zawalenie się budynku w Dhace, w którym w dniu 24 kwietnia 2013 r. zginęło 1129 pracowników przemysłu odzieżowego; oraz awaria zapory Brumadinho w Brazylii z 233 zgonami 25 stycznia 2019 r.
- 29 Po swobodnym spadaniu przez zaledwie cztery sekundy w brzuchu przy ziemi W takiej konfiguracji skoczek bazowy pokonuje 72 m i osiąga prędkość 120 km/h: „Mapa swobodnego spadania BASE jumping”, *The Great Book of Base* (2010), <https://base-book.com/BASEFreefallChart>.
- 30 AS Ramírez i in., „Poza fatalizmem: przeciążenie informacjami jako mechanizm rozumienia dysproporcji w zdrowiu”, *Social Science and Medicine* 219 (2018), s. 11–18.
- 31 DR Kouabenan, „Zawód, doświadczenie w prowadzeniu pojazdu oraz postrzeganie ryzyka i wypadku”, *Journal of Risk Research* 5 (2002), s. 49–68; B. Keeley i in., „Funkcje fatalizmu zdrowotnego: fatalistyczne rozmowy jako ratowanie twarzy, zarządzanie niepewnością, łagodzenie stresu i tworzenie sensu”, *Sociology of Health & Illness* 31 (2009), s. 734–747.
- 32 A. Kayani i in., „Fatalizm i jego konsekwencje dla ryzykownego korzystania z dróg”

oraz otwartość na komunikaty dotyczące bezpieczeństwa: Dochodzenie jakościowe w Pakistanie", Health Education Research 27 (2012), s. 1043–1054; B. Mahembe i OM Samuel, „Wpływ osobowości i fatalistyczne przekonania na zachowanie kierowców taksówek", South African Journal of Psychology 46/3 (2016), s. 415–426.

- 33 A. Suárez-Barrientos i wsp., „Dobowe zmiany wielkości zawału w ostrym zawałe mięśnia sercowego", Heart 97 (2011), 970e976.
- 34 Światowa Organizacja Zdrowia, „Upadki" (styczeń 2018),
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>.
- 35 O Salmonelli, patrz Centra Kontroli i Prewencji Chorób,
„Salmonella i jajka", <https://www.cdc.gov/foodsafety/communication/salmonella-and-eggs.html>. O pozostałościach pestycydów w herbatce, zob. J. Feng i in., „Monitoring and risk assessment of pesticiderosists in pesticides in tea samples from China", Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal 21/1 (2015), s. 169–183 .
- 36 Najnowsze statystyki FBI dotyczące morderstw i nieumyślnego spowodowania śmierci (na 100 000 osób) to 51 dla Baltimore, 9,7 dla Miami i 6,4 dla Los Angeles:
<https://ucr.fbi.gov/crime-in-the-us/2018/crime-in-the-us-2018/topic-strony/morderstwo>.
- 37 Największe niedawne wycofanie skażonych leków pochodzących z Chin obejmowało powszechnie przepisywane leki przeciwnadciśnieniowe: Food and Drug Administration, „Aktualizacje FDA i ogłoszenia prasowe dotyczące wycofania blokerów receptora angiotensyny II (ARB) (valsartan, losartan i irbesartan)" (listopad 2019), <https://www.fda.gov/drugs/drug-safety-and-availability/fda-updates-and-press-announcements-angiotensin-ii-receptor-blocker-arb-recalls-valsartan-losartan>.
-
- 38 Office of National Statistics, „Zgony zarejestrowane w Anglii i Walii: 2019", <https://www.ons.gov.uk/peoplepopulationandcommunity/birthsdeathsandmarriages/> 39 KD Kochanek i in., „Zgony: dane końcowe za 2017 r." Vital Statistics Reports 68 (2019), s. 1–75; J. Xu i in., Śmiertelność w Stanach Zjednoczonych, 2018, NCHS Data Brief nr 355 (styczeń 2020).

- 40 Starr, „Korzyści społeczne a ryzyko technologiczne”. Metryka micromort, wprowadzona w 1989 roku przez Ronaldą Howarda, została wykorzystana w wielu publikacjach Davida Spiegelhaltera: RA Howard, „Microrisks for medical Decision analysis”, International Journal of Technology Assessment in Health Care 5/3 (1989), s. 357. -370; M. Blastland i D. Spiegelhalter, The Norm Chronicles: Stories and Numbers about Danger and Death (New York: Basic Books, 2014).
- 41 Organizacja Narodów Zjednoczonych, Światowa śmiertelność 2019,
https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/mortality/WM_42_CDC_Factsheet.pdf
„Fakty chorób serca”,
<https://www.cdc.gov/heartdisease/facts.htm>; DS Jones i JA Greene, „Spadek i wzrost choroby wieńcowej serca”, Zdrowie publiczne wtedy i teraz 103 (2014), s. 10207-10218; JA Haagsma i wsp., „Globalne obciążenie urazami: zachorowalność, śmiertelność, lata życia skorygowane niepełnosprawnością i trendy czasowe z badania Global Burden of Disease 2013”, Injury Prevention 22/1 (2015), s. 3-16.
- 43 Światowa Organizacja Zdrowia, „Upadki” (styczeń 2018),
<https://www.who.int/news-room/detail/falls>.
- 44 Kanadyjski Urząd Statystyczny, „Wskaźniki zgonów i śmiertelności według grup wiekowych” (dostęp 2020), <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/tv.action?pid=1310071001&pickczonków5B0procent5D=1.1&pickczonkówprocent5>
- 45 LT Kohn i in., To Err Is Human: Building a Safer Health System (Washington, DC: National Academies Press, 1999).
- 46 M. Makary i M. Daniel, „Błąd medyczny — trzecia najczęstsza przyczyna śmierci w USA”, British Medical Journal 353 (2016), i2139.
- 47 KG Shojania i M. Dixon-Woods, „Szacowanie zgonów z powodu błędu medycznego: trwające kontrowersje i dlaczego ma to znaczenie”, British Medical Journal Quality and Safety 26 (2017), s. 423–428.
- 48 JE Sunshine i wsp., „Stowarzyszenie niepożądanych skutków leczenia medycznego ze śmiertelnością w Stanach Zjednoczonych”, JAMA Network Open 2/1 (2019), e187041.
- 49 W 2016 r. w USA było 35,7 mln hospitalizacji średnio 4,6 dnia: WJ Freeman i in., „Przegląd pobytów w szpitalach w USA

2016: Zmienność według regionu geograficznego" (grudzień 2018),
[https://www.hcup-us.ahrq.gov/reports/statbriefs/sb246-Geographic Variation-Hospital-Stays.jsp](https://www.hcup-us.ahrq.gov/reports/statbriefs/sb246-Geographic%20Variation-Hospital-Stays.jsp).

- 50 Bureau of Transportation Statistics, „US Vehicle-miles” (2019),
<https://www.bts.gov/content/us-vehicle-miles>.
- 51 AR Sehgal, „Dożywotnie ryzyko śmierci z powodu obrażeń od broni palnej, przedawkowania narkotyków i wypadków samochodowych w Stanach Zjednoczonych”, American Journal of Medicine 133/10 (październik 2020), s. 1162–1167.
- 52 World Health Rankings, „Wypadki drogowe” (dostęp 2020), <https://www.worldlifeexpectancy.com/cause-of-death/road-traffic accidents/by-country/>.
-
- 53 Tajemnica lotu 370 Malaysia Airlines może nigdy nie zostanie rozwiązana: mnóstwo sugestii i spekulacji, ale w tej chwili wydaje się, że tylko jakiś nieoczekiwany, przypadkowy klucz może ją otworzyć. Dochodzenie w sprawie dwóch kolejnych katastrof Boeinga 737 MAX (zginęło 346 osób) ujawniło wątpliwe praktyki firmy w zakresie produkcji swojego najlepiej sprzedającego się projektu oraz oferowania instrukcji i wskazówek dotyczących jego działania.
- 54 Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego, Stan Globalnego Bezpieczeństwa Lotniczego (Montreal: ICAO, 2020).
- 55 K. Soreide i in., „Jak niebezpieczne są BASE jumping? Analiza niekorzystnych zdarzeń w 20 850 skokach z masywu Kjerag w Norwegii”, Trauma 62/5 (2007), s. 1113–1117.
- 56 United States Parachute Association, „Skydiving safety” (dostęp 2020), <https://uspa.org/Find/FAQs/Safety>.
- 57 Amerykańskie Stowarzyszenie Lotniarstwa i Paralotniarstwa, „Fatalities” (dostęp 2020), <https://www.ushpa.org/page/fatalities>.
- 58 National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism, American Deaths in Terrorist Attacks, 1995–2017 (wrzesień 2018).
- 59 Krajowe Konsorcjum Studiów nad Terroryzmem i Reakcjami na Terroryzm, Trendy w Globalnym Terroryzmie: Upadek Państwa Islamskiego w Iraku i Rozszerzenie Globalnego Wpływów; Mniej masowych ataków ofiar

w Europie Zachodniej; Liczba ataków w Stanach Zjednoczonych Najwyższa od lat 80. (październik 2019 r.).

