

Złożoność minimalnych kosztów składników rosła w przybliżeniu dwa razy na rok. Z pewnością w krótkiej perspektywie tempo to powinno się utrzymać, jeśli nie wzrosnąć.²⁸

Moore nieznacznie zmodyfikował swoje wcześniejsze przewidywania w 1975 roku, stwierdzając, że podwajanie nastąpi co dwa lata. Ten proces trwał przez kolejnych 37 lat, choć ostatnio uczeni zaczęli przewidywać wolniejsze tempo przyrostu liczby tranzystorów umieszczanych w chipie komputerowym. Fizyk Michio Kaku stwierdził, że już da się dostrzec spowolnienie i że prawo Moore'a, przynajmniej w odniesieniu do chipów, straci sens w ciągu dziesięciu lat ze względu na zastosowanie konwencjonalnej technologii krzemowej. Przewidując to spowolnienie, Intel wprowadził procesory 3D, mając nadzieję, że pozwoli to jeszcze jakiś czas utrzymać podwajanie.

Kaku podkreśla, że istnieje pewien pułap ograniczający moc obliczeniową, jaką można uzyskać z krzemu. Dodaje jednak, że nowsze technologie, takie jak chipy 3D, chipy optyczne, przetwarzanie równoległe, w końcu komputery molekularne czy kwantowe, zapewne zagwarantują wzrost wykładniczy mocy obliczeniowych w dalszej przyszłości²⁹.

Istnienie prawa Moore'a odnotowano w licznych technologiach informatycznych. Pojemność twardych dysków rośnie według podobnej krzywej wykładniczej. Przepustowość sieci – liczba danych przesyłanych przez światłowody – osiągnęła nawet bardziej stromą krzywą: ilość danych przesyłanych w sieciach optycznych podwaja się w przybliżeniu co dziewięć miesięcy³⁰.

To właśnie czynnik wykładniczy sprawił, że koszty oprogramowania spadały przez ponad 50 lat. Kiedy zbudowano pierwsze olbrzymie komputery, koszt oprogramowania był ogromny, poza zasięgiem komercyjnym. Powszechnie uważano, że w najlepszym przypadku tylko wojsko i nieliczne instytuty badawcze mogą sobie na takie koszty pozwolić. Eksperci nie wzięli jednak pod uwagę wzrostu wykładniczego w wydajności i spadku kosztów produkcji. Wynalezienie układów scalonych (mikrochipów) zmieniło sytuację. Przed pięćdziesięcioma laty komputer mógł kosztować miliony dolarów, dzisiaj setki milionów ludzi posiada relatywnie tanie smartfony o tysiącrotnie większej mocy obliczeniowej niż wielkie komputery w latach sześćdziesiątych³¹. W roku 2000 jeden gigabajt przestrzeni na twardym dysku kosztował około 44 dolary. Do 2012 roku ten koszt spadł do 7 centów. W 2000 roku koszt jednego gigabajta przesyłanego na bieżąco wideo wynosił 193 dolary. Po dziesięciu latach zmniejszył się do 3 centów³².

Żeby docenić znaczenie krzywej wykładniczej dla mocy obliczeniowej i redukcji kosztów, weźmy pod uwagę, że pierwszy komercyjnie udany komputer produkowany na skalę masową, IBM 1401, często wtedy określany jako Model T przemysłu komputerowego, debiutował w roku 1959.

Maszyna miała półtora metra wysokości i prawie metr szerokości, jej pamięć to 4096 znaków. Mogła wykonać 193 tysiące operacji dodawania liczb ośmiocyfrowych w ciągu 60 sekund. Koszt wypożyczenia komputera IBM wynosił 30 tysięcy dolarów rocznie³³. W 2012 roku Raspberry Pi, najtańszy komputer świata, został sprzedany za 25 dolarów³⁴. The Raspberry Pi Foundation zasypywana jest zamówieniami od sprzedawców z krajów rozwijających się, ale też z rynków krajów rozwiniętych.

Dziś telefony komórkowe ważą kilka gramów, mieszczą się w kieszeni płaszcza i kosztują kilkaset dolarów. Czasami są nawet dawane za darmo, jeśli klient kupi usługi operatora. A mają one pamięć tysiąc razy większą niż komputer Cray-1A z późnych lat siedemdziesiątych XX wieku, który kosztował prawie 9 milionów dolarów i ważył ponad 5,4 tysiąca kilogramów³⁵. Koszt krańcowy oprogramowania zmierza ku zeru.

