

01

**CZWARTA
REWOLUCJA
TECHNOLOGICZNA**

PRZEPIS NA REWOLUCJĘ

W 2018 r. ponad pięć miliardów ludzi – 2/3 światowej populacji – posiadało telefon działający na zasadzie łączności bezprzewodowej. Co trzecie z tych urządzeń to smartfon – telefon, będący jednocześnie przenośnym komputerem, którego moc obliczeniowa tysiąckrotnie przekracza moc komputera, który w 1969 r. pomagał wysłać ludzi na Księżyc¹. Dzięki podłączeniu do globalnej sieci internetowej na wyciągnięcie ręki – a raczej na skinięcie palcem – mamy dostęp do archiwum wiedzy zgromadzonej przez ludzkość, znajomych na portalu społecznościowym oraz cyfrowych usług oferowanych przez platformy internetowe. Sztuczna inteligencja wykorzystująca sieci neuronowe nauczyła się wygrywać w pokera – grę wymagającą nie tylko umiejętności myślenia dedukcyjnego, ale i intuicji, uważanej za przymiot czysto ludzki². Zachodząca na naszych oczach **czwarta rewolucja technologiczna** opiera się na wynalazkach, o jakich nie śniło się filozofom, ale o których marzyli twórcy *science fiction*³. Ci z nas, którzy wyrosli w świecie bez internetu, smartfonów i sztucznej inteligencji, doświadczają „szoku przyszłości” głębszego, niż przewidzieli to twórcy tego terminu, socjologowie Alvin i Heidi Toefflerowie, w latach 70. XX wieku⁴.

Dlaczego właśnie czwarta? Numeracja kolejnych rewolucji technologicznych – czyli gwałtownych zmian gospodarczych, społecznych i politycznych związanych z upowszechnieniem się nowej technologii – ma charakter umowny. Podział zaproponowany w latach 70. XX w. przez amerykańskiego socjologa Daniela Bella zakładał, że pierwszą wywołało wynalezienie maszyny parowej, druga nastąpiła wraz z wynalezieniem elektryczności, a trzecia – zachodzi w wyniku automatyzacji i komputeryzacji⁵. Carlota Perez, badająca zjawisko innowacji, w książce *Technological Revolution and Financial Capital* (2002) pisze o pięciu kolejnych rewolucjach. Pierwsza to rewolucja przemysłowa: jej umowny początek przypada na rok 1771, gdy Richard Arkwright, wynalazca udoskonalonego krosna, otwiera swoją pierwszą fabrykę w Wielkiej Brytanii. Druga wiąże się z upowszechnieniem się silnika parowego i rozpoczyna ją test lokomotywy zwanej Rakietą w 1829 r. Trzecią rewolucję – stali i elektryfikacji przemysłu ciężkiego – symbolizuje otwarcie fabryki stali Carnegie Bessemer w 1875 r. Emblematami kolejnej rewolucji – czwartej – staną się ropa naftowa, samochód i produkcja masowa. Rozpoczyna się ona w 1908 r., gdy

¹ K. Taylor, L. Silver, *Smartphone Ownership Is Growing Rapidly Around the World, but Not Always Equally*, Pew Research Center 2019, https://www.pewresearch.org/global/wp-content/uploads/sites/2/2019/02/Pew-Research-Center_Global-Technology-Use-2018_2019-02-05.pdf.

² T. Riley, *Artificial intelligence goes deep to beat humans at poker*, „Science” 2017, <https://www.sciencemag.org/news/2017/03/artificial-intelligence-goes-deep-beat-humans-poker>.

³ S. Backup, *The surprising link between science fiction and economic history*, „World Economic Forum” 2016, <https://www.weforum.org/agenda/2016/06/the-poetry-of-progress>; R. Kurzweil, *The Law of Accelerating Returns*, „Kurzweil Network Accelerating Intelligence” 2001, <https://www.kurzweilai.net/the-law-of-accelerating-returns>.

⁴ A. Toffler, *Szok przyszłości*, Wydawnictwo Zys i S-ka, Poznań 1998.

