

Ed Conway

Skarby Ziemi

Sześć surowców, które zdecydują
o przetrwaniu naszej cywilizacji



Ed Conway
Skarby Ziemi. Sześć surowców,
które zadecydują o przetrwaniu naszej cywilizacji

z angielskiego przełożył Adam Olesiejuk

Tytuł oryginału: *Material World. A Substantial Story of Our Past and Future*

Copyright © Ed Conway, 2023

First published as MATERIAL WORLD in 2023 by WH Allen, an imprint of Ebury Publishing. Ebury Publishing is part of the Penguin Random House group of companies.

Copyright © for this edition by Wydawnictwo Otwarte 2024

Copyright © for the translation by Adam Olesiejuk

Wydawca prowadzący: Rafał Czech

Przyjęcie tłumaczenia: Iwona Dziemidowicz

Wnętrze – projekt graficzny serii: Wydawnictwo Otwarte

Adiustacja, korekta i łamanie: Pracownia 12A

Projekt okładki: Monika Drobnik-Słocińska

Fotografia na okładce: rawintanpin / iStock by Getty Images

ISBN 978-83-8135-369-4



SZCZELINY

Zajrzyj do Szczelin!

szczeliny.pl

facebook.com/szczeliny

instagram.com/szczeliny

Dystrybucja: SIW Znak. Zapraszamy na www.znak.com.pl

Wydawnictwo Otwarte sp. z o.o., ul. Smolki 5/302, 30-513 Kraków.

Wydanie I, 2024. Druk: Alkor

Dla Elizy

Wstęp

Stałem na skraju przepaści, wpatrując się w najgłębszy dół, jaki w życiu widziałem. Na dnie przebywała grupa ludzi w kaskach ochronnych, a przynajmniej tak mi powiedziano: byli o wiele za daleko, żeby dało się ich dostrzec gołym okiem. W ziemi wokół nich tkwiły setki kilogramów materiałów wybuchowych. Ponoć wystarczyłoby tego, żeby wyburzyć całą ulicę.

Przed sobą miałem metalowy panel z dwoma przyciskami, a obok stał mężczyzna z krótkofalówką. Słuchaliśmy sygnału z centrum dowodzenia, gdzie ktoś odliczał na głos. Wcześniej poinstruowano mnie, żebym wcisnął dwa przyciski jednocześnie, gdy tylko odliczanie dojdzie do zera. Impuls z detonatora w ułamku sekundy dotrze na dno jamy, a wówczas kwadratowy kawałek stanu Nevada rozmiaru boiska futbolowego wyparuje na naszych oczach.

„Najpierw poczujesz falę uderzeniową”, powiedział mężczyzna z krótkofalówką. „Potem zobaczysz, jak ziemia się podnosi, i dopiero wtedy usłyszysz eksplozję. W tej kolejności. Trochę dziwne wrażenie”.

Nie przyjechałem na środek pustyni, żeby odpalić bombę. Przyjechałem z powodu arkusza kalkulacyjnego. Kilka miesięcy wcześniej, gdy przeglądałem dane dotyczące relacji handlowych Wielkiej Brytanii, zauważyłem coś dziwnego: statystyki zniekształcał przepływ złota, wypaczając tym samym nasz całościowy obraz

gospodarki tego kraju. Złoto, jak się okazało, chwilowo przegoniło samochody i środki farmaceutyczne jako główny brytyjski towar eksportowy. Ponieważ Wielka Brytania nie ma własnego przemysłu wydobywania złota, wydało mi się to co najmniej zagadkowe. W jaki sposób państwo nieposiadające znaczących rezerw złota stało się jednym z jego największych dostawców? Na tyle, na ile byłem w stanie się w tym połapać, częściowo wynikało to z tego, że większość fizycznych zapasów światowego złota w drodze do swojego celu przechodzi przez Londyn. Aby rozwikłać tę tajemnicę, wybrałem się w podróż do miejsca, gdzie faktycznie wydobywa się ten cenny kruszec, żeby prześledzić całą jego drogę z ziemi do rafinerii, a stamtąd, pod postacią sztabek, do różnych części świata. Ale gdy rozpoczynaliśmy zdjęcia do filmu, zdałem sobie sprawę, że wylania się z tego jeszcze bardziej intrygująca opowieść, która może nam sporo powiedzieć o relacji ludzkości z naszą planetą.

Moja producentka przez kilka miesięcy przekonywała firmę wydobywczą Barrick Gold Corporation, żeby otworzyła przed nami swoje drzwi. Podróż z Londynu zajęła nam kilka dni. Kopalnia Cortez nie należy do miejsc, do których trafia się niechęć. W naszym przypadku potrzebne były dwa połączenia lotnicze i czterogodzinna jazda samochodem przez pustynię solną w Utah, a potem jeszcze dwie godziny w aucie z ludźmi z Barrick. Najpierw była autostrada, prawie pusta, jeśli nie liczyć paru ciężarówek, potem długa droga przez pustynię, potem kręta trasa gruntowa, prowadząca do podłużnej, suchej, niezamieszkałej doliny. Byliśmy w krainie kowbojów.

Sama kopalnia mieści się na zboczach wzgórza o nazwie Mont Tenabo, które jest świętym miejscem dla rdzennej ludności Szoszonów Zachodnich. Proces wydobywczy jest stosunkowo prosty i powiela techniki wykorzystywane przez poszukiwaczy złota jeszcze w XIX wieku, tyle że na gigantyczną skalę. Materiałami wybuchowymi wysadza się z ziemi skały, które następnie

kruszy się na drobny pył, a potem miesza z roztworem cyjanku, aby wyodrębnić złoto.