Krzywa wykładnicza w generowaniu informacji zasadniczo zmienia nasz sposób życia. Jak już powiedziałem, większość ludzkości jest ze sobą połączona Internetem, a dostęp do informacji, rozrywki, wiadomości i wiedzy jest niemal darmowy. Oni już wkroczyli do społeczeństwa o niemal zerowych kosztach krańcowych.

Krzywa wykładnicza wyszła ze świata oprogramowania i stała się standardem w mierzeniu sukcesu gospodarczego w licznych obszarach technologii, stała się nowym miernikiem komercyjnego sukcesu oraz zwrotu z inwestycji.

WOLNA ENERGIA

Nigdzie nie dyskutuje się o „wykładniczości” więcej niż w przemyśle energii ze źródeł odnawialnych. Wielu kluczowych graczy przybyło tam z sektora technologii informatycznych i Internetu, by wykorzystać zdobyte doświadczenie dla nowego paradygmatu energetycznego. Wyczuwają oni słusznie dwie osobliwe paralele.

Po pierwsze, wydajność technologii energii odnawialnej doświadcza wzrostu wykładniczego w obszarach słońca i wiatru, a wkrótce zapewne będzie tak też z geotermią, biomasą i wodą. Podobnie jak w przypadku biznesu komputerowego, przy działalności w obszarze energii odnawialnej trzeba na początku liczyć się z wysokimi kosztami badań, rozwoju i zastosowań rynkowych dla każdej z nowych generacji technologii. Firmy są także zmuszone do wyprzedzania o dwie lub trzy generacje swoich konkurentów w przewidywaniu, kiedy wprowadzić innowacje, bo inaczej ryzykują zniszczenie przez siłę krzywej wykładniczej. Wielu liderów rynkowych poniosło w ostatnich latach porażkę, bo byli zbyt przywiązani do starych technologii i zostali wypchnięci przez tempo zmian. Analitycy branżowi przewidują, że za 15 lat technologia pozyskiwania energii ze słońca i wiatru będzie równie tania, jak laptopy i telefony komórkowe.

Po drugie, podobnie jak było to przypadku Internetu komunikacyjnego, gdzie początkowe koszty stworzenia infrastruktury były znaczące, ale koszty krańcowe produkcji i dystrybucji informacji stały się nieistotne, w przypadku Internetu energetycznego koszty początkowe są również ogromne, lecz koszty krańcowe wyprodukowania jednostki energii ze słońca lub wiatru są bliskie zera. Energia odnawialna, podobnie jak informacja, jest niemal darmowa po odliczeniu kosztów stałych badań, rozwoju i instalacji

Technologia internetowa i energia odnawialna zaczynają łączyć się i tworzyć Internet energetyczny, który zmieni sposób wytwarzania energii i jej dystrybucji w społeczeństwie. W nadchodzącej erze setki milionów ludzi będą produkować własną energię odnawialną w swoich domach, biurach i firmach oraz dzielić się tą zieloną energią z innymi przez Internet energetyczny, tak jak my dziś tworzymy informacje i dzielimy się nimi online. Kiedy komunikacja internetowa zacznie zarządzać zieloną energią, każda istota ludzka na Ziemi stanie się dla siebie źródłem energii, dosłownie i w przenośni. Stworzenie systemu energii odnawialnej, ładowanej przez budynki, częściowo magazynowanej w formie wodoru, rozprowadzanej przez Internet i połączonej z elektrycznym, nieemitującym spalin transportem stworzy pięciofilarowy mechanizm, który pozwoli miliardom ludzi w świecie IoT dzielić się energią po praktycznie zerowych kosztach.

Spółeczność naukowa żywo interesuje się krzywą wykładniczą w obszarze energii odnawialnej. „Scientific American” opublikował w 2011 roku artykuł stawiający pytanie, czy prawo Moore’a odnosi się też do energii słonecznej, a jeśli tak, to czy jesteśmy już w trakcie zmiany paradygmatu, podobnej do tej, która zaszła w oprogramowaniu. Zdecydowana odpowiedź brzmiała: tak.