⁵ M. Waters, *Daniel Bell*, Routledge, London–New York 1996, s. 154.

z linii produkcyjnej Forda zjeżdża pierwszy model T, a kończy wraz z nastaniem epoki informacji i telekomunikacji. To piąta rewolucja, która została zainicjowana w pojawieniu się w 1971 r. mikroprocesora firmy Intel⁶. Podejście Perez – wyodrębniające dwa etapy pierwszej rewolucji przemysłowej: mechaniczny i parowy – nie zyskało jednak popularności. W dyskursie naukowym i biznesowym dominuje przekonanie, że obecnie mamy do czynienia z czwartą rewolucją technologiczną (a także przemysłową, społeczną i polityczną). Takie podejście prezentuje założyciel organizacji World Economic Forum Klaus Schwab w książce *The Fourth Industrial Revolution* (2016)⁷. Dwaj znani dziennikarze John Micklethwait i Adrian Wooldridge piszą o czwartej rewolucji w kontekście przejścia do „inteligentnego państwa” (*smart state*), wykorzystującego nowe technologie⁸. Tego samego terminu używa także Luciano Floridi w książce *The Fourth Revolution. How the Infosphere is Reshaping Human Reality* (2014). Floridi pisze o przemianach w sposobie, w jaki człowiek rozumie samego siebie⁹. Pierwsza rewolucja – kopernikańska, obaliła przekonanie, że ludzkość jest centrum kosmosu; druga – darwinowska, dowiodła, że człowiek nie jest królem stworzenia; trzecia rewolucja – freudowska, obaliła założenie o racjonalności ludzkiego umysłu. Czwarta rewolucja bierze nazwę od genialnego matematyka, który stworzył podwaliny dla rozwoju technologii informatycznych – Alana Turinga. W wyniku rewolucji turingowskiej i pojawienia się sztucznej inteligencji człowiek traci wyjątkową pozycję jedynej istoty zdolnej do logicznego myślenia, przetwarzania informacji i inteligentnego zachowania. Nasycenie rzeczywistości nowymi technologiami sprawia, że ludzie zmieniają się w organizmy informacyjne (inforgi), zanurzone w infosferze, w której funkcjonują inne podmioty informacyjne, również te nie-ludzkie. Pisząc o czwartej rewolucji technologicznej, podążaliśmy za wymienionymi wyżej autorami.

Najbardziej wyrazistą cechą czwartej rewolucji technologicznej jest rosnące napięcie **innowacji kombinatorycznej**. Klasyczne podejście do zmiany technologicznej zaproponowane na początku XX w. przez austriackiego ekonomistę Josepha Schumpetera zakładało, że jej pierwszym etapem jest wynalazek: nowy produkt lub proces. Wynalazek ma charakter naukowo-techniczny, może nigdy nie wykroczyć poza ściany laboratorium czy garażu wynalazcy. Innowacja to już fakt ekonomiczny, wywierający wpływ na gospodarkę, chociaż może mieć niszowy charakter. Dopiero dyfuzja, czyli upowszechnienie, przekształca innowację w fenomen socjoekonomiczny¹⁰. Nowsze ujęcie, rozwijane m.in. przez stanfordzkiego ekonomistę W. Briana Arthura w książce *The Nature of Technology* (2011), zakłada, że technologia nie powstaje w sposób

⁶ C. Perez, *Technological Revolution and Financial Capital*, Edward Elgar Publishing, Northampton 2002, s. 11.

⁷ K. Schwab, *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, Geneva 2016.

⁸ J. Micklethwait, A. Wooldridge, *The Fourth Revolution. The Global Race to Reinvent the State*, Penguin Books, New York 2015.

⁹ L. Floridi, *The Fourth Revolution. How the Infosphere is Reshaping Human Reality*, Oxford University Press, Oxford 2014.

¹⁰ J. Schumpeter, *Teoria rozwoju gospodarczego*, PWN, Warszawa 1960.

linearny, lecz że „technologie składają się z innych technologii, powstają jako kombinacje innych technologii”¹¹. Mechanizm ten cechował również poprzednie rewolucje technologiczne, ale przebiegał znacznie wolniej, m.in. ze względu na tempo obiegu wiedzy. Dyfuzja internetu, szczytowego wynalazku trzeciej rewolucji technologicznej, przyspieszyła i bezprecedensowo rozszerzyła obieg i wymianę wiedzy między badaczami i ośrodkami z całego świata. W dodatku, jak zauważa Hal Varian, główny ekonomista Google, przyspieszenie wynika również z dematerializacji głównego „substratu” działań innowacyjnych, czyli **danych**.