Zawiera się w tym sama istota eksploatacji surowców naturalnych w XXI wieku: redukcja ogromnych skał do małych drobinek i przetwarzanie pozostałości za pomocą środków chemicznych. Jest to jednocześnie imponujące i niepokojące. Istnieje bowiem ryzyko, że cyjanek i rtęć używane w tej metodzie mogą przeniknąć do okolicznego ekosystemu. I podczas gdy wydobywcy tacy jak Barrick twierdzą, że przestrzegają wszystkich przepisów ustalonych przez amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (EPA), aktywiści wciąż ostrzegają, że często z kopalni wydostają się groźne zanieczyszczenia. I rzeczywiście, kilka lat temu Barrick oraz inna firma z tego regionu musiały zapłacić grzywnę w wysokości 618 tysięcy dolarów za to, że nie zgłosiły emisji toksycznych substancji chemicznych, w tym cyjanku, ołowiu i rtęci. Ale gdy tak obserwowałem kolejne etapy tego procesu, najbardziej uderzyło mnie co innego: to, jak daleko jesteśmy dziś gotowi się posunąć, żeby zdobyć mały okruch błyszczącego metalu.

Przed wszystkim skala całego przedsięwzięcia ledwie mieściła się w głowie. Stojąc na skraju jamy, widziałem znajdujące się na dole ciężarówki, ale dopiero kiedy wyjechały na powierzchnię, zdałem sobie sprawę, że są większe od dwupiętrowych budynków; same opony były rozmiaru piętrowego autobusu. Ile ziemi trzeba wykopać, żeby uzyskać jedną sztabkę złota? Zapytałem o to swoich przewodników. Nie umieli odpowiedzieć, za to wiedzieli, że w ciągu jednego dnia pracy te ciężarówki przenosiły w sumie tyle skał, ile waży Empire State Building. Później sam dokonałem obliczeń. Do uzyskania standardowej sztabki złota o wadze 400 uncji trojańskich (około 12,5 kilograma) trzeba przekopać około 5000 ton ziemi. To prawie tyle, ile waży dziesięć w pełni wyladowanych airbusów A380 super jumbo, największych pasażerskich samolotów na świecie. Dla jednej sztabki złota.

Być może wiedzieliście już, że w ten sposób wydobywa się dziś złoto – że nie wykopuje się go z ziemi w grudkach ani nie odkrywa bogatych żył przygotowanych przez matkę naturę. Być może wiedzieliście, że robi się to za pomocą reakcji chemicznej z wykorzystaniem jednego z najbardziej toksycznych koktajli znanych ludzkości, że metal ten wydobywa się nie tyle poprzez kopanie w ziemi, co przez obalanie całych gór. Może byłem naiwny, ale przyznaję, że ja nie zdawałem sobie z tego do końca sprawy.

Gdy tak patrzyłem w dół, obserwując ciężarówki wielkości budynków i górników biegających naokoło jak mrówki, zacząłem się czuć trochę nieswojo. Nie chodziło jedynie o rozgrywającą się na moich oczach scenę. Zacząłem myśleć o tym, co miałem na palcu.

Kilka miesięcy wcześniej wziąłem ślub. Moja żona i ja stanęliśmy przed naszymi rodzinami i przyjaciółmi, żeby na znak miłości wymienić się złotymi obrączkami. Teraz, gdy obok w krótkofalówce trwało odliczanie, dotknąłem swojej obrączki i popadłem w zadumę. Najprawdopodobniej to złoto również zostało wydobyte z ziemi przy użyciu dokładnie tych samych metod. Dlaczego nie sprawdziłem jego pochodzenia? Specjalnie upewniłem się przecież, że diamenty w pierścionku zaręczynowym mojej żony nie pochodziły z żadnej strefy objętej konfliktem, więc dlaczego nie pomyślałem o tym, by sprawdzić, jaki był koszt, ludzki i ekologiczny, pozyskania złota na nasze obrączki? Później dowiedziałem się, że dawniej do wyprodukowania standardowej ślubnej obrączki wystarczyło około 0,3 tony rudy, wydobytej bardziej tradycyjnymi metodami, ale w dzisiejszych czasach potrzeba 4–20 ton skał. Stojąc przed detonatorem, czułem się jak ktoś, kto właśnie najadł się na śniadanie kielbasy, a potem zaprowadzono go na wycieczkę po ubojni.

Do tego dochodziła kwestia samej góry. Jar, nad którym stałem, nie znajdował się gdzieś nieopodal Mount Tenabo. To właśnie było Mount Tenabo. Kopalnia została dosłownie wyżłobiona w zboczu. Po drugiej stronie rozkopu byłem w stanie rozróżnić

poszczególne warstwy różnobarwnych skał tworzących wnętrze tej góry. Nie wierzę w wodnych bogów, których czczą rdzenne plemiona Szoszonów Zachodnich, ale i tak trudno było nie odnieść wrażenia, że dzieje się tu coś poważnego, że jest coś brutalnego w ściąganiu skóry z tego terenu i zagładaniu pod powierzchnią.

Odliczanie trwało, a ja odwróciłem się i posłałem rozpaczliwe spojrzenie swojej producentce. „Może ty chcesz czynić honory?”

Zerknęła na mnie z niedowierzeniem, po czym zajęła moje miejsce. Z zawstydzoną miną zrobiłem krok w tył i patrzyłem.

Odliczanie doszło do zera. „Cortez Hills, odpalamy”, powiedział do krótkofalówki mężczyzna obok i wskazał na przyciski. Moja producentka wcisnęła oba. Nastąpiła chwila przerwy, trwająca może sekundę. A potem uderzyła w nas fala ciśnienia – nic dramatycznego, coś jak nagły podmuch wiatru. Grunt zatrzęsł się pod nogami, a na dole, setki metrów pod nami, ziemia zmieniła się w ciecz. Siła eksplozji rozeszła się po dnie kopalni, wyrzucając w powietrze kłęby piachu i dymu. Dopiero wtedy usłyszeliśmy dudniący huk, który odbijał się echem w całej dolinie jeszczce przez dobrych kilka minut.

Ekonomista John Maynard Keynes określił kiedyś złoto mianem „barbarzyńskiego reliktu”, albowiem choć może i wygląda ładnie w naszyjniku albo wewnątrz sarkofagu, tak naprawdę nie ma zbyt wielu zastosowań.