Wpływ na społeczeństwo stanie się jeszcze wyraźniejszy, jeśli rozważymy ogromny potencjał Słońca jako przyszłego źródła energii. Słońce wysyła ku Ziemi 470 eksadzuli energii w ciągu 88 minut, co równa się ilości energii zużywanej przez ludzi w ciągu roku. Gdybyśmy mogli przechwycić jedną dziesiątą 1 procenta energii słonecznej docierającej do Ziemi, dałoby to nam sześć razy więcej energii, niż zużywamy dzisiaj w gospodarce światowej³⁶.

Pomimo faktu, że Słońce jest niewątpliwie uniwersalnym źródłem energii, z którego pochodzą też paliwa kopalne, daje ono mniej niż 0,2 procent obecnego miks energetycznego, przede wszystkim dlatego, że do niedawna przechwycenie tej energii i jej dystrybucja były kosztowne. Ale teraz jest już inaczej. Richard Swanson, założyciel SunPower Corporation, zauważył w przypadku Słońca to samo zjawisko podwajania, które Moore analizował w odniesieniu do chipów komputerowych. Prawo Swansona mówi, że ceny solarnych modułów fotowoltaicznych (PV) spadają o 20 procent z każdym podwojeniem wydajności biznesu. Ceny modułów fotowoltaicznych

z krzemu spadają dramatycznie, z 60 dolarów za wat w 1976 do 0,66 dolara za wat w roku 2013³⁷.

Ogniwa słoneczne przechwytyują więcej docierającej do nich energii słonecznej, obniżając jednocześnie koszt jej zbierania. Efektywność ogniw słonecznych z potrójnymi złączami sięga w laboratorium 41 procent. Cienka błona osiąga tam 20 procent³⁸.

Jeśli trend ten nadal pozostanie tak rozwojowy – a większość studiów w istocie wskazuje na przyspieszenie wykładnicze – energia słoneczna będzie do 2020 roku równie tania, jak obecnie energia elektryczna, a do 2030 roku zacznie kosztować połowę tego, co dziś kosztuje elektryczność otrzymywana z węgla³⁹.

Niemiecki rynek energetyczny zaczyna już doświadczać wpływu energii odnawialnej o niemal zerowych kosztach krańcowych. W 2013 roku Niemcy pozyskiwały 23 procent elektryczności ze źródeł odnawialnych i oczekuje się, że już w 2020 roku liczba ta wzrośnie do 35 procent⁴⁰. Problemem jest jednak to, że w pewnych okresach dnia przyływ energii ze słońca i z wiatru do sieci jest wyższy niż zapotrzebowanie, czego rezultatem są „ceny ujemne”. I tak jest nie tylko w Niemczech. Ujemne ceny elektryczności pojawiały się w tak różnych miejscach, jak Sycylia i Teksas⁴¹.

Jest to zupełnie nowa sytuacja dla rynku elektryczności i zapowiedź przyszłości, w której energia odnawialna będzie zapewniać coraz większy procent uzyskiwania energii elektrycznej. Ujemne ceny psują cały przemysł energetyczny. Firmy świadczące usługi komunalne muszą odchodzić od inwestowania w „zapasowe” elektrownie wykorzystujące gaz i węgiel, ponieważ już nie mogą one zapewnić oczekiwanego zwrotu z inwestycji. W Niemczech elektrownie gazowe lub węglowe, których wybudowanie może kosztować miliard dolarów, a nie będą one w stanie w pełni wykorzystać swych mocy w związku z napływem do sieci energii odnawialnej, są rentowne tylko w dniach bezwietrznych i pochmurnych. To wydłuża czas zwrotu nakładów poniesionych na nowe elektrownie gazowe lub węglowe i czyni te inwestycje nieprzewidywalnymi. Dlatego nawet na tak wczesnym etapie trzeciej rewolucji przemysłowej energia odnawialna zaczyna wypychać z sieci elektrownie wykorzystujące paliwa kopalne⁴².

Wykładniczość energii odnawialnej sprawia, że globalne firmy energetyczne zaczynają cierpieć. BP ogłosiło w 2011 roku studium o światowej energetyce, wykazujące, że wydajność urządzeń generujących energię słoneczną wzrosła do 2011 roku o 73,3 procent i będą one wytwarzać 63,4 gigawata, czyli dziesięć razy więcej niż pięć lat wcześniej⁴³. Wydajność zainstalowanych mocy solarnych podwajała się co dwa lata przez ostatnich dwadzieścia lat i nie widać końca tego procesu⁴⁴.