- 60 Dobre podsumowanie zagrożeń związanych z trzęsieniem ziemi na Zachodnim Wybrzeżu znajduje się w RS Yeats, *Życie z trzęsieniami ziemi w Kalifornii* (Corvallis, OR: Oregon State University Press, 2001). Aby poznać transpacyficzne konsekwencje trzęsień ziemi na Zachodnim Wybrzeżu, patrz BF Atwater, *The Orphan Tsunami of 1700* (Seattle, WA: University of Washington Press, 2005).
- 61 E. Agee i L. Taylor, „Historyczna analiza ofiar śmiertelnych tornad w USA (1808–2017): populacja, nauka i technologia”, *Pogoda, klimat i społeczeństwo* 11 (2019), s. 355–368.
- 62 RJ Samuels, 3.11: Katastrofa i zmiana w Japonii (Ithaca, NY: Cornell University Press, 2013); V. Santiago-Fandiño i in., red., *The 2011 Japan Earthquake and Tsunami: Reconstruction and Restoration, Insights and Assessment after 5 Years* (Berlin: Springer, 2018).
- 63 PL Rappaport, „Fatalities in the United States from Atlantic tropical cyclones: New data and interpretation”, *Bulletin of American Meteorological Society* 1014 (marzec 2014), s. 341–346.
- 64 National Weather Service, „Jak niebezpieczne jest piorun?” (dostęp 2020), <https://www.weather.gov/safety/lightning-odds>; RL Holle i in., „Sezonowe, miesięczne i tygodniowe rozkłady błyskawic NLDN i GLD360 z chmury do ziemi”, *Monthly Weather Review* 144 (2016), s. 2855–2870.
- 65 Monachium Re, Tematy. Przegląd roczny: Katastrofy naturalne 2002 (Monachium: Munich Re, 2003); P. Löw, „Cyklony tropikalne powodują największe straty: Klęski żywiołowe roku 2019 w liczbach”, Munich Re (styczeń 2020), https://www.munichre.com/topics_online/en/climate-change-and-natural-disasters /klęski żywiołowe/klęski-naturalne-2019-w-liczbach-cyklotropikalne-powodują-największe-straty.html.
-
- 66 O. Unsalan i in., „Najwcześniejsze dowody śmierci i obrażeń przez meteoryt”, *Meteoritics & Planetary Science* (2020), s. 1–9.

- 67 National Research Council, Badania obiektów bliskich Ziemi i Strategie ograniczania zagrożeń: Raport okresowy (Waszyngton, DC: NRC, 2009); MAR Khan, „Meteoryty”, Nature 136/1030 (1935), s. 607.
- 68 D. Finkelman, „Dylemat kosmicznych śmieci”, American Scientist 102/1 (2014), s. 26–33.
- 69 M. Mobberley, Supernowe i jak je obserwować (New York: Springer, 2007).
- 70 NASA, „2012: Fear no Supernova” (grudzień 2011),
<https://www.nasa.gov/topics/earth/features/2012-supernova.html>.
- 71 NASA, „Asteroid fast facts” (marzec 2014),
https://www.nasa.gov/mission_pages/asteroids/overview/fastfacts.html; Krajowa Rada ds. Badań, badania obiektów znajdujących się w pobliżu Ziemi i strategie łagodzenia zagrożeń; MBE Boslough i DA Crawford, „Naloty na małej wysokości i zagrożenie uderzeniem”, International Journal of Impact Engineering 35/12 (2008), s. 1441–1448.
- 72 US Geological Survey, „Co by się stało, gdyby erupcja „superwulkanu” miała miejsce ponownie w Yellowstone?” <https://www.usgs.gov/faqs/what-would-happen-if-a-supervolcano-eruption-occurred-again-yellowstone>; RV Fisher i in., Wulkany: Tygle zmian (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1997).
- 73 Centrum Prognoz Pogody Kosmicznej, „Koronalne wyrzuty masy”, National Oceanic and Atmospheric Administration (dostęp 2020),
<https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/coronal-mass-ejections>.
- 74 RR Britt, „150 lat temu: Najgorsza burza słoneczna w historii” [Space.com](https://www.space.com/7224-150-lata-najgorsza-burza-sloneczna.html) (wrzesień 2009), <https://www.space.com/7224-150-lata-najgorsza-burza-sloneczna.html>.
- 75 S. Odenwald, „Dzień, w którym Słońce przyniosło ciemność”, NASA (marzec 2009),
https://www.nasa.gov/topics/earth/features/sun_darkness.html.
- 76 Obserwatorium słoneczne i heliosferyczne,
<https://sohowww.nascom.nasa.gov/>.

- 77 T. Phillips, „Near miss: the solar superstorm of July 2012”,
NASA (lipiec 2014), https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2014/23jul_superstorm.
- 78 P. Riley, „O prawdopodobieństwie wystąpienia ekstremalnych zjawisk pogody kosmicznej”, Space Weather 10 (2012), S02012.
- 79 D. Moriña i in., „Oszacowanie prawdopodobieństwa burzy geomagnetycznej podobnej do Carringtona”, Scientific Reports 9/1 (2019).
- 80 K. Kirchen i in., „Podejście skoncentrowane na słońcu do poprawy szacunków procesów narażenia na koronalne wyrzuty masy”, Analiza ryzyka 40 (2020), s. 1020–1039.
- 81 ED Kilbourne, „Pandemie grypy XX wieku”,
Pojawiające się choroby zakaźne 12/1 (2006), s. 9-14.
- 82 C. Viboud i wsp., „Wpływ na śmiertelność na świecie w latach 1957–1959” pandemicą grypy”, Journal of Infectious Diseases 213/5 (2016), s. 738–745; CDC, „1968 Pandemic (H3N2 virus)” (dostęp 2020), <https://www.cdc.gov/flu/pandemic-resources/1968-pandemic.html>; JY Wong i wsp., „Case fatality risk of influenza A(H1N1pdm09): przegląd systematyczny”, Epidemiology 24/6 (2013).
- 83 Światowe Forum Ekonomiczne, Global Risks 2015, wydanie 10.
(Kolonia: WEF, 2015).
- 84 „Porady dotyczące używania masek w kontekście COVID-19: Przejściowe wytyczne”, Światowa Organizacja Zdrowia (2020).
- 85 J. Paget i wsp., „Globalna śmiertelność związana z sezonowymi epidemiami grypy: nowe szacunki obciążenia i czynniki prognostyczne z projektu GLaMOR”, Journal of Global Health 9/2 (grudzień 2019), 020421.
- 86 W. Yang i in., „Pandemia grypy z 1918 r. w Nowym Jorku: czas, śmiertelność i dynamika przenoszenia w zależności od wieku”, Grypa i inne wirusy układu oddechowego 8 (2014), s. 177–188; A. Gagnon i wsp., „Śmiertelność w zależności od wieku podczas pandemii grypy w 1918 r.: Odkrycie tajemnicy wysokiej śmiertelności młodych dorosłych” PLoS ONE 8/8 (sierpień 2013), e6958; W. Gua i wsp., „Zachorowalność współistniejąca i jej wpływ na 1590 pacjentów z COVID-19 w Chinach: analiza ogólnokrajowa”, European Respiratory Journal 55/6 (2020), artykuł 2000547.