Rzecz jasna posiada wielką wartość – inaczej nikt by nie wysadzał całej góry dla kilku sztabek. Ale zastanówmy się przez chwilę, do czego tak naprawdę służy złoto. Odgrywa ważną, choć raczej niszową, rolę w elektronice i chemii, ale to tłumaczy mniej niż jedną dziesiątą współczesnego zapotrzebowania na ten kruszec. Jego główne zastosowanie ogranicza się do branży jubilerskiej i zdobniczej, cenią je również ci, którzy obawiają się katastrofy gospodarczej. Część złota, którego wydobywanie obserwowałem w Nevadzie, jest teraz zapewne na czyimś palcu serdecznym.

Albo równie dobrze znowu mogło trafić pod ziemię, tym razem jako sztabka w skarbcu jakiegoś banku. Choć dla jubilerów i nerwowych inwestorów zabrzmiałoby to może jak herezja, świat raczej nie stanąłby w miejscu, a nasza cywilizacja nie przestałaby funkcjonować, gdyby pewnego dnia nagle skończyło się nam złoto¹.

Dlatego też po powrocie z Nevady wciąż wracałem myślami do kilku pytań. Jeśli aż tyle wysiłku trzeba do wydobycia metalu, bez którego w znacznej mierze moglibyśmy się obyć, to ile kosztuje nas pozyskiwanie materiałów, których faktycznie potrzebujemy? A skoro już o tym mowa, od jakich właściwie surowców naprawdę zależy nasze życie? Bez których fizycznych składników świata nasza cywilizacja istotnie przestałaby funkcjonować i skąd się one tak naprawdę biorą?

Miałem przecucie, że na tej liście na pewno musiałyby się znaleźć stal. Większość budynków i samochodów – nie wspominając o maszynach, dzięki którym budujemy wszystko inne – konstruuje się właśnie z tego stopu żelaza, węgla i kilku innych kluczowych pierwiastków. Nie byłibyśmy też w stanie tworzyć nowoczesnych przestrzeni bez betonu. Niezastąpiona jest z pewnością miedź, stanowiąca podstawę sieci elektrycznych, od których jesteśmy w pełni zależni. Ponieważ w zakresie energii wciąż opieramy się w tak wielkim stopniu na paliwach kopalnych, one także kwalifikowałyby się chyba jako surowce niezbędne – choć może należałoby również wziąć pod uwagę coś takiego jak lit, pierwiastek stanowiący serce akumulatorów, których będziemy potrzebowali w przyszłości. Ale w jaki sposób zmierzyć naszą zależność od tych wszystkich materiałów? I czy ich pozyskiwanie nieuchronnie wiąże się z tym samym poziomem destrukcji, jaki zaobserwowałem w kopalni Cortez?

Ekonomia, dziedzina, w której obracam się przez większość zawodowego życia, zdawała się oferować niewiele rozstrzygających odpowiedzi na podobne pytania. Standardowe wyjaśnienie brzmi, że wartość każdej rzeczy wyznacza to, ile ktoś jest gotowy za nią zapłacić. Jeśli czegoś zaczyna brakować, ogranicza

się zużycie, ludzie znajdują dogodny substytut (o ile takowy istnieje) i życie toczy się dalej. Koniec tematu.

A jednak takie postawienie sprawy nie współgra zbyt z rzeczywistością, ponieważ te kwestie wciąż mają znaczenie. Choć powtarza się nam, że żyjemy w coraz bardziej zdematerializowanym świecie, gdzie na wartości stale zyskują dobra nienamacalne – aplikacje, sieci czy usługi internetowe – świat fizyczny w dalszym ciągu stanowi fundament wszystkiego innego. Nie jest to specjalnie widoczne, gdy spojrzeć na bilans naszej współczesnej gospodarki, który pokazuje na przykład, że 4 z każdych 5 dolarów generowanych w USA pochodzi z sektora usług, a coraz mniejszy procent środków z sektora energetycznego, górniczego i produkcyjnego. Ale praktycznie wszystko: od sieci społecznościowych po handel i usługi finansowe, zależy całkowicie od umożliwiającej to fizycznej infrastruktury oraz napędzającej ją energii. Bez betonu, miedzi i światłowodów nie byłoby centrów przetwarzania danych, nie byłoby elektryczności, nie byłoby internetu. Pozwolę sobie stwierdzić, że świat by się nie skończył, gdyby zniemacka przestał istnieć Twitter czy Instagram. Ale gdyby nagle zabrakło nam stali albo gazu ziemnego – to już całkiem inna historia.

Wszyscy instynktownie zdajemy sobie z tego sprawę. Szczególnie zaś staje się to jaskrawe w okresach wojny, kryzysu czy zapaści finansowej. A mimo to z punktu widzenia arcyważnych statystyk, jak produkt krajowy brutto (PKB), każdy dolar jest wart tyle samo, czy wydaje się go na Facebooka, czy na jedzenie. Jest w tym jakaś logika i elegancja, ale nie była to odpowiedź, której szukałem. Dobrze jest znać cenę tego czy owego, ale cena nie jest równoznaczna z prawdziwą wartością.

Ta książka rozpoczęła żywot jako próba zaleźnienia odpowiedzi na te pytania – medytacja nie tyle nad wartością rynkową rozmaitych substancji, co nad naszą od nich zależnością. Ale w miarę jak zapuszczałem się głębiej, poza swoją strefę komfortu konwencjonalnej ekonomii, przekształciła się w coś innego: w opowieść

pełną zachwyty. Albowiem im więcej dowiadywałem się na temat tych surowców – pospolitych, prozaicznych i często, owszem, zwyczajnie tanich – tym bardziej magiczne mi się wydawały.

Weźmy na przykład coś tak prostego jak ziarno piasku. W skorupie ziemskiej żaden pierwiastek (z wyjątkiem tlenu) nie występuje bardziej powszechnie niż główny składnik piasku: krzem. Ale wystarczy klęknąć i przyjrzeć się, co siedzi w ziemi, żeby przekonać się, że zanurzamy się w złożony i różnorodny wszechświat. Są szorstkie, kanciaste ziarna piasku, idealne do celów budowlanych. Jest morski piasek leżący na dnie, dopóki nie zostanie wydobyty na powierzchnię i zmieniony w nowy fragment łądu. Są piaski pustyni, tak wysmagane przez wiatr, że gdy obejrzeć je pod mikroskopem, przypominają stos szklanych kulek – krawędzie ziaren zostały bowiem zaokrąglone przez tysiące lat erozji. Jest wreszcie piasek pozostawiony przez pradawne tropikalne oceany, tak czysty, że handluje się nim w różnych częściach świata.