Nawet w Stanach Zjednoczonych, gdzie przejście na nową zieloną energetykę było w porównaniu z Europą powolne, sektor energetyczny się chwieje. David Crane, prezes i dyrektor generalny NGR Energy, powiedział

w listopadzie 2011 roku, że „w ciągu ostatnich dwóch lat koszt energii ze źródeł fotowoltaicznych (PV) spadł o połowę. NGR oczekuje, że spadnie on jeszcze o połowę w ciągu kolejnych dwóch lat, co uczyni energię słoneczną tańszą niż dzisiejszy koszt detaliczny elektryczności w około 20 stanach”. Wszystko to zrewolucjonizuje energetykę⁴⁵.

Podobnie jak promieniowanie słoneczne, wiatr jest wszechobecny i wieje na całym świecie – choć z różną siłą i częstotliwością. Studium Uniwersytetu Stanforda na temat globalnej wydajności wiatru stwierdza, że gdybyśmy zgromadzili 20 procent takiej energii, mogłaby wygenerować siedem razy więcej elektryczności, niż zużywamy jej dziś w całej światowej gospodarce⁴⁶. Wydajność elektrowni wiatrowych rosła wykładniczo od wczesnych lat dziewięćdziesiątych XX wieku i ilość pozyskanej z nich energii zrównała się w wielu regionach świata z konwencjonalnie wytwarzaną elektrycznością z paliw kopalnych i elektrowni atomowych. Przez ostatnie ćwierć wieku wydajność turbin wiatrowych wzrosła stukrotnie, a przeciętna wydajność jednej turbiny – o ponad 1000 procent. Rosnąca sprawność i wydajność znacząco ograniczyły koszty produkcji, instalacji i utrzymania, doprowadzając do rocznego wzrostu o ponad 30 procent między rokiem 1998 a 2007, czyli do podwajania wydajności co dwa i pół roku⁴⁷.

Oponenci zwracają uwagę, że dopłaty do zielonej energii w formie gwarantowanych taryf podnoszą w sposób sztuczny krzywą wzrostu. W rzeczywistości jednak one tylko przyspieszają jej przyjęcie i poszerzają zasięg, ożywiają konkurencję i pobudzają innowację, co w konsekwencji podnosi wydajność technologii pozyskiwania i obniża koszty produkcji i instalacji. W kolejnych krajach energetyka solarne zbliża się do zrównania z konwencjonalną, opartą na paliwach kopalnych i atomie, co pozwala rządowi na zapoczątkowanie wycofywania się z takich taryf. Tymczasem starsze energetyki, oparte na paliwach kopalnych i atomie, nadal są subsydiowane na poziomie znacznie przewyższającym subsydia dla energii odnawialnej.

Studium przygotowane przez Energy Watch Group przewiduje na przyszłość cztery różne scenariusze podziału rynku dla nowych elektrowni wiatrowych i słonecznych, zakładając 50 procent tego udziału do 2033 roku, a w wariantach bardziej optymistycznych osiągnięcie tego pułapu już w roku 2017⁴⁸. Słońce i wiatr są prawdopodobnie na nieodwracalnej krzywej wykładniczej prowadzącej ku niemal zerowym kosztom krańcowym, natomiast energia geotermalna, z biomasy czy fal morskich i pływów, osiągnie zapewne fazę startu do wzrostu wykładniczego w następnej dekadzie, doprowadzając energetykę odnawialną jako całość do krzywej wykładniczej w pierwszej połowie XXI wieku.

Nadal spotykamy się z zaniżaniem prognoz dotyczących udziału energii odnawialnej w przyszłym globalnym rynku energetycznym, po części dlatego, że – podobnie jak działo się w IT i telekomunikacji w latach

siedemdziesiątych XX wieku – nie wszyscy przewidują transformacyjny charakter krzywych wykładniczych, nawet w obliczu skumulowanych doświadczeń z kilku ostatnich dekad.

Ray Kurzweil, wynalazca z MIT i przedsiębiorca, który dziś jest szefem inżynierów w Google, a spędził życie, obserwując zabójczą siłę wzrostu wykładniczego w odniesieniu do przemysłu IT, dokonał obliczeń dotyczących tylko energii solarnej. Opierając się na ostatnich dwudziestu latach, w których dochodziło do podwojenia, stwierdził, że „jeśli podwoimy jeszcze osiem razy i zaspokoimy wszystkie potrzeby energetyczne dzięki słońcu, to wykorzystamy zaledwie jedną dziesięciotysięczną światła słonecznego dochodzącego do Ziemi”⁴⁹. Ośmiokrotne podwojenie zajmie tylko szesnaście lat, co wprowadzi nas w wiek słoneczny do 2028 roku.