- 87 J.-M. Robine i in., red., *Ludzka długowieczność, indywidualne życie Czas trwania i wzrost najstarszej populacji* (Berlin: Springer, 2007).
- 88 CDC, „Cotygodniowe aktualizacje według wybranych danych demograficznych i geograficznych Charakterystyka” (dostęp 2020),
https://www.cdc.gov/nchs/nvss/vsrr/covid_weekly/index.htm#AgeAndSex
- 89 DM Morens i wsp., „Dominująca rola bakteryjnego zapalenia płuc jako przyczyny zgonu w pandemii grypy: implikacje dla gotowości na pandemię grypy”, *Journal of Infectious Disease* 198/7 (październik 2008), s. 962-970.
- 90 A. Noymer i M. Garenne, „Wpływ epidemii grypy z 1918 r. na różnice między płciami w śmiertelności w Stanach Zjednoczonych”, *Przegląd populacji i rozwoju* 26/3 (2000), s. 565-581.
- 91 Aby zapoznać się z dobrym podsumowaniem zagrożeń związanych z trzęsieniem ziemi na Zachodnim Wybrzeżu, zob. RS Yeats, *Życie z trzęsieniami ziemi w Kalifornii* (Corvallis, OR: Oregon State University Press, 2001). Aby poznać transpacyficzne konsekwencje trzęsień ziemi na Zachodnim Wybrzeżu, patrz BF Atwater, *The Orphan Tsunami of 1700* (Seattle, WA: University of Washington Press, 2005).
- 92 P. Gilbert, *The AZ Reference Book of Syndromes and Inherited Zaburzenia* (Berlin: Springer, 1996).
- 93 Japonia, której populacja skoncentrowana jest na nizinach, które stanowią tylko około 15 procent tego górzystego kraju, i z jej wiecznym ryzykiem potężnych trzęsień ziemi, erupcji wulkanów i niszczycielskiego tsunami, jest doskonałym przykładem tej rzeczywistości – podobnie jak , z podobnych i innych powodów, w tak gęsto zaludnionych miejscowościach jak Jawa czy nadmorski Bangladesz.
- 94 Dużo więcej na ten temat można znaleźć w wielu ostatnich publikacjach, m.in. O. Renn, *Risk Governance: Towards an Integrative Approach* (Genewa: Międzynarodowa Rada Zarządzania Ryzykiem, 2006); G. Gigerenzer, *Risk Savvy: Jak podejmować dobre decyzje* (Nowy Jork: Penguin Random House, 2015).
- 95 V. Janssen, „Kiedy polio wywołało strach i panikę wśród rodziców w lata pięćdziesiąte”, *Historia* (marzec 2020), <https://www.history.com/news/polio-fear-post-wwii-era>.

96 W 1958 r. PKB Stanów Zjednoczonych wzrósł o ponad 5 procent powyżej poziomu z 1957 r., a wzrost wyniósł ponad 7 procent w 1969 r. Fred Economic Data (dostęp w 2020 r.), <https://fred.stlouisfed.org/series/GDP>.

97 The Museum of Flight, „Boeing 747-121” (dostęp 2020), <https://www.museumofflight.org/aircraft/boeing-747-121>.

98 Y. Tsuji i in., „Wzgórza tsunami wzdłuż wybrzeża Pacyfiku Północne Honsiu zarejestrowane z Tohoku z 2011 roku i poprzednich wielkich trzęsień ziemi”, Pure and Applied Geophysics 171 (2014), s. 3183–3215.

99 W listopadzie 2004 r. do obywateli amerykańskich Osama bin Laden wyjaśnił, że wybrał ten atak, aby wykrwawić „Amerykę do punktu bankructwa” i jak pomógł mu „Biały Dom, który domaga się otwarcia frontów wojennych”. Pełny zapis przemówienia dostępny jest pod adresem: <https://www.aljazeera.com/archive/2004/11/200849163336457223.html>.

Powołał się również na szacunki Królewskiego Instytutu Spraw Międzynarodowych, że montaż ataków kosztował nie więcej niż 500 000 dolarów, podczas gdy do 2018 r. koszty amerykańskich wojen w Iraku, Afganistanie, Pakistanie i Syrii wzrosły do około 5,9 bln pożyczone pieniędze, opieka weteranów) mogą zwiększyć to do 8 bilionów dolarów w ciągu najbliższych 40 lat: Watson Institute, „Costs of War” (2018), <https://watson.brown.edu/costsofwar/papers/summary>.

100 CR Sunstein, „Terroryzm i zaniedbywanie prawdopodobieństwa”, Journal of Risk and Uncertainty 26 (2003), s. 121–136.

101 Federalne Biuro Śledcze, „Crime in the US” (dostęp 2020), <https://ucr.fbi.gov/crime-in-the-us>

102 E. Miller i N. Jensen, American Deaths in Terrorist Attacks, 1995–2017 (wrzesień 2018), https://www.start.umd.edu/pubs/START_AmericanTerrorismDeaths_FactSheet_Sep

103 AR Sehgal, „Dożywotnie ryzyko śmierci z powodu obrażeń od broni palnej, przedawkowania narkotyków i wypadków samochodowych w Stanach Zjednoczonych”, American Journal of Medicine 133/10 (maj 2020), s. 1162–1167.

6. Zrozumienie środowiska: jedyna biosfera, jaką mamy

1 Najbardziej złudną wersję tych wizji zob

<https://www.spacex.com/mars>. Narzucone sobie przez nich kamienie milowe: pierwsza misja na Marsa w 2022 roku; jego skromne cele to „potwierdzenie zasobów wodnych, identyfikacja zagrożeń i wprowadzenie początkowej infrastruktury zasilania, wydobycia i podrzynywania życia”. Druga misja, w 2024 r., zbuduje magazyn paliwa, przygotuje do przyszłych lotów załóg i „będzie początkiem pierwszej bazy na Marsie, z której możemy zbudować kwitnące miasto i ostatecznie samowystarczalną cywilizację na Marsie”. Miłośnicy tego gatunku fantasy mogą również sprawdzić: K.

M. Cannon i DT Britt, „Wyżywienie miliona ludzi na Marsie”

Nowa Przestrzeń 7/4 (grudzień 2019), s. 245-254.

2 BM Jakosky i CS Edwards, „Inventory of CO₂ available for terraforming Mars”,

Nature Astronomy 2 (2018), s. 634–639.

3 Zostało to omówione podczas webinarium zorganizowanego przez New York

Academy of Sciences w maju 2020 r., kiedy genetyk z Cornell University

powiedział nawet „A może jesteśmy do tego etycznie zobowiązani?": „Alienating

Mars: Challenges of Space Colonization”, <https://www.nyas.org/events/2020/webinar-wyobcowanie-marsa-wyzwania-kolonizacji-kosmicznej>.

Co godne uwagi, ta wizja ludzi obdarzonych odpornością genetyczną podobną do niesporczaków była dyskutowana, najwyraźniej z całą powagą, w czasie, gdy

Nowy Jork odnotowywał ponad 500 zgonów dziennie z powodu COVID-19, a szpitale borykały się z ciągłym niedoborem prostych środków ochrony osobistej

i były zmuszeni do ponownego użycia masek i rękawic. Agencja Obrony

Zaawansowanych Projektów Badawczych również wydaje na to publiczne

pieniądze: J. Koebler, „DARPA: We Are Engineering the Organism that will

Terraform Mars”, VICE Motherboard (czerwiec 2015), https://www.vice.com/en_us/article/ae3pee/darpa-jesteśmy-inżynierią-organizmów-które-będą-terraformować-marsa.

4 J. Rockström i in., „Bezpieczna przestrzeń operacyjna dla ludzkości”, Nature 461 (2009), s. 472–475.

5 Pełna lista wszystkich kategorii rekordów freedivingu i bezdechu statycznego znajduje się na stronie <https://www.guinnessworldrecords.com/search?termin=freediving>.

6 Średnia objętość oddechowa (pobór powietrza do płuc) wynosi 500 ml dla mężczyzn i 400 ml dla kobiet: S. Hallett i JV Ashurst, „Fizjologia oddechowa

tom" (czerwiec 2020),

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482502/>. Biorąc jako środek 450 ml i 16 wlotów na minutę, daje to 7,2 litra powietrza na minutę. Tlen stanowi prawie 21 procent powietrza, a więc około 1,5 litra jest wdychane na minutę, ale tylko około 23 procent tej objętości jest pochłaniane przez płuca (reszta jest wydychana), a rzeczywiste zużycie czystego tlenu to około 350 ml na minutę – czyli 500 l lub (przy 1,429 g/l) około 700 gramów dziennie.

Wysiłek fizyczny zwiększa zapotrzebowanie, a przy zaledwie 30% marży na wyższe zużycie tlenu podczas codziennych czynności daje to około 900 gramów dziennie. Aby uzyskać maksymalne spożycie tlenu, patrz G. Ferretti, „Maksymalne zużycie tlenu u zdrowych ludzi: teorie i fakty”, European Journal of Applied Physiology 114 (2014), s. 2007–2036.