Zmieszajmy piasek i drobne kamyki z cementem, dodajmy trochę wody i uzyskamy beton, będący całkiem dosłownie fundamentem współczesnych miast. Dodajmy go do żwiru i bituminu i mamy asfalt, z którego zrobiona jest większość naszych dróg – a dokładniej te, które nie są z betonu. Bez krzemu nie byłibyśmy w stanie stworzyć czipów komputerowych, na których opiera się dzisiejszy świat. Gdy stopić piasek w odpowiednio wysokiej temperaturze i z odpowiednimi dodatkami, powstaje szkło. Szkło – zwykle proste szkło – stanowi, jak się okazuje, jedną z największych tajemnic inżynierii materiałowej: nie jest ani cieczą, ani ciałem stałym, i wciąż do końca nie rozumiemy jego struktury atomowej. A szkło w przedniej szybie naszego samochodu to dopiero początek; gdy zostanie splecione we włókna i połączone z żywicą, zmienia się we włókno szklane, substancję służącą do wytwarzania łopat turbin wiatrowych. W procesie wytrawienia i wzbogacenia powstają rurki tworzące światłowód, z którego utkany jest internet. Dodajmy do mieszanki lit i otrzymamy mocne,

wytrzymałe szkło; dodajmy bor i powstanie coś, co nazywamy szkłem borokrzemowym.

Zapewne mieliście już do czynienia ze szkłem borokrzemowym, przypuszczalnie pod nazwą towarową Pyrex, nadaną mu przez producenta, firmę Corning. Trwałe, przejrzyste i solidne, zdolne wytrzymać szeroki zakres temperatur, od otwartego płomienia palnika Bunsena po przesywające zimno przestrzeni kosmicznej, szkło borokrzemowe jest jednym z cichych bohaterów epoki współczesnej. W przeciwieństwie do zwykłego szkła, z którego w kontakcie z silnymi środkami chemicznymi mogą przenikać do cieczy drobne cząsteczki, szkło borokrzemowe pozostaje chemicznie obojętne, co czyni je doskonałym materiałem do produkcji fiolek, probówek i zlewek laboratoryjnych. Jedno, co łączy niemal wszystkie lekarstwa i szczepionki w historii świata – w tym i szczepionki na COVID-19 – to to, że wytwarzano je, przechowywano i transportowano w pojemnikach ze szkła borokrzemowego.

Zwykle nie zwracamy jednak zbytnej uwagi na tego typu rzeczy, dopóki nie zaczniesz ich brakować. Tak było z pewnością ze szkłem borokrzemowym – zainteresowanie nim gwałtownie wzrosło w następstwie pandemii COVID, gdy pojawiły się obawy, że głównym czynnikiem hamującym dystrybucję szczepionek może być dostępność nie tyle samych preparatów, co pojemników służących do ich transportu. Wówczas udało się uniknąć katastrofy dzięki tysiącom pracowników i rozbudowanemu łańcuchowi dostaw, rozciągającemu się od kopalni przez rafinerie po fabryki. Corning wprowadziło nawet na rynek całkiem nowy rodzaj szkła, zamiast boru zawierający aluminium, wapń i magnez, żeby zaspokoić zapotrzebowanie na medyczne fiołki.

Inne sektory nie miały tyle szczęścia. W pandemii i tuż po niej zdarzały się niedobory maseczek, gazików i odczynników diagnostycznych, niedobory cementu i stali, drewna i papieru toaletowego, gazów przemysłowych i środków chemicznych, niedobory mięsa, musztardy, jaj i produktów mlecznych. Tak bardzo

brakowało układów scalonych na bazie krzemu – półprzewodników – że producenci samochodów na całym świecie musieli zamknąć fabryki. Producenci komputerów i smartfonów nie byli w stanie zrealizować zamówień. Nowa generacja konsol do gier jeszcze rok po premierze wciąż pozostawała trudno dostępna. Niedobory te udało się opanować dopiero po mniej więcej dwóch latach.

Najzabawniejsze w tym załamaniu łańcucha dostaw było to, że rządy państw wydawały się taką sytuacją kompletnie zaskoczone. Ludzie sprawujący władzę dziwili się, że brakuje półprzewodników, że w samochodach potrzeba ich aż tyle i że niedobór nowych pojazdów wywinduje ceny używanych samochodów na rekordowy poziom.

Rząd Wielkiej Brytanii był tak samo zdumiony, kiedy pod koniec 2021 roku nagle zabrakło dwutlenku węgla i okazało się, że jest on potrzebny w przemyśle spożywczym nie tylko do wytwarzania napojów gazowanych, ale także do konserwowania i przechowywania produktów żywnościowych, jak również do ogłuszania świń i kurczaków przed ubojem. Wszystko to wiązało się bezpośrednio z nagłym zamknięciem dwóch fabryk nawozów w Cheshire i Teesside. Jak się okazało, większość brytyjskich zasobów dwutlenku węgla pochodziła z tych dwóch zakładów, których głównym celem była produkcja czegoś zupełnie innego: amoniaku. A ponieważ ceny gazu ziemnego poszły w górę, a amoniak – jak przekonamy się w kolejnych rozdziałach – produkuje się z gazu ziemnego, wzrost cen jednego produktu spowodował nagły deficyt drugiej, na pozór niepowiązanej substancji.