Wkroczyliśmy w etap, w którym mamy do dyspozycji składowe internetu, software, protokoły, języki i możliwości łączenia tego wszystkiego tak, by powstawały kolejne innowacje. Najwspanialsze zaś jest to, że wszystkie te elementy to bity. A to oznacza, że nigdy ich nam nie zabraknie. Możemy je przetwarzać, powielać, rozsyłać po całym świecie, a dziesiątki tysięcy innowatorów może dzięki nim wykombinować i zrekombinować kolejne innowacje. Tutaj nie ma niedoborów. Nie ma opóźnień w dostawach. To sytuacja, w której komponenty są dostępne dla każdego, stąd bierze się ten niesamowity rozkwit innowacji, który widzimy wszędzie wokół¹².

Mechanizmy innowacji kombinatoryjnej niekiedy opierają się na przechwytywaniu innowacji stworzonej przez konkurencję, czego przykładem jest wojna patentowa, która toczyła się między Microsoftem a Google. W 2010 r. Microsoft uznał – trwa dyskusja, czy zasadnie – że system Android wykorzystuje rozwiązania stanowiące jego własność intelektualną. Firma zaczęła pobierać wysokie opłaty za licencje na Androida, co skłoniło producentów urządzeń do szukania innych rozwiązań systemowych, takich jak Windows Phone czy Firefox OS. W ostatnim kwartale 2015 r. ogłoszono zakończenie sporu i rozejm między Google i Microsoftem, nie zdradzając szczegółów ugody. Poinformowano jedynie o podjęciu współpracy między firmami dotyczącej patentów oraz opracowania nowych technologii sieciowych¹³.

Zdaniem Kai Fu Lee, autora książki *AI Superpowers* (2018), nadmierne poszanowanie dla zasady własności intelektualnej w coraz większym stopniu ogranicza innowacyjność działań podejmowanych w ekosystemie firm technologicznych w amerykańskiej Dolinie Krzemowej¹⁴. Startupy funkcjonujące w chińskim ekosystemie nie mają takich hamulców – umiejętność szybkiego kopiowania konkurencyjnych rozwiązań i ich ulepszania jest tam uważana za przejaw przedsiębiorczości, co w ostatecznym rozrachunku może przesądzić o ich globalnym sukcesie.

¹¹ B.W. Arthur, *The nature of technology: What it is and how it evolves*, Free Press, New York 2009.

¹² H. Varian, *Hal Varian on how the Web challenges managers*, rozmowę przeprowadził James Manyika, „McKinsey & Company High Tech” 2009, <https://www.mckinsey.com/industries/high-tech/our-insights/hal-varian-on-how-the-web-challenges-managers>.

¹³ F. Vogelstein, *Dogfight: How APPLE and GOOGLE Went to WAR and Started a REVOLUTION*, Macmillan 2013; D. Lee, *Google and Microsoft agree to lawsuit truce*, „BBC Technology” 2015, <https://www.bbc.com/news/technology-34409077>.

¹⁴ K.F. Lee, *AI Superpowers: China, Silicon Valley, and the New World Order*, Houghton Mifflin Harcourt, New York 2018.

W dalszej części tego rozdziału przedstawiamy zwięzłą historię ewolucji nowych technologii, warunkujących powstawanie gospodarki cyfrowej. Naszym celem jest nakreślenie kontekstu transformacji cyfrowej, dlatego nie wchodzimy w szczegóły techniczne, a skupiamy się na najważniejszych mechanizmach. Najpierw wyjaśnimy znaczenie **technologii założycielskich** czwartej rewolucji technologicznej, do których zaliczamy komputer, internet i smartfon. Następnie wskażemy najważniejsze **technologie intensyfikujące**, które determinują jej charakter i nadają tempo, ponieważ umożliwiają bardziej efektywne i szybsze gromadzenie, przetwarzanie, analizowanie i wykorzystanie danych.