7 AP Gumsley i in., „Timing and tempo of the Great Oxidation Event”, Proceedings of the National Academy of Sciences 114 (2017), s. 1811–1816.

8 RA Berner, „Tlen atmosferyczny w czasie fanerozoiku”, Materiały Narodowej Akademii Nauk 96 (1999), s. 10955–10957.

9 Zawartość węgla w roślinności lądowej zob. V. Smil, Harvesting the Biosphere (Cambridge, MA: MIT Press, 2013), s. 161–165. Obliczenia zakładają całkowite utlenienie całego tego węgla.

10 <https://twitter.com/EmmanuelMacron/status/1164617008962527232>.

11 SA Loer i wsp., „Ile tlenu zużywa ludzkie płuco?” Anestezjologia 86 (1997), s. 532–537.

12 Smil, Harvesting the Biosphere, s. 31–36.

13 J. Huang i in., „Globalny budżet tlenowy i jego przyszłość” projekcja”, Science Bulletin 63/18 (2018), s. 1180–1186.

14 Istnieje oczywiście wiele innych rzeczywistych powodów — począwszy od utraty bioróżnorodności, a skończywszy na zmianach zdolności retencji wody — do zaniepokojenia celowym wypalaniem tropikalnej roślinności na dużą skalę lub naturalnymi pożarami w dotknietych suszą lasach.

- ¹⁵ Aby zapoznać się z najnowszymi badaniami globalnego zaopatrzenia i wykorzystania wody, patrz AK Biswas i in., red., *Assessing Global Water Megatrends* (Singapore: Springer Nature, 2018).
- ¹⁶ Institute of Medicine, *Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride and Sulfate* (Washington, DC: National Academies Press, 2005).
- ¹⁷ Wśród najbardziej zaludnionych krajów na świecie udział rolnictwa w poborach słodkiej wody wynosi aż 90 procent w Indiach, 80 procent w Indonezji i 65 procent w Chinach, ale tylko około 35 procent w Stanach Zjednoczonych: Bank Światowy, „Roczne pobory słodkiej wody , rolnictwo (procent całkowitego poboru słodkiej wody)” (dostęp w 2020 r.), <https://data.worldbank.org/indicator/er.h2o/fwag.zs?end=2016&start=1965&view=wykres>.
- ¹⁸ Water Footprint Network, „Co to jest ślad wodny?” (dostęp w 2020 r.), <https://waterfootprint.org/en/water-footprint/what-is-water-footprint/>.
-
- ¹⁹ MM Mekonnen i YA Hoekstra, *National Water Footprint Accounts: The Green, Blue and Gray Water Footprint of Production and Consumption* (Delft: Instytut Edukacji Wodnej UNESCO-IHE, 2011).
- ²⁰ N. Joseph i in., „Przegląd oceny zrównoważonego wykorzystania wody na skalę kontynentalną i globalną”, *Sustainable Water Resources Management* 6 (2020), s. 18.
- ²¹ SN Gosling i NW Arnell, „Globalna ocena wpływ zmian klimatu na niedobór wody”, *Climatic Change* 134 (2016), s. 371–385.
- ²² Smil, Wzrost, s. 386–388.
- ²³ Aby zapoznać się z długoterminowymi trendami różnych kategorii użytkowania gruntów rolnych, patrz FAO, „Użytkowanie gruntów”, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL>. Amerykańskie badanie ustanowiło rok 2009 rokiem światowego szczytu gruntów rolnych, po którym nastąpił stały powolny spadek: J. Ausubel i in., „Peak farmland and the perspective for land sparing”, *Population and Development Review* 38, Supplement (2012) , s. 221-242. W rzeczywistości dane FAO pokazują kolejny 4-procentowy wzrost w latach 2009-2017.

- 24 X. Chen i in., „Produkcja większej ilości ziarna przy niższych kosztach środowiskowych”, *Nature* 514/7523 (2014), s. 486–488; Z. Cui i in., „Dążenie do zrównoważonej produktywności z milionami drobnych rolników”, *Nature* 555/7696 (2018), s. 363–366.
- 25 Globalna produkcja amoniaku zawierała w 2019 roku 160 Mt azotu, z czego około 120 przeznaczonych było na nawozy: FAO, *World Fertilizer Trends i Outlook do 2022* (Rzym: FAO, 2019). Oczekuje się, że moce produkcyjne (już przekraczające 180 Mt) wzrosną o prawie 20 procent do 2026 r., przy około 100 planowanych i ogłoszonych zakładach, głównie w Azji i na Bliskim Wschodzie: dodatki” (2018), <https://www.hydrocarbons technology.com/comment/global-ammonia-capacity/>.
-
- 26 US Geological Survey, „Potasz” (2020),
<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-potash.pdf>.
- 27 J. Grantham, „Bądź przekonujący. Być odważnym. Być aresztowanym (jeśli to konieczne),” *Natura* 491 (2012), s. 303.
- 28 SJ Van Kauwenbergh, Światowe rezerwy i zasoby skał fosforanowych (Muscle Shoals, AL: IFDC, 2010).
- 29 US Geological Survey, *Mineral Commodity Summaries 2012*, s. 123.
- 30 Międzynarodowe Stowarzyszenie Przemysłu Nawozowego, „Fosfor i „Szczytowy fosforan” (2013). Zobacz także M. Heckenmüller i in., *Global Availability of Phosphorus and its Implications for Global Food Supply: An Economic Overview* (Kiel: Kiloński Instytut Gospodarki Światowej, 2014).
- 31 V. Smil, Fosfor w środowisku: przepływy naturalne i ingerencja człowieka, *Annual Review of Energy and the Environment* 25 (2000), s. 53–88; US Geological Survey, „Skała fosforanowa”, <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-fosfat.pdf>.
-
- 32 MF Chislock i in., „Eutrofizacja: przyczyny, konsekwencje i kontrole w ekosystemach wodnych”, *Nature Education Knowledge* 4/4 (2013), s. 10.

- 33 J. Bunce i in., „Przegląd technologii usuwania fosforu i ich zastosowania w domowych systemach oczyszczania ścieków na małą skalę”, *Frontiers in Environmental Science* 6 (2018), s. 8.

34 D. Breitburg i in., „Spadanie tlenu w globalnym oceanie i wody przybrzeżne”, *Science* 359/6371 (2018).

35 R. Lindsey, „Climate and Earth’s energy budget”, NASA (styczeń 2009), <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance>.

36 WF Ruddiman, *Ploughs , Plagues & Petroleum: How Humans Took Control of Climate* (Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2005).

37 2 ° Instytut, „Globalne poziomy CO₂” (dostęp 2020), <https://www.co2levels.org/>.

38 2 ° Instytut, „Globalne poziomy CH₄ ” (dostęp 2020), <https://www.methanelevels.org/>.

39 Współczynniki ocieplenia globalnego (CO₂=1) wynoszą 28 dla metanu, 265 dla dwutlenku azotu, 5660 do 13900 dla różnych chlorofluorowęglowodorów i 23900 dla sześciofluorku siarki: Global Warming Potential Values, https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global_Warming-Potencjalne_wartości%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf.

40 IPCC, Zmiany Klimatu 2014: Sprawozdanie podsumowujące. Wkład Grup Roboczych I, II i III do Piątego Raportu Oceniającego Międzynarodowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (Genewa: IPCC, 2014).

41 J. Fourier, *Remarques générales sur les Temperatures du globe terrestre et des espaces planétaires*, *Annales de Chimie et de Physique* 27 (1824), s. 136–167; E. Foote, „Okoliczności wpływające na ciepło promieni słonecznych”, *American Journal of Science and Arts* 31 (1856), s. 382–383. Oczywisty wniosek Foote'a: „Największy efekt promieni słonecznych, jaki odkryłem, występuje w kwasie węglowym. temperatura jest większa w okresie dnia, niż w nocy, a temperatura zazwyczająca w okresie jego historii powietrza zmieszała się z nim w większej proporcji niż obecnie,

podwyższona temperatura musiała wynikać z jego własnego działania, jak również ze zwiększonego ciężaru".