Ale czy to naprawdę powinna być aż taka niespodzianka? Za wskazówkę niech posłuży słynny esej napisany w 1958 roku przez amerykańskiego ekonomistę Leonarda Reada, zatytułowany *Ja, ołówek*. Zaczyna się od słów: „Jestem grafitowym ołówkiem, zwykłym drewnianym ołówkiem znanym wszystkim chłopcom, dziewczynkom i dorosłym, którzy umieją czytać i pisać”. A jednak,

kontynuuje Read, czy raczej ołówek: „nie ma na całym tym świecie jednej osoby, która potrafi mnie stworzyć”^{2*}.

Drewno w naszym ołówku pochodzi z cedrów rosnących w zachodniej części Ameryki Północnej, ścinanych stałą wytworzoną w wielkich piecach i wykończoną w specjalnych zakładach. Tnie się je na listewki, suszy, barwi i ponownie suszy, w listewkach łączy się rowki i skleja ze sobą. Wkładem ołówka jest grafit wydobywany w kopalniach w Sri Lance, rafinowany i mieszany z gliną z Missisipi, z dodatkiem środków chemicznych uzyskiwanych ze zwierzęcego tłuszczu i kwasu siarkowego. Drewno i grafit pokrywa się lakierem na bazie oleju rycynowego, pozyskiwanego z rącznika pospolitego, do naniesienia oznaczeń używa się żywicy, a koniec wykańcza mosiądzem zrobionym z miedzi i cynku, które wydobywa się po drugiej stronie świata. Gumka powstaje z oleju rzepakowego z Indonezji, do którego po drodze dodaje się szereg środków chemicznych, od chlorku siarki po siarczki kadmu.

Wszystko to, żeby wyprodukować coś tak prostego jak ołówek. I tak od wykonawców wytwarzających kolejne składniki przez osoby transportujące poszczególne części po personel elektrowni dostarczających energię, by zasilić cały ten proces, „miliony ludzi” miały swój udział w stworzeniu ołówka Reada, „z których żaden nie wie więcej od garstki pozostałych”.

Płyń ślad kilka bardzo prostych lekcji. Po pierwsze: jak mało rozumiemy faktyczne procesy powstawania przedmiotów codziennego użytku. Po drugie: zważywszy na stopień złożoności, nie istnieje osoba, która byłaby w stanie w pojedynkę przeprowadzić te wszystkie procesy ani nawet nimi zawiadywać. Z oczywistych powodów esej *Ja, ołówek*, napisany w szczytowym momencie zimnej wojny, kładł największy nacisk na drugą z tych lekcji. Tekst Reada zdobył uznanie wolnorynkowego ekonomisty Miltona Freedmana

* Jeśli nie zaznaczono inaczej, cytaty w książce zostały przetłumaczone przez Adama Olesiejuka (przyp. red.).

jako dobra ilustracja tego, dlaczego jego sowieccy odpowiednicy są w błędzie, próbując zarządzać gospodarką poprzez komitety centralnego planowania.

Tymczasem, gdy zastanawiałem się nad załamaniem w łańcuchach dostaw w XXI wieku, uderzyło mnie, że powinniśmy byli wziąć sobie do serca również pierwszą z tych lekcji. Z pewnością, gdybyśmy trochę częściej myśleli o tym, skąd się biorą produkty, na których tak bardzo polegamy, nie byłibyśmy tak zdziwieni, gdy zaczyna ich brakować. Dzięki esejowi Reada miliony studentów ekonomii wiedzą dziś, jak wygląda proces wytwarzania ołówka, ale co ze smartfonem, szczepionką albo akumulatorem? Co z łańcuchem dostaw kryjącym się za dwutlenkiem węgla albo szkłem borokrzemowym?

Te sieci ludzi i fachowej wiedzy, zmieniające surowce w zaawansowane produkty oraz dostarczające je do naszych rąk, są obok samych substancji drugą gwiazdą tej książki. Na kolejnych stronach znajdziecie celebrację tego, w jaki sposób ludzie, którzy w większości się nie znają, potrafią ze sobą współpracować w celu przekształcania pozornie mało obiecujących, pasywnych surowców w przedmioty budzące podziw. A jak się przekonałem, mało który łańcuch dostaw jest równie imponujący jak ten wytwarzający krzemowe czipy.

Na długo przed niedoborem czipów podjąłem próbę opowiedzenia historii ziarna krzemu, od kamieniołomu aż po odlewnię półprzewodników i linię produkcyjną, na której staje się częścią smartfona. Wkrótce zdałem sobie sprawę, że podobnie jak w przypadku ołówka Reada nie ma jednej osoby, nawet pracującej przy samym łańcuchu dostaw, która potrafiłaby w pełni wytłumaczyć mi procesy – nawet te najprostsze – zachodzące na każdym etapie tej podróży. Pracownicy odlewni wiedzieli mnóstwo na temat fotolitografii i ścierania chemicznego, ale niewiele o tym, jak właściwie powstają ultraczyste wafle krzemowe, na których pracowali. Nikt w kamieniołomie, gdzie wykopuje się z ziemi kwarcyt (czipy, jak się okazuje, rozpoczynają żywot nie jako ziarna piasku, lecz

kamienne grudy wielkości pięści), nie znalazł się zbyt na tym, do czego ten surowiec miał docelowo posłużyć.

Ale najbardziej uderzająca była niezwykła długość i dramaturgia tej podróży. Pomiędzy momentem, gdy zostaje wysadzone z ziemi w kamieniołomie, a tym, gdy trafia do wnętrza smartfona, nasze ziarno krzemu zdąży wielokrotnie przemierzyć cały świat. Zostanie podgrzane do temperatury przekraczającej 1000°, a potem schłodzone, i to nie raz czy dwa, ale aż trzy razy. Z bezkształtnej masy zmienia się w jedną z najczystszych krystalicznych struktur we wszechświecie. Potraktuje się je laserami zasilanymi przez rodzaj światła, którego nie widać i które nie wytrzymuje kontaktu z atmosferą. Proces przemiany krzemu w maleńki czip okazał się jedną z najbardziej zdumiewających podróży, jaką kiedykolwiek prześledziłem.