TECHNOLOGIE ZAŁOŻYCIELSKIE

KOMPUTER

Epokową innowacją, która zapoczątkowała trzecią rewolucję technologiczną, był **komputer**. Sam pomysł stworzenia programowalnej maszyny obliczeniowej (*analytical engine*) jest przypisywany angielskiemu matematykowi Charlesowi Babbage'owi¹⁵. W 1834 r. Babbage przedstawił projekt maszyny parowej, która mogłaby wykonywać mozolną i czasochłonną pracę kalkulatorów, czyli ludzi zajmujących się ręcznymi obliczeniami. Maszyna miała być zbudowana z pamięci (*store*, magazynującej dane, o pojemności 675 bitów), oraz młyna (*mill*, wykonującego obliczenia). Można ją było programować przy użyciu dziurkowanych kart, podobnych do tych używanych w maszynach żakardowych. Pierwsze programy, które mogłyby działać na maszynie Babbage'a, napisała matematyczka Ada Lovelace¹⁶.

Babbage nigdy nie zdołał jednak zbudować swojej napędzanej parą maszyny: była zbyt skomplikowana, zbyt wielka (wielkości małej lokomotywy) i zbyt kosztowna. Praktyczne problemy konstrukcyjne niemal pokonały nawet entuzjastów z londyńskiego Muzeum Nauki zaangażowanych w projekt jej rekonstrukcji¹⁷. Pierwsze komputery, które powstały ponad sto lat później, działały jednak na podobnej zasadzie: miały wydzielony moduł pamięci i moduł analityczny, można było je programować przy użyciu przełączników i wtyczek. Ich konstrukcja była jednak prostsza dzięki innej epokowej innowacji – elektryfikacji. Nadal jednak zajmowały bardzo dużo miejsca: stworzone w latach 1943–1945 brytyjskie programowalne maszyny elektroniczne, wykorzystywane do rozszyfrowywania niemieckich komunikatów wojskowych, zasadnie były nazywane Colossusami, w Stanach Zjednoczonych pierwsze komputery

¹⁵ P.A. Freiberger, M.R. Swaine, *Analytical Engine*, [w:] *Encyclopædia Britannica* 2017, <https://www.britannica.com/technology/Analytical-Engine>.

¹⁶ D. Swade, *The Babbage Engine*, Computer History Museum – Online Exhibition, <https://www.computerhistory.org/babbage/engines/>.

¹⁷ J. Graham-Cumming, *Let's build Babbage's ultimate mechanical computer*, „New Scientist” 2010, <https://www.newscientist.com/article/mg20827915-500-lets-build-babbages-ultimate-mechanical-computer/>.

nazywano czule „wielkim żelastwem” (*Big Iron*). Pierwszy komputer przeznaczony do celów komercyjnych – Ferranti Mark 1 z 1951 r. – ważył pół tony, a jego obsługa wymagała zaawansowanych umiejętności. Rosnące zainteresowanie komputerami ze strony przemysłu przełożyło się na zmianę ich funkcji: w coraz większym stopniu polegały one na przetwarzaniu danych, a nie wykonywaniu jedynie prostych operacji matematycznych.

Elektroniczne komputery znalazły przede wszystkim zastosowanie w rutynowych procesach administracyjnych – sporządzaniu list wypłat, zestawień rachunków i sporządzania raportów. Wszystkie te zadania były już przynajmniej częściowo zmechanizowane za pomocą maszyn do pisanie, maszyn tabulacyjnych i kalkulatorów mechanicznych. W wielu dużych korporacjach te zadania zostały oddelegowane do specjalnych departamentów przetwarzania danych. I to dla nich IBM pod koniec lat 50. projektował wiele komputerów, reklamując je jako narzędzia do „elektronicznego przetwarzania danych”. W latach 60. komputery w korporacjach były w większości wykorzystywane właśnie w tym celu, choć wielu ekspertów komputerowych postrzegało to zastosowanie technologii komputerowej jako najmniej interesujące¹⁸.

Do zmniejszenia rozmiaru komputerów przyczynił się kolejny wynalazek – tranzystor (1948), który zastąpił nieefektywne lampy próżniowe wykorzystywane do wykonywania obliczeń. Dekadę później pojawił się układ scalony integrujący wszystkie elektryczne elementy komputera (tranzystory, przewodniki, oporniki, diody) w jednym krzemowym chipie. Nadal jednak każda funkcja komputera była obsługiwana przez oddzielny chip. Prawdziwy przełom nastąpił wraz z wynalezieniem **mikroprocesora** (pojedynczego układu scalonego o wielkim stopniu integracji).