- 42 J. Tyndall, „The Bakerian Lecture”, Philosophical Transactions 151 (1861), s. 1–37 (cyt. s. 28).
- 43 S. Arrhenius, „O wpływie kwasu węglowego w powietrzu na temperaturę gruntu”, Philosophical Magazine and Journal of Science, 5/41 (1896), s. 237–276.
- 44 K. Ecochard, „Co powoduje, że bieguny nagrzewają się szybciej niż reszta Ziemi?” NASA (kwiecień 2011), <https://www.nasa.gov/topics/earth/features/warmingpoles.html>.
- 45 DTC Cox i wsp., „Globalna zmienność asymetrii dobowej w temperaturze, zachmurzeniu, specyficzna wilgotność i opady oraz ich związek z indeksem powierzchni liści”, Global Change Biology (2020).
- 46 S. Arrhenius, Worlds in the Making (Nowy Jork: Harper & Brothers, 1908), s. 53.
- 47 R. Revelle i HE Suess, „Wymiana dwutlenku węgla między atmosferą a oceanem oraz kwestia wzrostu atmosferycznego CO₂ w ciągu ostatnich dziesięcioleci”, Tellus 9 (1957), s. 18–27.
- 48 Global Monitoring Laboratory, „Miesięczna średnia Mauna Loa CO₂” (dostęp 2020), <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
- 49 J. Charney i in., Dwutlenek węgla i klimat: naukowy Ocena (Waszyngton, DC: Narodowa Rada ds. Badań, 1979).
- 50 NL Bindoff i in., „Wykrywanie i przypisywanie zmian klimatycznych: od globalnego do regionalnego”, w TF Stocker i in., red., Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Wkład Grupy Roboczej I do Piątego Raportu Oceny Międzynarodowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (Cambridge: Cambridge University Press, 2013).
- 51 SC Sherwood i in., „Ocena wrażliwości klimatu Ziemi przy użyciu wielu linii dowodów”, Reviews of Geophysics 58/4 (grudzień 2020 r.).

- 52 Przejście z węgla na gaz ziemny było niezwykle szybkie w USA: w 2011 roku 44 procent całej energii elektrycznej pochodziło z węgla; do 2020 r. udział ten spadł do zaledwie 20 procent; podczas gdy produkcja gazowa wzrosła z 23 procent do 39 procent: US EIA, Short-Term Energy Outlook (2021).
- 53 W 2014 r. globalna średnia wymuszania antropogenicznego względem 1850 wynosiła 1,97 W/m², r. przy 1,80 W/m² z CO₂ , 1,07 W/m² z pozostałych dobrze wymieszane gazy cieplarniane, -1,04 W/m² z aerozoli i -0,08 W/m² ze zmian w użytkowaniu gruntów: CJ Smith i in., „Efektywne wymuszanie radiacyjne i korekty w modelach CMIP6”, Chemia atmosfery i fizyka 20/16 (2020).
- 54 Krajowe Centra Informacji o Środowisku, „Prawdopodobnie na horyzoncie są bliskie rekordowo ciepłe lata” (luty 2020), <https://www.ncei.noaa.gov/news/projected-ranks>; NOAA, Global Climate Report — Annual 2019, <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>.
-
- 55 Wiśnie z Kioto zob.: RB Primack i in., „Wpływ zmian klimatu na drzewa wiśni i inne gatunki w Japonii”, Ochrona biologiczna 142 (2009), s. 1943-1949. W przypadku francuskich roczników zob. Ministère de la Transition Écologique, „Impacts du changement climatique: Agriculture et Forêt” (2020), https://www.ecologie.gouv.fr/impacts-du-changement-climatique_Agriculture-et-foret. Informacje na temat topnienia lodowców górskich i jego konsekwencji można znaleźć w AM Milner i in., „Skurczanie się lodowców napędzające globalne zmiany w systemach downstream”, Proceedings of the National Academy of Sciences (2017), www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1619807114.
-
- 56 W 2019 r. spalanie paliw kopalnych uwołniło prawie 37 Gt CO₂ , którego wytwarzanie wymagało bardzo blisko 27 Gt tlenu: Global Carbon Project, The Global Carbon Budget 2019.
- 57 J. Huang i in., „Globalny budżet tlenowy i jego prognoza na przyszłość”, Science Bulletin 63 (2018), s. 1180-1186.
- 58 Te skomplikowane pomiary rozpoczęły się w 1989 r.: Centrum Informacji i Analiz na temat dwutlenku węgla, „Modern Records of Atmospheric Oxygen (O₂) from Scripps Institution of

Oceanografia" (2014), https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/oxygen/modern_records.html.

- 59 Zasoby paliw kopalnych na rok 2019 są notowane w British Petroleum, Statystyczny przegląd energii na świecie.
- 60 LB Scheinfeldt i SA Tishkoff, „Życie na wysokości: adaptacja na dużych wysokościach”, Genome Biology 11/133 (2010), s. 1–3.
- 61 SJ Murray i in., „Przyszłe globalne zasoby wodne w odniesieniu do zmian klimatycznych i poboru wody oszacowane przez dynamiczny globalny model roślinności”, Journal of Hydrology (2012), s. 448–449; AG Koutoulis i LV Papadimitriou, „Globalna dostępność wody w warunkach wysokiej klasy zmian klimatycznych: ocena podatności na zagrożenia”, Global and Planetary Change 175 (2019), s. 52–63.
- 62 P. Greve i in., „Globalna ocena wyzwań związanych z wodą niepewność w prognozach niedoboru wody”, Nature Sustainability 1/9 (2018), s. 486–494.
- 63 CA Dieter i in., Szacunkowe zużycie wody w Stanach Zjednoczonych w 2015 r. (Washington, DC: US Geological Survey, 2018).
- 64 PS Goh i in., Technologia odsalania i rozwój (Oxford: Oxford Research Encyclopedias, 2019).
- 65 A. Fletcher i wsp., „Niskokosztowa metoda szybkiego i dokładnego badania przesiewowego wydajności transpiracji w pszenicy”, Plant Methods 14 (2018), artykuł 77. Wydajność transpiracyjna całej rośliny wynosząca 4,5 g/kg oznacza, że 1 kg biomasy wymaga 222 kg transpirowanej wody, a przy zbożu stanowiącym około połowy całkowitej biomasy naziemnej stosunek ten podwaja się do prawie 450 kg.
- 66 Y. Markonis i in., „Ocena intensyfikacji obiegu wody na lądzie przy użyciu wieloźródłowego zbioru danych o globalnych opadach siatkowych”, Journal of Geophysical Research: Atmospheres 124/21 (2019), s. 11175–11187.
- 67 SJ Murray i in., „Przyszłe globalne zasoby wodne w odniesieniu do zmian klimatu i poboru wody oszacowane przez dynamiczny globalny model wegetacji”.
- 68 Y. Fan i in., „Ocena porównawcza zużycia wody w uprawach” efektywność, analiza ekonomiczna i symulacja zysku netto gospodarstwa domowego

w takich północno-zachodnich Chinach", Agricultural Water Management 146 (2014), s. 335–345; JL Hatfield i C. Dold, „Efektywność wykorzystania wody: postępy i wyzwania w zmieniającym się klimacie" Frontiers in Plant Science 10 (2019), s. 103; D. Deryng i in., „Regionalne różnice w korzystnym wpływie rosnących stężeń CO₂ na produktywność wody uprawnej", Nature Climate Change 6 (2016), s. 786–790.

69 IPCC, Zmiany klimatu i grunty (Genewa: IPCC, 2020),
<https://www.ipcc.ch/srccl/>; P. Smith i in., „Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)", w IPCC, Climate Change 2014.

70 Smil, Czy powinniśmy jeśćmięso?, s. 203–210.

71 D. Gerten i in., „Wyżywienie dziesięciu miliardów ludzi jest możliwe w obrębie czterech ziemskich granic planety", Nature Sustainability 3 (2020), s. 200–208; patrz także FAO, The Future of Food and Agriculture: Alternative Pathways to 2050 (Rzym: FAO, 2018), <http://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf>.

72 Napisałem: „Dodanie średniej i najwyższej odstępu [między kolejnymi pandemiami] do roku 1968 daje rozpiętość między 1996 a 2021 rokiem. Jesteśmy, mówiąc probabilistycznie, bardzo w strefie wysokiego ryzyka. W konsekwencji prawdopodobieństwo kolejnej pandemii grypy w ciągu najbliższych 50 lat wynosi praktycznie 100 procent": V. Smil, Globalne katastrofy i trendy (Cambridge, MA: MIT Press, 2008), s. 46. I we wskazanym przedziale mieliśmy dwie pandemie: wirus H1N1 w 2009 roku, rok po publikacji książki, oraz SARS-CoV-2 w 2020 roku.