To jednak był dopiero początek. W ciągu kolejnych miesięcy zobaczyłem więcej kamieniołomów. Zauważyłem, że w parze czelustki najgłębszej kopalni w Europie. Widziałem, skąd bierze się sól i w jaki sposób przekształca się ją w środki chemiczne, bez których ciężko byłoby nam przeżyć. Widziałem, jak czerwona skała zmienia się w roztopiony metal, a potem powstaje z tego stal. Odwiedziłem robiące upiorne wrażenie zielone sadzawki, z których pozyskujemy lit, i podążałem śladem tej substancji, aż została zmieniona w pastę, zrolowana i wciśnięta w akumulator do samochodu elektrycznego. I im więcej podróżowałem, tym wyraźniej zdawałem sobie sprawę, że większość życia spędziłem w całkiem innym świecie, który zacząłem nazywać w myślach światem eterycznym.

Być może wy też tam mieszkacie – to naprawdę urocze miejsce, kraina idei. W świecie eterycznym sprzedajemy usługi, zarządzanie i administrowanie; budujemy aplikacje i strony internetowe; transferujemy pieniądze z jednej kolumny do drugiej; obracamy głownie myślami i poradami, fryzurami i dostawami żywności. Tu, w świecie eterycznym, fakt, że po drugiej stronie planety wyburza się całe góry, nie wydaje się specjalnie istotny.

Kiedy poleciałem do Nevady, żeby sfilmować wysadzenie w powietrze tamtej góry, tak naprawdę zamierzałem nakręcić wizualną metaforę, zmienić to, co fizyczne, w coś eterycznego: reportaż, który pomógłby ludziom nieco lepiej zrozumieć koncept przepływu handlowego. Jednakże stojąc na skraju tamtego jaru, uświadomiłem sobie, jak niebezpiecznie płytki był mój punkt widzenia. Nagle dotarło do mnie, że znad krawędzi jednego świata zaglądam do drugiego: świata surowców.

Świat surowców jest tym, co podpira nasze codzienne życie. Bez niego nasz pięknie zaprojektowany smartfon nigdy by się nie włączył, nasz nowiutki samochód elektryczny nie miałby akumulatora. Świat surowców nie zapewni ci wspaniałego domu, ale zagwarantuje, że twój dom się nie zawali. Dzięki niemu jest ci ciepło, jesteś czysty, najedzony i zdrowy, niezależnie od tego, jak mało zwracasz na niego uwagi.

Świat surowców to miejsce, gdzie znajdziecie najważniejsze firmy, o których nigdy nie słyszeliście, takie jak CATL, Wacker, Codelco, Shagang, TSMC i ASML. Te nazwy zapewne nic wam nie mówią, ale są równie istotne (a być może nawet bardziej) co słynne marki, które zna każdy, jak Walmart, Apple, Tesla czy Google. Albowiem najlepiej strzeżonym sekretem współczesnej gospodarki jest to, że te rozpoznawalne na całym globie marki są całkowicie zależne od mało znanych firm ze świata surowców – to dzięki nim powstają ich produkty, a błyskotliwe pomysły mogą się, cóż, materializować. To właśnie tam idee stają się namacalną rzeczywistością.

Dlaczego dzisiejsze megamarki tak chętnie zdają się na inne firmy w kwestii wykonywania prawdziwej pracy? Szczerze mówiąc, po części dlatego, że działanie w świecie surowców, gdzie trzeba kopać, wydobywać substancje i zmieniać je w fizyczne produkty, to nierzadko trudny, niebezpieczny i brudny biznes. W tej książce zobaczymy, jak daleko ludzkość w XXI wieku jest gotowa się posunąć, żeby zdobyć te materiały, nieważne, czy

chodzi o wykopanie dziury głębokiej jak kanion, czy przeczesywanie dna oceanu w poszukiwaniu bogatszych złóż metali niż te występujące na suchym lądzie.

I tu dochodzimy do być może najgroźniejszego z wszystkich mitów przenikających świat eteryczny – że my, ludzie, powoli odzwyczajamy się od fizycznych materiałów. Niektórzy ekonomiści wskazują na dane z USA i Wielkiej Brytanii, świadczące o tym, że konsumujemy coraz mniej surowców na każdego dolara czy funta dochodów, które generujemy. Chociaż przez większość ludzkiej historii nasza produkcja gospodarcza pokrywała się z eksploatacją zasobów naturalnych – i rzecz jasna ze zużyciem energii – w ostatnich dwóch dekadach te dwie krzywe oddaliły się od siebie: PKB nadal rósł, podczas gdy zużycie surowców utrzymywało się na stałym poziomie. Niektórzy widzą w tym żelazny dowód na to, że dostajemy „więcej za mniej”³.

To z pewnością atrakcyjna perspektywa – zwłaszcza gdy klimat robi się coraz cieplejszy i wszyscy rozglądają się za jakimiś dobrymi wieściami – ale ponieważ dopiero co patrzyłem, jak niszczy się świętą górę w celu zdobycia czegoś, czego tak właściwie nie potrzebujemy, zrobiłem się odrobinę sceptyczny. Czy możliwe jest, zastanawiałem się, że w istocie po prostu wyekspediowaliśmy cały ten brudny biznes w inne miejsce, tam, gdzie nie musimy już o tym myśleć? Mówiąc krótko, do świata surowców?

Pogrzebałem trochę i odkryłem, że wprawdzie konsumpcja zasobów faktycznie spada w krajach postindustrialnych, jak USA i Wielka Brytania, ale na drugim końcu świata, w krajach, z których Amerykanie i Brytyjczycy importują większość swoich towarów, rośnie w zastraszającym tempie. Kopalnie złota w Nevadzie to doprawdy drobnostka. Jesteśmy gotowi zapłacić znacznie większą cenę za to, by móc wyrwać z ziemi miedź i ropę, żelazo i kobalt, mangan i lit. Wykopujemy piasek, skały, sól, kamień. I robimy to w niesamowitym tempie. Ta gałąź naszej działalności nie

staje się coraz mniej ważna, tylko coraz ważniejsza. Najbardziej aktualny przykład odnosi się do wspomnianych już zmian klimatycznych. Za głęboko ironiczny można uznać fakt, że osiągnięcie rozmaitych celów z zakresu ochrony środowiska, jakie sobie dziś stawiamy, będzie na krótką i nieco dłuższą metę wymagało znacznej ilości surowców – potrzebujemy ich do zbudowania elektrycznych samochodów, turbin wiatrowych i paneli słonecznych, niezbędnych do zastąpienia paliw kopalnych. W ostatecznym rozrachunku w ciągu najbliższych dekad będziemy zapewne wydobywać więcej metali spod powierzchni naszej planety niż kiedykolwiek wcześniej.