Pierwszy mikroprocesor został wyprodukowany przez firmę Intel w 1971 r. dla producenta kalkulatorów Busicom. Tak powstał Intel 4004 – pierwszy mikroprocesor o ogólnym zastosowaniu. Klient wycofał się jednak z umowy i Intel został zmuszony do znalezienia innego rynku zbytu. Nie był jednak jedynym podmiotem wdrażającym tę innowację. Równolegle technologię produkcji mikroprocesorów rozwijała pracująca dla wojska firma Garret oraz Texas Instruments, która zamierzała je stosować w produkowanych przez siebie kalkulatorach i to właśnie ona jako pierwsza zgłosiła patent. Ostatecznie spór zakończył się ugodą z Intelem.

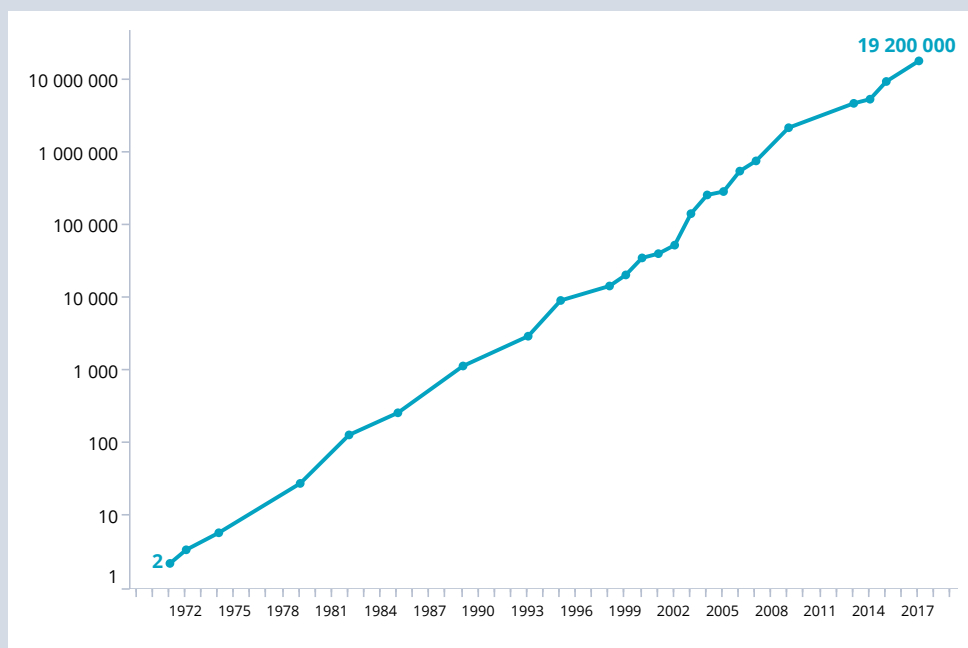
Pierwszy mikroprocesor Intela z 1971 r. był wielkości 12 mm², składał się z 2300 tranzystorów i wykonywał 60 tys. operacji na sekundę, ten wyprodukowany rok później miał już 3500 tranzystorów i wykonywał 300 tys. operacji na sekundę. Zgrubnie potwierdzało to zaproponowaną w 1965 r. tezę jednego z założycieli Intela, George’a Moore’a, dotyczącą regularnego podwajania się liczby tranzystorów umieszczonych na mikroprocesorze.

¹⁸ M. Campbell-Kelly i in., *Computer: A History of the Information Machine (The Sloan Technology Series)*, Routledge, New York 2018.

Sformułowane w 1965 r. prawo Moore'a pierwotnie zakładało, że liczba umieszczonych na mikroprocesorze tranzystorów będzie się podwajała co półtora roku. Dekadę później Moore zmodyfikował swoje twierdzenie: liczba mikroprocesorów miała się odtąd podwajać co dwa lata. Choć prawo Moore'a było raczej prawidłowością sformułowaną na podstawie obserwacji, przez lata zachowywało zadziwiająco trafność.