73 Globalne codzienne aktualizacje statystyczne zostały dostarczone przez Johns Hopkins na <https://coronavirus.jhu.edu/map.html> oraz przez Worldometer pod adresem <https://www.worldometers.info/coronavirus/>. Na naprawdę obszerną historię pandemii będziemy musieli poczekać co najmniej dwa lata.

74 U. Desideri i F. Asdrubali, Handbook of Energy Efficiency in Buildings (Londyn: Butterworth-Heinemann, 2015).

75 Natural Resource Canada, High Performance Housing Guide for Southern Manitoba (Ottawa: Natural Resources Canada, 2016).

- 76 L. Cozzi i A. Petropoulos, „Growing preferencje for SUVs challenges redukcja emisji na rynku samochodów osobowych”, IEA (październik 2019), <https://www.iea.org/commentaries/growing-preferences-for-suvs-challenges-Redukcja-emisji-na-rynkusamochodowosobowych>.
-
- 77 JGJ Olivier i JAHW Peters, Trendy w globalnych emisjach CO₂ i całkowitych emisjach gazów cieplarnianych (Haga: Holenderska Agencja Oceny Środowiska PBL, 2019).
- 78 Organizacja Narodów Zjednoczonych, „Konferencja Stron (COP), <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>.
-
- 79 N. Stockton, „Paryskie rozmowy klimatyczne wyemitują 300 000 ton CO₂ według naszej matematyki. Mam nadzieję, że warto”, Wired (listopad 2015).
- 80 Organizacja Narodów Zjednoczonych, Raport Konferencji Stron z XXI sesji, która odbyła się w Paryżu od 30 listopada do 13 grudnia 2015 r. (styczeń 2016 r.), <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2015/cop21/pol/10a01.pdf>
-
- 81 Jeśli chodzi o przyszłość klimatyzacji, zob. Międzynarodowa Agencja Energii, The Future of Cooling (Paryż: IEA, 2018).
- 82 Olivier i Peters, Trends in Global CO₂ and Total Greenhouse Emissions 2019 Report.
- 83 T. Mauritsen i R. Pincus, Committed warming inferred from obserwacje, Nature Climate Change 7 (2017), s. 652–655.
- 84 C. Zhou i in., „Większe ocieplenie popełnione po uwzględnieniu efekt wzorca”, Nature Climate Change 11 (2021), s. 132–136.
- 85 IPCC, Globalne ocieplenie o 1,5°C (Genewa: IPCC, 2018), <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
-
- 86 A. Grubler i in., „Scenariusz niskiego zapotrzebowania na energię dla osiągnięcia celu 1,5°C i celów zrównoważonego rozwoju bez negatywnych technologii emisyjnych”, Nature Energy 526 (2020), s. 515–527.
- 87 Europejska Agencja Środowiska, „Wielkość floty pojazdów w Europie” (2019), <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/size-of-the-vehicle-fleet/size-of-samochod-flota-10>; za rok 1990, zob. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/size-of-the-vehicle-fleet/size-of-samochod-flota-10>

[mapy/wskaźniki/dostęp do usług transportowych/okres posiadania pojazdu-2001.](#)

- 88 Krajowe Biuro Statystyczne, Rocznik Statystyczny Chin, 1999-2019, <http://www.stats.gov.cn/english/Statisticaldata/AnnualData/>.
- 89 SEI, IISD, ODI, E3G i UNEP, The Production Gap Report: 2020 Special Report, <http://productiongap.org/2020report>.
- 90 E. Larson i in., Net-Zero America: Potential Pathways, Infrastruktura i wpływy (Princeton, NJ: Princeton University, 2020).
- 91 C. Helman, „Nimby nation: Wysoki koszt dla Ameryki odmowy do wszystkiego”, Forbes (sierpień 2015).
- 92 Izba Reprezentantów, Rezolucja uznająca obowiązek rządu federalnego do stworzenia Zielonego Nowego Ładu (2019), <https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-resolution/109/text>; MZ Jacobson i in., „Wpływ planów energetycznych Zielonego Nowego Ładu na stabilność sieci, koszty, miejsca pracy, zdrowie i klimat w 143 krajach”, One Earth 1 (2019), s. 449–463.
- 93 T. Dickinson, „Zielony Nowy Ład jest w rzeczywistości tani”, Rolling Stone (6 kwietnia 2020); J. Cassidy, „Dobra wiadomość o Zielonym Nowym Ładu”, New Yorker (4 marca 2019 r.); N. Chomsky i R. Pollin, Climate Crisis and the Global Green New Deal: The Political Economy of Saving the Planet (Nowy Jork: Verso, 2020); J. Rifkin, Zielony nowy ład: Dlaczego cywilizacja paliw kopalnych upadnie do 2028 r. oraz śmiałы plan ekonomiczny ratowania życia na Ziemi (Nowy Jork: St. Martin's Press, 2019).
- 94 Jeśli chcesz dołączyć do najbardziej wyraźnej gałęzi tego ruchu — aby zmobilizować „3,5 procent populacji do zmiany systemu” (bunt z dokładnością do przecinka!) — sprawdź: Extinction Rebellion, „Witamy w buncie,” <https://rebellion.earth/prawda/o-nas/>. Aby uzyskać pisemne instrukcje, zobacz Extinction Rebellion, To nie jest ćwiczenie: podręcznik dotyczący buntu wymierania (Londyn: Penguin, 2019).
- 95 P. Brimblecombe i in., Acid Rain — Deposition to Recovery (Berlin: Springer, 2007).

- 96 SA Abbasi i T. Abbasi, Dziura ozonowa: przeszłość, teraźniejszość, przyszłość (Berlin: Springer, 2017).
- 97 J. Liu i in., „Zmieniający się krajobraz Chin w latach 90.: transformacja terenu na dużą skalę oszacowana za pomocą danych satelitarnych”, Listy badań geofizycznych 32/2 (2005), L02405.
- 98 MG Burgess i in., „Scenariusze bazowe IPCC mają zawyżone emisje CO₂ i wzrost gospodarczy”, Environmental Research Letters 16 (2021), 014016.
- 99 H. Wood, „Zielona energia spotyka siłę ludzi”, The Economist (2020), <https://worldin.economist.com/article/17505/edition2020get-ready-odnawialna-energia-rewolucja.>
- 100 Z. Hausfather i in., „Ocena wydajności prognoz modeli klimatu w przeszłości”, Geophysical Research Letters 47 (2019), e2019GL085378.
- 101 Uśmiech, „Historia i ryzyko”.
- 102 Globalne i krajowe dzienne i skumulowane sumy od Johns Hopkins na <https://coronavirus.jhu.edu/map.html> lub z Worldometer pod adresem <https://www.worldometers.info/coronavirus/>.
- 103 Źródła danych w tym i następnym akapicie są następujące: następuje. Wskaźnik PKB, patrz Bank Światowy, „PKB per capita (bieżące dolary amerykańskie)” (dostęp w 2020 r.), <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>. Chińskie statystyki można znaleźć w National Bureau of Statistics, China Statistical Yearbook, 1999–2019. W przypadku krajowych emisji CO₂ patrz Olivier i Peters, Trends in Global CO₂ and Total Greenhouse Gas Emissions 2019 Report.
- 104 W latach 2020-2050 prognoza ONZ dotycząca średniej liczby ludności przewiduje 99,6 procent całkowitego wzrostu w krajach słabiej rozwiniętych i około 53 procent całkowitego wzrostu w Afryce subsaharyjskiej: Organizacja Narodów Zjednoczonych, World Population Prospects: The 2019 Revision (Nowy Jork: ONZ, 2019). Na temat blokady produkcji energii elektrycznej w Afryce, patrz G. Alova i in., „Podejście oparte na uczeniu maszynowym do przewidywania miksu energetycznego Afryki w oparciu o planowane

elektrownie i ich szanse na sukces", *Nature Energy* 6/2 (2021).