A to jedynie najnowszy rozdział bardzo długiej sagi. To wszystko już się dzieje. W 2019 roku, ostatnim, z którego czerpałem dane w czasie pisania tej książki, wykopaliśmy z ziemi więcej materiałów, niż wynosiła suma wszystkiego, co wydobyliśmy od zarania ludzkości aż do roku 1950. Zastanówmy się nad tym przez chwilę. W ciągu jednego roku wydobyliśmy więcej zasobów niż przez lwią część całej swojej historii – począwszy od najwcześniejszych dni górnictwa aż po rewolucję przemysłową i dwie wojny światowe. A 2019 wcale nie był pod tym względem wyjątkowy. Tak naprawdę dokładnie to samo można powiedzieć o każdym kolejnym roku od 2012. I nasz apetyt na surowce naturalne wcale nie maleje, wręcz przeciwnie, on wciąż rośnie – w 2019 roku o 2,8 procent – i w ani jednej kategorii, od piasku i metali po ropę i węgiel, nie odnotowano spadku.

Nie słyszymy o tym zbyt często, a jeśli już, to głównie mówi się o tym przez pryzmat paliw kopalnych. Z wielu zrozumiałych powodów dużo uwagi poświęca się węglowodorom, których wydobycie wciąż trwa. Prawdopodobnie jesteście świadomi tego, że od dziesięcioleci wydobywamy spod powierzchni Ziemi ogromne ilości węgla i ropy. Zapewne wiecie, że zaczynamy stopniowo odchodzić od tych paliw – a raczej powoli zmniejszamy tempo ich wykopywania.

Można by zatem zakładać, że oznacza to ogólne słabnięcie apetytu na wszelkie surowce naturalne. Nic bardziej mylnego. Okazuje się bowiem, że ropa i inne paliwa kopalne reprezentują jedynie małą część ogólnej sumy surowców, które wyciągamy z ziemi. Na każdą tonę paliw kopanych przypada 6 ton innych materiałów – głównie piasku i kamienia, ale także metali, soli i różnych substancji chemicznych. W tym samym czasie, gdy my, obywatele świata eterycznego, zaczęliśmy redukować konsumpcję paliw kopalnych, podwoiliśmy zużycie wszystkiego innego. A mimo to jakimś cudem wmówiliśmy sobie coś dokładnie przeciwnego.

Intuicja podpowiada mi, że problem częściowo wynika z danych – albo ich braku. Jesteśmy bardzo dobrzy w liczeniu dolarów i PKB, ale nasze rozumienie tego, ile zasobów wyciągamy z ziemi, jest zaskakująco prymitywne. ONZ oraz kilka instytucji krajowych, jak Office for National Statistics w Wielkiej Brytanii, zaczęły w ostatnich latach sporządzać tak zwane analizy przepływu materiałów, mierzące ilość substancji, które wydobywamy, konsumujemy, a potem poddajemy recyklingowi albo wyrzucamy. Ale te zestawienia śledzą jedynie docelowo wykopywane „materiały”, pomijając te dziesięć super jumbo jetów ziemi i skał, które usunięto, żeby do nich dotrzeć. Ze statystycznego punktu widzenia te „skalne odpady” – ta święta góra – są zwyczajnie pomijane. Innymi słowy, rzeczywiste piętno odciskane na planecie przez ludzkość jest znacznie większe, niż to sobie uświadamiamy. A, jak sam miałem się z czasem dowiedzieć, ślad, jaki pozostawia po sobie wydobywanie złota, to nic w porównaniu z wydobyciem takich metali jak żelazo czy miedź, a to z kolei drobnostka w porównaniu z ilością wykopywanego i wysadzanego przez nas piasku i kamienia.

Dążenie do gromadzenia minerałów zawsze należało do najsilniejszych potrzeb motywujących nasz gatunek. Zjawisko to nie zaczyna się ani nie kończy na Mount Tenabo i rdzennych terenach plemienia Szoszonów. Proceder trwa w najlepsze od Stanów

Zjednoczonych przez Chiny, Afrykę i Europę aż po głębiny Oceanu Atlantyckiego. A jednak, ponieważ coraz częściej odbywa się to poza zasięgiem wzroku i nie jest uwzględniane w konwencjonalnych statystykach ekonomicznych, coraz lepiej wychodzi nam wmawianie sobie, że w ogóle nic takiego się nie dzieje.

Nie zawsze wyglądało to w ten sposób. Przez większość naszej historii rządy kładły wielki nacisk na kontrolowanie tych materiałów. Walka o kontrolę, jak się przekonamy, stanowiła czynnik napędzający niektóre epoki, których dziedzictwo wciąż staramy się zrozumieć i przetrwać: czasy imperiów, kolonizacji i wojny. Kiedy upadł mur berliński, część ekonomistów ogłosiła, że rozpoczęła się nowa era dla globalnych surowców – że wraz z nastaniem prawdziwie globalnego handlu i łańcuchów dostaw rywalizacja o zasoby dobiegła końca. W rezultacie wiele krajów, w tym Stany Zjednoczone, zaczęło zużywać swoje zapasy tych kluczowych materiałów, zgromadzone w ciągu poprzedniego półwiecza. Gdy bariery w handlu zostały zniesione, produkcja stała się prawdziwie globalnym biznesem, opartym na obejmujących całą planetę łańcuchach dostaw, w których materiały dostarcza się dopiero wtedy, gdy są potrzebne.