Być może Kurzweil jest nadmiernym optymistą. Moim zdaniem osiągniemy prawie 80 procent udziału energii odnawialnej znacznie przed rokiem 2040, o ile nie zajdą nieprzewidywalne zdarzenia.

ZBLIŻAJĄC SIĘ DO ZERA

Sceptycy rozsądnie zwracają uwagę na fakt, że nic, co wymieniamy z innymi, nie jest nigdy naprawdę za darmo. Nawet wtedy gdy IoT zostanie w pełni spleciony i podłączony, zawsze pojawiać się będą pewne koszty związane z generowaniem i dystrybucją informacji oraz energii. Dlatego zawsze używamy terminu *niemal zerowe*, gdy wspominamy o kosztach krańcowych dostarczania informacji, zielonej energii oraz dóbr i usług.

Choć koszty krańcowe dostarczania informacji są już niewielkie, podejmowany jest poważny wysiłek, by obniżyć je jeszcze bardziej, by dotrzeć tak blisko zera, jak tylko to możliwe. Ocenia się, że dostawcy Internetu (Internet Service Providers, ISP), którzy podłączają użytkowników do sieci, osiągnęli w 2011 roku przychody rzędu 196 miliardów dolarów⁵⁰. W sumie zaskakująco niski koszt za skomunikowanie niemal 40 procent ludzkości i całej globalnej gospodarki⁵¹. Poza płaceniem dostawcom Internetu, każdy użytkownik wnoszą opłatę za elektryczność zużytą do wysłania informacji i uzyskania dostępu do nich. Ocenia się, że koszt przesłania pliku o pojemności 1 megabajta wynosi zaledwie 0,001 dolara⁵². Jednak megabajty się sumują. Internet zużywa ponad 1,5 procent światowej elektryczności, co kosztuje 8,5 miliarda dolarów – znów niewielki koszt za ogólnoswiatową komunikację⁵³. To odpowiednik ceny wybudowania czterech-pięciu kasyn w Las Vegas. Ponadto w związku z coraz szerszym łączeniem ludzi i urządzeń oraz coraz silniejszymi urządzeniami zużycie elektryczności ciągle rośnie. Google na przykład zużywa tyle energii, że mogłaby ona zaspokoić zapotrzebowanie 200 tysięcy domów⁵⁴.

Większa część elektryczności zużywana jest przez serwery i centra danych. W 2011 roku tylko w Stanach Zjednoczonych obsługa serwerów

i centrów danych kosztowała 7,5 miliarda dolarów⁵⁵. Liczba federalnych centrów danych wzrosła z 432 w 1998 do 2,094 tysiąca w 2010 roku⁵⁶. Do 2011 roku na Ziemi było ponad 509 tysięcy centrów danych, które zajmowały powierzchnię ponad 26 milionów metrów kwadratowych, odpowiednik 5955 boisk futbolowych⁵⁷. Ponieważ większość elektryczności zużywanej przez sprzęt IT w tych centrach przekształca się w energię ciepłą, jeszcze więcej prądu potrzeba do chłodzenia sprzętu. Często idzie na to między 25 a 50 procent mocy⁵⁸.

Pokażna część elektryczności jest także marnowana tylko dlatego, że trzeba utrzymać serwery na biegu jałowym na wypadek, gdyby nagły wzrost aktywności spowolnił lub zablokował system. Firma doradcza McKinsey wykazała, że centra danych średnio zużywają jedynie od 6 do 12 procent energii elektrycznej do zasilania funkcjonowania podczas obliczeń – reszta idzie na utrzymanie ich w gotowości⁵⁹. Aby ograniczyć pobór mocy w momentach bezczynności albo pracy na niższych częstotliwościach i z niższym napięciem, wprowadzane są nowe aplikacje do zarządzania energią. Spowolnienie obliczeń także zmniejsza zużycie energii elektrycznej. Inne podejście do tego, co branża nazywa *energy-adaptive computing*, polega na zmniejszeniu zapotrzebowania na energię przez ograniczanie rozmachu w projektowaniu i strat spowodowanych sposobem, w jaki sprzęt IT jest budowany i jak funkcjonuje⁶⁰.