Dopiero w ostatnich latach tempo miniaturyzacji zaczęło wyhamowywać. Zmniejszanie się wielkości urządzeń mechanicznych, optycznych i elektronicznych doprowadziło do utworzenia tranzystorów o rozmiarach bliskich atomom. Według raportu Semiconductor Industry Association z 2015 r. zbliżamy się do fizycznej granicy wielkości mikroprocesora. Jej osiągnięcie nie kończy jednakże kariery prawa Moore'a, które dotyczyło jedynie corocznego podwajania się liczby tranzystorów na równej powierzchni, a współcześnie stawia się na struktury trójwymiarowe. Możliwe jednak, że granica kilku nanometrów jest tylko kolejną tymczasową barierą, która zostanie pokonana za sprawą komputerów kwantowych.

ZGODNIE Z PRAWEM MOORE'A LICZBA TRANZYSTORÓW NA MIKROPROCESORZE PODWAJA SIĘ CO DWA LATA



RYSUNEK 1.1.

Liczba tranzystorów na mikroprocesor (w tysiącach), skala logarytmiczna

Źródło: Our World in Data, Moore's Law: Transistors per microprocessor, <https://ourworldindata.org/grapher/transistors-per-microprocessor?time=1971..2017>.

Miniaturyzacja sprawiła, że komputery stały się mniejsze i tańsze. Pojawienie się procesora Intel 8008 przyczyniło się do powstania pierwszych mikrokomputerów (np. francuskiego Miracle), co w latach 70. zaowocowało fenomenem **komputerów osobistych** (*personal computers*, pecety, komputery biurkowe). W 1977 r. firma Apple Computers założona przez Steve'a Jobsa i Steve'a Wozniaka zaczęła sprzedawać model Apple II, który szybko zagościł nie tylko w biurach, ale i w domach Amerykanów. W odróżnieniu od wcześniej sprzedawanych komputerów domowych miał kolorowy wyświetlacz, klawiaturę i imponujące jak na tamte czasy 48KB pamięci RAM. Z kolei w 1981 r. na rynek wszedł pierwszy przenośny komputer Osborne 1 – wprawdzie nie miał baterii, ale ważył ok. 10 kg, więc można go było względnie swobodnie przenosić z miejsca na miejsce. Pierwsze komputery, które naprawdę można było trzymać na kolanach, pojawiły się pod koniec lat 80. Należał do nich np. Compaq LTE, za którego sprawą – jak pisała ówczesna prasa – „posługiwanie się komputerem w podróży stało się równie łatwe jak w biurze”¹⁹ (co ciekawe, ten kiedyś najlżejszy laptop jest nadal używany do serwisowania niegdyś najszybszego auta na świecie McLaren F1)²⁰. Kolejnym punktem zwrotnym w rozwoju komputerów osobistych okazał się pierwszy PowerBook, wypuszczony na rynek przez Apple w 1991 r. Ten model wyznaczył nowy standard projektowania laptopów.

Liczba komputerów rosła w nierównomiernym, ale niepowstrzymanym tempie. W 1955 r. na świecie było tylko 250 komputerów, dekadę później – 20 tys.²¹ Używało ich wojsko, uniwersytety i instytucje publiczne. W 1977 r. sprzedano 48 tys. komputerów osobistych, w 2001 r. – 125 mln. Łącznie między 1970 a 2014 r. sprzedano ok. 1 mld komputerów osobistych²². W krajach wysoko rozwiniętych komputer jest w niemal każdym gospodarstwie domowym²³.

Co ważne, komputery były kupowane nie tylko przez firmy i urzędy, ale i gospodarstwa domowe. Przyczyną był nie tylko mniejszy rozmiar i bardziej przystępna cena, ale przede wszystkim większa użyteczność, jaką zapewniał rozwój **oprogramowania** (software), oraz coraz bardziej przyjazne interfejsy użytkownika (np. myszka). Pierwsze komputery na użytek własny kupowali raczej zapaleni hobbysci: popularny w połowie lat 70. komputer-składak Altair nie miał klawiatury ani ekranu, obsługiwany był za pomocą przełączników, a rezultaty jego obliczeń pojawiały się pod postacią zapalających się lampek. Łatwiejszy w obsłudze stał się dopiero wtedy, gdy produkująca go firma zatrudniła dwóch studentów Harvardu – Paula Allena i Billa Gatesa, by dostosowali do jego potrzeb jeden z języków programowania. Zarobione w ten sposób pieniądze

¹⁹ P.H. Lewis, *Personal Computers; Compaq Does It Again*, „The New York Times” Archives 1989, <https://www.nytimes.com/1989/10/17/science/personal-computers-compaq-does-it-again.html>.