- 105 Y. Pan i in., „Duży i trwały pochłaniacz dwutlenku węgla w lasy”, *Science* 333 (2011), s. 988–993; C. Che i in., „Chiny i Indie prowadzą w zazielenianiu świata poprzez zarządzanie użytkowaniem gruntów”, *Nature Sustainability* 2 (2019), s. 122–129. Zobacz także J. Wang i in., „Large Chinese land carbon sink szacunek na podstawie atmosferycznych danych dotyczących dwutlenku węgla”, *Nature* 586/7831 (2020), s. 720–723.
- 106 NG Dowell i in., „Wielkie zmiany dynamiki lasów w zmieniającym się świecie”, *Science* 368 (2020); RJW Brienen i in., „Lesny pochłaniacz dwutlenku węgla zneutralizowany przez wszechobecne kompromisy między wzrostem a długością życia”, *Nature Communications* 11 (2020), artykuł 4241.1234567890.
- 107 PE Kauppi i in., „Zmiana zasobów węgla w biomasie w lesie borealnym na przestrzeni 93 lat”, *Ekologia i Zarządzanie Lasami* 259 (2010), s. 1239–1244; HM Henttonen i in., „Struktura klas wielkości lasów Finlandii w latach 1921–2013: Odzyskiwanie po wiekach eksploatacji, kierowane polityką leśną”, *European Journal of Forest Research* 139 (2019), s. 279–293.
- 108 P. Roy i J. Connell, „Zmiany klimatyczne i przyszłość atolu stany”, *Journal of Coastal Research* 7 (1991), s. 1057–1075; RJ Nicholls i A. Cazenave, „Wzrost poziomu morza i jego wpływ na strefy przybrzeżne”, *Science* 328/5985 (2010), s. 1517–1520.
- 109 PS Kench i in., „Wzory zmian i trwałości wysp oferują alternatywne ścieżki adaptacyjne dla narodów atolowych”, *Nature Communications* 9 (2018), artykuł 605.
- 110 Taki jest tytuł rozdziału nadesłanego przez Amory'ego Lovinsa do książki o środowisku globalnym: A. Lovins, „Abating global warming for fun and profit”, w red. K. Takeuchi i M. Yoshino, *The Global Environment* (New York: Springer-Verlag, 1991), s. 214–229. Dla młodszych czytelników: Lovins ugruntował swoją sławę artykułem z 1976 roku, w którym nakreślił „miękką” (małą skalę odnawialną) ścieżkę energii dla Stanów Zjednoczonych: A. Lovins, „Strategia energetyczna: droga nie została wybrana”, *Foreign Affairs* 55/ 1 (1976), s. 65–96. Zgodnie z jego wizją, w 2000 roku Stany Zjednoczone miały wywodzić

energia równa około 750 milionów ton ekwiwalentu ropy naftowej z miękkich technik. Po odjęciu konwencjonalnej hydrogeneracji na dużą skalę (ani małej, ani miękkiej), odnawialne źródła energii dostarczyły równowartość nieco ponad 75 milionów ton ropy, a Lovins w ten sposób nie osiągnął swojego celu o 90 procent w ciągu 24 lat, prognozy, która zapowiadała dziesięciolecia podobnie nierealistycznych „zielony”.

7. Zrozumieć przyszłość: między apokaliapsą a osobliwością

- 1 Książki o apokaliptyzmie i przepowiedniach apokaliptycznych, wyobraźni i interpretacjach są dość liczne, ale nie przypuszczam, że wysuwam jakiekolwiek zalecenia dotyczące tego szczególnego rodzaju pisarstwa beletrystycznego.
- 2 Wyobraź sobie, że sztuczna inteligencja przewyższy człowieka zdolność jest łatwa w porównaniu do wyobrażania sobie natychmiastowego tempa zmian fizycznych, które są wymagane do osiągnięcia Osobliwości.
- 3 R. Kurzweil, „Prawo przyspieszających zwrotów” (2001),
<https://www.kurzweilai.net/the-law-of-accelerating-returns>. Zobacz także jego Osobliwość jest blisko (New York: Penguin, 2005). Przybycie 2045 jest przewidziane na <https://www.kurzweilai.net/>. Zanim tam dotrzymy, „do lat 2020 większość chorób zniknie, ponieważ nanoboty staną się intelligentniejsze niż obecna technologia medyczna. Normalne odżywianie się ludzi można zastąpić nanosystemami”. Zobacz P. Diamandis, „Oszałamiające prognozy Raya Kurzweila na następne 25 lat”,
Singularity Hub (styczeń 2015), <https://singularityhub.com/2015/01/26/ray-kurzweils-mind-boggling-predictions-for-the-next-25-years/>. Oczywiście, gdyby takie prognozy się ziszczyły, to za kilka lat nikt nie musiałby pisać książek o rolnictwie, żywności, zdrowiu i medycynie, czyli o tym, jak naprawdę działa świat: nanoboty zajęłyby się tym wszystkim!
- 4 Julian Simon z University of Maryland był jednym z najbardziej wpływowych cornucopianów ostatnich dwóch dekad XX wieku. Jego najczęściej cytowane prace to: The Ultimate Resource (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1981) oraz JL Simon i H. Kahn, The Resourceful Earth (Oxford: Basil Blackwell, 1984).

5 samochodów elektrycznych: Bloomberg NEF, Electric Vehicle Outlook 2019, <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/#toc-download>. EU carbon: EU, „Długa strategia 2050”, https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en. Informacje globalne w 2025 r.: D. Reinsel i in., The Digitization of the World From Edge to Core (listopad 2018), <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>. Globalne lataanie w 2037 r.: „Prognoza IATA przewiduje 8,2 miliarda podróżnych samolotem w 2037 r.”

(październik 2018), <https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2018-10-24-02/>.

6 Zobacz krajowe długoterminowe trajektorie płodności w Banku Światowym
Bank danych:

<https://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.TFR.IN>.

7 ONZ, Światowe Perspektywy Ludności 2019,

<https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>.

8 Pojazdy elektryczne przyciągnęły w drugiej dekadzie XXI wieku ogromną uwagę, a także wiele mocno przerysowanych oczekiwania. W 2017 roku można było nawet przeczytać w „Financial Post”: „Wszystkie pojazdy napędzane paliwami kopalnymi znikną w ciągu 8 lat w podwójnej „spirali śmierci” dla dużej ropy i dużych samochodów, mówi badanie, które szokuje branżę”. To, co powinno być szokujące, to całkowity brak zrozumienia technicznego, który doprowadził do tego absurdalnego twierdzenia. Z około 1,2 miliardem samochodów spalinowych na drogach na początku 2020 roku, byłby to jakiś znikający akt w ciągu najbliższych pięciu lat!

9 Nadal nie jest jasne, kiedy pojazdy elektryczne i konwencjonalne osiągną ten sam poziom kosztów życia, ale nawet jeśli tak się stanie, niektórzy kupujący mogą nadal cenić koszty początkowe bardziej niż jakiekolwiek przyszłe oszczędności: MIT Energy Initiative, Insights into Future Mobility (Cambridge, MA: MIT Energy Initiative, 2019), <http://energy.mit.edu/insightsintofuturemobility>.

10 Najnowsze informacje na temat sprzedaży i długoterminowe prognozy przyjęcia samochodów elektrycznych można znaleźć w Insideevs, <https://insideevs.com/news/343998/monthly-plug-in-ev-sales-scorecard/>; JP Morgan Asset Management, Energy Outlook 2018: Pascal's Wager (Nowy Jork: JP Morgan, 2018), s. 10–15.

- 11 Bloomberg NEF, prognozy dotyczące pojazdów elektrycznych 2019.
- 12 Michel de Nostredame opublikował swoje proroctwa w 1555 roku i od tego czasu prawdziwi wierzący czytają je i interpretują. Jeśli chodzi o format, mają teraz wybór, od drogich oprawionych faksymili po kopie Kindle.
- 13 H. Von Foerster i in., „Doomsday: piątek, 13 listopada, AD 2026, Science 132 (1960), s. 1291–1295.
- 14 P. Ehrlich, Bomba populacyjna (New York: Ballantine Books, 1968), s. xi; RL Heilbroner, An Inquiry into the Human Prospect (Nowy Jork: WW Norton, 1975), s. 154.
- 15 Obliczono na podstawie danych ONZ, World Population Prospects 2019.
- 16 Zakładając medianę prognozy ONZ, World Population Prospects 2019.
- 17 V. Smil, „Olej szczytowy: katastroficzny kult i złożona rzeczywistość” World Watch 19 (2006), s. 22–24; V. Smil, „Peak oil: A retrospective”, IEES Spectrum (maj 2020), s. 202–221.
- 18 RC Duncan, „Teoria Olduvai: osuwanie się ku epoce postindustrialnej” (1996), <http://dieoff.org/page125>.
- 19 Dane dotyczące niedożywienia znajdują się w rocznych raportach FAO. Najnowsza wersja to: The State of Food Security and Nutrition, <http://www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en.pdf>. Zaopatrzenie w żywność patrz: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>.
- 20 Obliczono z <http://www.fao.org/faostat/en/#data/>.
- 21 Dane z British Petroleum, Statistical Review of World Energy.
- 22 Dane za S. Krikorian, „Wstępne fakty dotyczące energii jądrowej i dane na rok 2019”, Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (styczeń 2020), <https://www.iaea.org/newscenter/news/preliminary-nuclear-power-facts-and-figures-for-2019>.
- 23 MB Schiffer, Spectacular Flops: Game-Changing Technologies That Failed (Clinton Corners, NY: Eliot Werner Publications, 2019), s. 157–175.
- 24 S. Kaufman, Projekt lemiesz: pokojowe wykorzystanie energii jądrowej Materiały wybuchowe w Ameryce zimnej wojny (Ithaca, NY: Cornell University

Prasa, 2013); AC Noble, „Projekt Wagon Wheel”,
WyoHistory (listopad 2014), <http://www.wyohistory.org/essays/wagon-wheel-project>.