Obniżenie kosztów energii w centrach danych ostatecznie nadejdzie wraz z zasilaniem ich odnawialną energią. Choć początkowe koszty stałe zasilania centrów taką energią są znaczne, czas spłaty będzie coraz krótszy w miarę spadku kosztów budowy urządzeń energetycznych. A kiedy już te urządzenia oraz technologie gromadzenia energii będą funkcjonować, koszt krańcowy generowania energii ze słońca, wiatru i innych źródeł odnawialnych będzie bliski zera, a elektryczność stanie się niemal darmowa. Ta prawda dotarła już do dużych graczy z obszaru przechowywania danych.

W 2012 roku Apple ogłosił, że jego nowe centrum danych w Karolinie Północnej będzie zasilane przez ogromne dwudziestomegawatowe urządzenia wykorzystujące energię słoneczną, w tym pięciomegawatowy system magazynowania paliwa zasilany biogazem i gromadzący pozyskiwaną okresowo energię słoneczną w celu zapewnienia nieprzerwanej, 24 godziny na dobę, siedem dni w tygodniu, dostępności prądu⁶¹. Centrum danych McGraw-Hill w East Windsor, w stanie New Jersey, będzie zasilane przez czternastomegawatowe panele słoneczne. Inne firmy planują dla swych centrów budowę podobnych urządzeń zasilanych energią odnawialną⁶².

Centrum danych Apple instaluje także elastyczny system, w którym chłodne nocne powietrze wykorzystywane jest do zapewniania zimnej wody dla systemu chłodzenia centrum⁶³. Dostarczanie do centrów danych energii odnawialnej, której koszt krańcowy jest niemal zerowy, doprowadzi

do radykalnego ograniczenia kosztów elektryczności zasilającej Internet przedmiotów, przybliżając nas do niemal darmowej elektryczności dla działalności gospodarczej.

Zmniejszanie kosztów elektryczności zużywanej na funkcjonowanie centrów danych postępuje równolegle z cięciem kosztów przechowywania danych, co stanowi większą część procesu zarządzania danymi. A ilość danych rośnie szybciej niż pojemność twardych dysków do ich przechowywania.

Badacze już zaczynają eksperymentować z całkowicie nowym sposobem przechowywania danych, który ostatecznie może doprowadzić koszty krańcowe blisko zera. W styczniu 2013 roku naukowcy z The European Bioinformatics Institute w Cambridge w Anglii ogłosili opracowanie nowej rewolucyjnej metody przechowywania danych elektronicznych przez osadzanie ich w syntetycznym DNA. Dwaj badacze, Nick Goldman i Ewan Birney, zamienili tekst pięciu plików komputerowych, zawierających nagranie MP3 przemówienia Martina Luthera Kinga *Mam marzenie*, artykuł Jamesa Watsona i Francisca Cricka opisujący strukturę DNA oraz wszystkie sonety i sztuki Szekspira, z zero-jedynkowego zapisu cyfrowego na litery tworzące alfabet kodu DNA. Kod ten został następnie użyty do utworzenia nitek syntetycznego DNA. Maszyny odczytywały molekuly DNA i odsyłały rozkodowaną informację⁶⁴.

Ta innowacyjna metoda otwiera praktycznie nieograniczone możliwości gromadzenia informacji. Badacz z Harvardu, George Church, podkreśla, że informacje przechowywane obecnie na dyskach na całym świecie zmieściłyby się we fragmencie DNA wielkości dłoni. Uчени dodają jeszcze, że informacje w DNA można zachować przez stulecia, jeśli tylko przechowuje się je w ciemnym i chłodnym pomieszczeniu⁶⁵.

Na obecnym wczesnym etapie rozwoju koszt odczytania kodu jest wysoki, a czas potrzebny na odszyfrowanie informacji znaczny. Badacze mają jednak podstawy, by twierdzić, że wykładnicze tempo zmian w bioinformatyce ograniczy koszty krańcowe niemal do zera w ciągu kilku kolejnych dekad.

BLISKIE ZERA KOSZTY KRAŃCOWE INFRASTRUKTURY komunikacyjno-energetycznej dla ery współpracy są już dostrzegalne. Technologia konieczna do jej wprowadzenia jest instalowana. Obecnie to już tylko problem skalowania i budowy. Kiedy porównamy rosnące koszty utrzymywania starej matrycy komunikacyjno-energetycznej drugiej rewolucji przemysłowej, scentralizowanej telekomunikacji i scentralizowanego systemu wytwarzania energii z paliw kopalnych, którego koszty rosną z dnia na dzień, z tą samą matrycą trzeciej rewolucji przemysłowej, której koszty błyskawicznie spadają, jasne jest, że przyszłość należy do tej drugiej. Komunikacja internetowa jest już

generowana i upowszechniana po niemal zerowych kosztach krańcowych, podobnie jak energia słoneczna i wiatrowa wśród milionów pionierów.