²⁰ J. Smoleńska, *20-letni komputer kluczem do najszybszego samochodu na świecie*, „Komputer Świat” 2016, <https://www.komputerswiat.pl/aktualnosci/sprzet/20-letni-komputer-kluczem-do-najszybszego-samochodu-na-swiecie/8em531y>.

²¹ E. Helpman, M. Trajtenberg, *Diffusion of General Purpose Technologies*, [w:] *General Purpose Technologies and Economic Growth*, red. E. Helpman, The MIT Press, Cambridge 1998.

²² M. Kannelos, *PCs: More than 1 billion served*, CNET 2009, <https://www.cnet.com/news/pcs-more-than-1-billion-served/>.

²³ OECD, *Access to computers from home*, <https://data.oecd.org/ict/access-to-computers-from-home.htm>.

Gates i Allen wykorzystali do założenia własnej firmy, którą nazwali Micro-Soft (taka była jej pierwsza historyczna nazwa). W 1981 r. ich firma przedstawiła system operacyjny MS-DOS, który błyskawicznie zdobył popularność i stał się bazą dla późniejszego systemu Windows. Równolegle Jobs i Wozniak zachęcili programistów do tworzenia aplikacji na Apple – jedną z najbardziej użytecznych okazał się arkusz kalkulacyjny VisiCalc, opracowany w 1978 r.²⁴ Niemalą atrakcją komputerów domowych okazały się gry, ale prawdziwy wybuch popularności komputerów nastąpił dopiero wraz z rozwojem internetu i globalnej sieci WWW (*World Wide Web*).

INTERNET

W zasadzie internet został wymyślony na początku lat 60. XX w. przez wizjonerskiego psychologa i informatyka z MIT, Josepha C.R. Licklida. W artykule *On-line man-computer communication* z 1962 r. Lick, jak nazywali go wielbiciele, opisał zasady funkcjonowania rozbudowanej sieci komputerów wymieniających się danymi i programami, o globalnym zasięgu, umożliwiającej komunikację na odległość²⁵. Był właściwym człowiekiem na właściwym miejscu – pracował już wówczas w podległej Pentagonowi Agencji Badań Zaawansowanych (Advanced Research Projects Agency, ARPA), a jego pomysły niosły obietnicę rozwiązania problemu spędzającego wojskowym sen z powiek. Systemy obrony były zbudowane promieniście wokół jednego głównego komputera. Jego likwidacja – np. w wyniku wyprzedzającego uderzenia atomowego ze strony ZSRR (a przypomnijmy, że jesienią 1962 r. w trakcie kryzysu kubańskiego świat przez 13 dni balansował na granicy konfliktu nuklearnego) – unicestwiała cały system. Rozwiązaniem było stworzenie sieci równolegle podłączonych urzędów, komunikujących się na zasadzie komutacji pakietów (*packet switching*), czyli dzielenia strumienia danych na mniejsze części i następnie przesyłania ich za pośrednictwem łączy telekomunikacyjnych między węzłami sieci.

Niektórzy twierdzą, że wojskowa geneza powstania internetu to tylko mit, a jego rozwój wynikał po prostu z faktu, że naukowcy pracujący na potężnych niemobilnych komputerach potrzebowali jakiegoś sposobu na wymienianie się danymi²⁶. W 1969 r. naukowcy z Uniwersytetu Kalifornijskiego (The University of California, Los Angeles, UCLA) podjęli próbę zalogowania się na komputer znajdujący się na oddalonym o 600 km Uniwersytecie Stanforda i przesłania danych pod postacią jednego słowa „login”. Rozentuzjazzmowani naukowcy komentowali przez telefon pojawianie się kolejnych liter na ekranie, ale po wpisaniu „G” system się zawiesił – przesłanie całego wyrazu udało się godzinę później²⁷. Wydarzenie to było początkiem internetowej rewolucji. Wkrótce do ARPANET-u (Advanced Research Projects Agency Network)

²⁴ Computer History Museum, *The Origins and Impact of VisiCalc*, <https://www.youtube.com/watch?v=nXt82D7HO9o>.