- 25 O kurczącej się niszy klimatycznej: C. Xu i in., „Przyszłość ludzkiej niszy klimatycznej”, Proceedings of the National Academy of Sciences 117/21 (2010), s. 11350–11355.
Migracje: A. Lustgarten, „Jak migracja klimatyczna zmieni Amerykę”, The New York Times (20 grudnia 2020 r.). Spadek dochodu: M. Burke i in., „Globalny nieliniowy wpływ temperatury na produkcję ekonomiczną”, Nature 527 (2015), s. 235–239.
Przepowiednia Thunberga: A. Doyle, „Thunberg mówi, że zostało tylko „osiem lat”, aby zapobiec ociepleniu o 1,5°C”

Wiadomości o zmianach klimatycznych (styczeń

2020), <https://www.climatechangenews.com/2020/01/21/thunberg-says-eight-years-left-avert-1-5c-warming/>.

- 26 Ta skłonność do proroctw katastroficznych jest chyba najlepsza wyjaśnione przez ludzkie nastawienie na negatywność: D. Kahneman, Thinking Fast and Slow (New York: Farrar, Straus i Giroux, 2011); Organizacja Narodów Zjednoczonych, „Jeszcze 11 lat zostało, aby zapobiec nieodwracalnym szkodom spowodowanym zmianami klimatycznymi, ostrzegają mówcy podczas spotkania na wysokim szczeblu Zgromadzenia Ogólnego” (marzec 2019), <https://www.un.org/press/en/2019/ga12131.doc.htm>; PJ

Spielmann, „ONZ przewiduje katastrofę, jeśli globalne ocieplenie nie zostanie powstrzymane”
Wiadomości AP (czerwiec
1989), <https://apnews.com/bd45c372caf118ec99964ea547880cd0>.

- 27 Instytut FII, Zrównoważona przyszłość jest w zasięgu ręki, https://fiiinstytut.org/en/downloads/FIII_Impact_Sustainability_2020.pdf; J. M. Greer, Apokalipsa nie! (Hoboken, New Jersey: Viva Editions, 2011); M. Shellenberger, Apocalypse Never: Dlaczego alarmizm środowiskowy boli nas wszystkich (New York: Harper, 2020).

- 28 V. Smil, „Niebezpieczeństwa prognozowania energii dalekiego zasięgu: refleksje na temat patrzenia daleko w przyszłość”, Prognozowanie technologiczne i zmiana społeczna 65 (2000), s. 251–264.

- 29 Food and Agriculture Organization, Yield Gap Analysis of Field Crops: Methods and Case Studies (Rzym: FAO, 2015).

- 30 Woda stanowi ponad 95 procent ich tkanek i nie zawierają żadnych lub znikome ilości dwóch podstawowych

makroskładniki: białka dietetyczne i lipidy.

- 31 Koszty materiałów (stal, tworzywa sztuczne, szkło) i energii (ogrzewanie, oświetlenie, klimatyzacja) byłyby iście astronomiczne.
- 32 Koszty energii materiałów zob. Smil, *Making the Modern World*. Aby zapoznać się z minimalnymi kosztami energii stali, patrz JR Fruehan i in., *Teoretyczne minimalne energie produkcji stali w wybranych warunkach* (Columbia, MD: Energetics, 2000).
- 33 FAO, „Nawozy według składników odżywczych” (dostęp 2020), <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN>.
- 34 Dane ze Smil, *Energy Transitions*.
- 35 Obliczono na podstawie danych z British Petroleum, *Statistical Review of World Energy*.
- 36 Aby zapoznać się z fascynującymi omówieniami błędów kategorii, zob. O. Magidor, *Category Mistakes* (Oxford: Oxford University Press, 2013); W. Kastainer, „Genealogia błędu kategorii: krytyczna historia intelektualna metafory traumy kulturowej”, *Rethinking History* 8 (2004), s. 193-221.
- 37 O pochodzeniu tych fundamentalnych wynalazków zob. Smil, *Transforming the Twentieth Century*.
- 38 Smil, Pierwsi twórcy globalizacji.
- 39 A. Engler, „Przewodnik po zdrowym sceptycyzmie sztucznej inteligencji i koronawirusa” (Washington, DC: Brookings Institution, 2020).
- 40 „CRISPR: Twój przewodnik po rewolucji w edycji genów”, Nowość Naukowiec, <https://www.newscientist.com/round-up/crispr-gene-edit/>.
- 41 YN Harari, *Homo Deus* (Nowy Jork: Harper, 2018); D. Berlinski, „Godzoooks”, *Inference* 3/4 (luty 2018).
- 42 E. Trognotti, „Lekcje z historii kwarantanny, od zarazy do grypy”, *Emerging Infectious Diseases* 19 (2013), s. 254-259.
- 43 S. Crawford, „Następna generacja łączności bezprzewodowej — „5G” — to wszystko Hype”, *Wired* (sierpień 2016), <https://www.wired.com/2016/08/the-next-generation-of-wireless-5g-is-all-hype/>.

- 44 „Brak zaopatrzenia medycznego „narodowa hańba”, BBC News (marzec 2020 r.); L. Lee i KN Das, „Walka z wirusami zagrożona, gdy światowy kapitał rękawic medycznych zmaga się z blokadą”, Reuters (marzec 2020 r.); L. Peek, „Trump musi zmniejszyć naszą zależność od chińskich narkotyków – cokolwiek to będzie”, The Hill (marzec 2020).
- 45 Ostateczny koszt pandemii 2020 nie będzie znany przez lata, ale nie ma wątpliwości co do rzędu wielkości: wiele bilionów dolarów. W 2019 r. globalny produkt gospodarczy był bliski 90 bilionów dolarów, a zatem wystarczy kilkuprocentowy spadek, aby zepchnąć koszty do bilionów.
- 46 Nie możemy jednak dokonać ostatecznego osądu, dopóki nie otrzymamy ostatecznej, retrospektywnej, ogólnoświatowej oceny żniw, jakie wywołała pandemia.
- 47 JK Taubenberger i in., „Pandemia grypy z 1918 r.: 100 lat pytań z odpowiedziami i bez odpowiedzi”, Science Translational Medicine 11/502 (lipiec 2019), eaau5485; Morens i wsp., „Dominująca rola bakteryjnego zapalenia płuc jako przyczyny śmierci w pandemii grypy: Implikacje dla gotowości na pandemię grypy”, Journal of Infectious Disease 198 (2008), s. 962-970.
- 48 „Wyjaśnienie kryzysu finansowego 2008”, History Extra (2020),
<https://www.historyextra.com/period/modern/financial-crisis-crash-wyjaśnił-facts-causes/>.
- 49 Największe statki wycieczkowe mogą teraz pomieścić ponad 6000 pasażerowie; załoga dodaje dodatkowe 30–35 procent. Marine Insight, „Top 10 największych statków wycieczkowych w 2020 roku”, <https://www.marineinsight.com/know-more/top-10-largest-cruise-Ships-2017/>.
-
- 50 RL Zijdeman i FR de Silva, „Oczekiwana długość życia od 1820”, w JL van Zanden i in., red., How Was Life? Global Well-Being since 1820 (Paryż: OECD, 2014), s. 101–116.
- 51 Tę nadmierną śmiertelność można zobaczyć na regularnie aktualizowanych stronach internetowych przez Europejski Monitoring Śmiertelności (<https://www.euromomo.eu/>) dla krajów UE oraz przez Centers for Disease Control