Niezlomni zwolennicy paliw kopalnych utrzymują, że piaski roponośne i gaz łupkowy są łatwo dostępne, więc niepotrzebne są inwestycje w energię źródeł odnawialnych, przynajmniej w krótkiej perspektywie. Ale te kosztowniejsze paliwa kopalne są wprowadzane w związku z wyczerpywaniem się zasobów ropy naftowej. Wydobywanie ropy z piasku i skał to przedsięwzięcie kosztowne w porównaniu z wywierceniem dziury w ziemi, by wytrysnęła ropa naftowa. Piaski roponośne nie są jeszcze wykorzystywane komercyjnie, ceny ropy oscylują wokół 80 dolarów za baryłkę – a przypomnijmy sobie, że jeszcze kilka lat temu taka cena zostałaaby uznana za prohibicyjnie wysoką. Jeśli chodzi o gaz łupkowy, chociaż ceny są obecnie niskie, niepokojące raporty z terenu pokazują, że obietnice przynoszonej przez niego niezależności energetycznej podsypane były przez rynki finansowe i biznes energetyczny. Analitycy wyrażają zaniepokojenie, że gorączka wywołana przez gaz łupkowy, podobnie jak gorączka złota w XIX wieku, już teraz wytwarza niebezpieczną bańkę, której konsekwencje dla amerykańskiej gospodarki mogą być groźne, bowiem zainwestowano w jego wydobywanie zbyt szybko i zbyt dużo⁶⁶.

Andy Hall, handlarz ropą znany w branży jako God (Bóg), co zawdzięcza swej wyjątkowej zdolności przewidywania trendów w handlu tym surowcem, zaszokował specjalistów w maju 2013 roku deklaracją, że gaz łupkowy tylko „chwilowo” zwiększy produkcję energii. Hall poinformował inwestorów w swój wart 4,5 miliarda dolarów fundusz Astenberg, że, choć gaz łupkowy początkowo wytryska, to potem produkcja raptownie spada, ponieważ każdy szyb wydobywa gaz tylko z pojedynczego zbiornika w wielkim rezerwuarze. Szybkie wyczerpywanie istniejących pokładów gazu łupkowego zmusza producentów do ciągłego poszukiwania nowych złóż i kopania nowych szybów, co zwiększa koszty produkcji. W rezultacie, jak mówi Hall, „niemożliwe jest utrzymanie produkcji [...] bez ciągłego wiercenia nowych szybów, co pociągnie za sobą wyższe ceny ropy”. Hall jest przekonany, że euforia wywołana przez gaz łupkowy będzie krótkotrwała⁶⁷. International Energy Agency (IEA) zgadza się z nim. W swoim rocznym raporcie 2013 *World Energy Outlook* przewiduje, że wydobywanie „ropy zacieśnionej” – jak popularnie określa się gaz łupkowy – osiągnie szczyt około 2020 roku, a potem w połowie lat dwudziestych XXI wieku produkcja spadnie. Oceny perspektyw gazu łupkowego w Stanach Zjednoczonych są jeszcze gorsze. Energy Information Administration (EIA) amerykańskiego Departamentu Energii spodziewa się, że wysokie wydobywanie gazu łupkowego utrzyma się jedynie w latach 2015–2019 (czyli przez jakieś pięć lat), a potem spadnie⁶⁸.

Nie do wszystkich jeszcze dotarło to, że energia z paliw kopalnych nigdy nie osiągnie kosztu krańcowego bliskiego zera, ani nawet się do

niego nie zbliży. Energia ze źródeł odnawialnych dostępna jest już teraz dla milionów pionierów praktycznie po niemal zerowych kosztach krańcowych. Wyskalowanie tego procesu tak, by każdy człowiek na Ziemi mógł produkować zieloną energię i dzielić się nią dzięki Internetowi przedmiotów po niemal zerowych kosztach krańcowych, to następne wielkie zadanie dla cywilizacji przechodzącej od rynku kapitalistycznego do wspólnoty współpracy.