²⁵ J.C.R. Licklider, W.E. Clark, *On-line man-computer communication*, „Proceedings of the May 1–3, 1962, Spring Joint Computer Conference”, ACM, New York 1962, s. 113–128.

²⁶ O. Burkeman, *Forty years of the internet: how the world changed for ever*, „The Guardian” 2009, <https://www.theguardian.com/technology/2009/oct/23/internet-40-history-arpnet>.

²⁷ Tamże.

podłączyły się również Uniwersytet Kalifornijski w Santa Barbara i Uniwersytet Utah. W latach 70. do projektu dołączały kolejne ośrodki akademickie, jednak rozwój sieci nadal toczył się pod ścisłym nadzorem Pentagonu.

Równolegle nad swoimi sieciami i rozwiązaniami technologicznymi pracowały inne ośrodki: brytyjski National Physics Laboratory (NPL network), Uniwersytet Hawajski (ALOHAnet), Michigan Educational Research Information Triad (Merit Network), francuskie CYCLADES, Tymnet i Telenet oraz inne. Każdy z nich pracował na innych protokołach sieciowych – dalsza ekspansja sieci wymagała powstania standardowego systemu przesyłu danych.

Umówienie, by komputery ze sobą rozmawiały, czyli połączenie ich w sieć – tzw. networking – było wystarczająco trudne. Ale doprowadzenie do sytuacji, w której rozmawiają ze sobą całe sieci, czyli internetworking, tworzyło zupełnie nowy poziom trudności, ponieważ sieci mówiły obcymi, niekompatybilnymi dialektami. Próba przesłania danych z jednej do drugiej przypominała pisanie listu po chińsku do kogoś, kto zna tylko węgierski, licząc, że jakimś cudem uda się dogadać²⁸.

Rozwiązaniem stał się model o warstwowej strukturze o nazwie TCP (*Transmission Control Program*) opracowany w 1973 r. przez Roberta Kahna z ARPANET-u i Vintona Cerfa ze Stanford University. Zapewniał on niezależność od platformy oraz możliwość dodawania nowych sieci bez przerywania pracy istniejących. W ciągu dekad TCP/IP (dodane zostało *Internet Protocol* jako warstwa bezpołączeniowa, a słowo *Program* zamieniono na *Protocol*) zastąpił wszystkie wcześniejsze protokoły w ARPANET.

W 1981 r. amerykańska Narodowa Fundacja na Rzecz Nauki wsparła rozwój sieci obejmującej regionalne kampusy uniwersyteckie, połączonej z ARPANET-em, która ostatecznie przekształciła się w NSFNET (National Science Foundation Network). NSFNET służyła jako szkielet dla sieci w USA do czasu pojawienia się prywatnych dostawców usług internetowych. Wtedy właśnie do powszechnego użycia weszło określenie „internet” jako skrót od terminu „internetworking”, opisującego współpracę między sieciami umożliwiającą przez zastosowanie protokołu TCP/IP. Zainteresowanie siecią i jej możliwymi zastosowaniami rośnie błyskawicznie. W połowie lat 80. własną sieć zbudowała NASA: łączyła ona 20 tys. naukowców z całego świata i stanowiła pierwszy prawdziwy przykład sieci rozległej (Wide Area Network, WAN). Między 1984 a 1988 r. Europejska Organizacja Badań Jądrowych CERN rozpoczęła wdrażanie protokołu TCP/IP do swojej sieci, CERNET. Równolegle sieci oparte na TCP/IP zaczęły rozwijać się w Australii i Azji. Pierwsza, trwająca minutę transmisja internetowa z Polski, połączyła Instytut Fizyki UW i Centrum Komputerowe na Uniwersytecie Kopenhaskim w 1990 r.

Pierwsze firmy oferujące dostawę usług internetowych (Internet Service Providers, ISP) zaczęły pojawiać się na początku lat 80., jednak wykorzystanie sieci na użytek komercyjny rozwinęło się dopiero po przegłosowaniu w 1991 r. w amerykańskim Kongresie ustawy zezwalającej sieci NSFNET na łączenie się z innymi sieciami komercyjnymi.

²⁸ B. Tarnoff, *How the internet was invented*, „The Guardian” 2016, <https://www.theguardian.com/technology/2016/jul/15/how-the-internet-was-invented-1976-arpa-kahn-cerf>.