Dziś jednak rządy na całym świecie szybko uświadamiają sobie, że kontrola nad tymi surowcami i procesami liczy się bardziej niż kiedykolwiek. Jednym z pierwszych posunięć Joe Bidena po objęciu amerykańskiej prezydentury było podpisanie dekretu o „amerykańskich łańcuchach dostaw” w celu przeanalizowania, w jakich obszarach Stany Zjednoczone są zależne od innych krajów. W przypadku półprzewodników chodzi o krzemowe czipy, z których produkcją zaznajomimy się na kolejnych stronach. Jeśli mowa o akumulatorach, sprawa rozbija się o szereg metali, w tym kobalt, nikiel, cynk i przede wszystkim lit.

Niniejsza książka opowiada o świecie surowców przez pryzmat sześciu substancji: piasku, soli, żelaza, miedzi, ropy i litu. Obsadzenie w głównych rolach tych substancji może wydawać się

niewiele przewrotne, zważywszy na to, że historię rozwoju ludzkości przedstawia się najczęściej z naszej własnej perspektywy. Dlaczego niektóre państwa rosną w siłę, podczas gdy inne upadają? Dlaczego rewolucja przemysłowa rozegrała się w Anglii, a nie w Etiopii? Według modnego współcześnie poglądu odpowiedź w dużej mierze sprowadza się do kombinacji warunków historycznych, zbiegu okoliczności oraz posiadania odpowiednich instytucji, które pozwalają ludziom na innowacje i rozwój. Ale to nigdy nie była cała prawda, ponieważ sekret sukcesu ludzkości zależy od czegoś więcej niż DNA czy instytucje polityczne. Nasze przeznaczenie zawsze nierozzerwanie wiązało się z tym, co udało się nam wyciągnąć z ziemi i zaadaptować do swoich potrzeb.

Podczas gdy określenia takie jak epoka kamienia, epoka brązu i epoka żelaza z reguły odnoszą się do dawnych, zapomnianych już czasów, nasze uzależnienie od fizycznych narzędzi i materiałów tak naprawdę, zamiast maleć, gwałtownie wzrosło. Zważywszy na to, ile piasku i skał nadal wrywamy planecie, w dalszym ciągu tkwimy głęboko w epoce kamienia. Nasze zapotrzebowanie na stal i miedź zwielokrotniło się w ostatnich latach, a zatem wciąż jesteśmy również w epoce żelaza, nie wspominając o epoce miedzi, soli, ropy i litu.

Te sześć substancji to niezbędne składniki środowiska, w którym czytacie te słowa – baterii, bez której wasz telefon przestałby funkcjonować, betonu, bez którego rozpadłyby się fundamenty waszego domu. Owe materiały rzadko występują w opowieściach o ludzkiej przedsiębiorczości czy innowacyjności, a jeśli już, to jako pasywne tworzywo w magiczny sposób przekształcane przez genialnego wynalazcę.

Ale nadszedł czas, aby znalazły się one w centrum uwagi. Czas opowiedzieć naszą historię z ich perspektywy. Być może bez tych sześciu składników zdołalibyśmy jakoś przeżyć, ale na pewno bez nich nie moglibyśmy się rozwijać. To substancje, dla których w dużej mierze nie ma idealnego zamiennika. Pomogły

zbudować nasz świat i popadlibyśmy w chaos, gdybyśmy stracili do nich dostęp – w rzeczy samej, jak się wkrótce przekonamy, upadek niektórych cywilizacji oraz triumf innych da się powiązać z jedną lub kilkoma pozycjami z tej listy.

Dowiemy się, jak pogoń za tymi surowcami kształtowała historię geopolityczną oraz zaczyna kształtować naszą przyszłość. Odslonimy niezbyt chwalebne konsekwencje naszego nienasyconego apetytu dla środowiska naturalnego. Chwilami możecie poczuć się niekomfortowo – zwłaszcza że wszyscy jesteśmy do jakiegoś stopnia współwinni tworzenia popytu na surowce wydobywane z ziemi. Wyciągniecie być może wniosek, że najlepszym rozwiązaniem byłoby, gdybyśmy wszyscy spróbowali mniej konsumować i więcej recyklingować, co szczerze mówiąc, nie brzmi wcale źle.

Ale pod koniec książki znajduje się także kusząca wizja czegoś innego: świata, gdzie po raz pierwszy od czasu rewolucji przemysłowej bylibyśmy w stanie żyć bez dalszego rozkopywania ziemi i wysadzania gór po to, by zaspokoić ciągle zapotrzebowanie na towary. Nigdy nie będziemy mieszkać w prawdziwie zdematerializowanym świecie; odkąd tylko ludzie podnieśli kamienie i zrobili z nich narzędzia, eksploatowaliśmy Ziemię, zostawiając na niej trwałe ślad. Ale możemy go zmniejszyć. Dzięki temu dałoby się złagodzić wzrost emisji gazów cieplarnianych i przeciwstawić się zmianom klimatycznym. Paradoks, jak zobaczycie, polega na tym, że aby dostać się do tej ziemi obiecanej, prawdopodobnie będziemy musieli kopać i wysadzać jeszcze więcej niż dotychczas.

W tej ziemi obiecanej być może nie będziemy już musieli korzystać z paliw kopalnych, ale jak na razie pozostajemy od nich beznadziejnie uzależnieni. Stało się to aż nazbyt wyraźne na początku 2022 roku, kiedy Rosja najechała Ukrainę. Wskutek tej inwazji ceny energii w Europie osiągnęły rekordowe poziomy, co z kolei spowodowało wzrost kosztów utrzymania. Skala tego wzrostu zaskoczyła ekonomistów – w końcu w świecie eterycznym łatwo jest wmawiać sobie, że uniezależniliśmy się od tak

prozaicznych rzeczy jak energia i surowce naturalne. Ale jedna z lekcji, jakie szybko się przyswaja po przeskoczeniu do świata surowców, głosi, że w ekonomii niemal wszystko sprowadza się do energii – nawet to, czego najmniej byśmy się spodziewali. Nawozy i sole, chemikalia i plastiki, jedzenie i napoje – wszystko to w większym lub mniejszym stopniu produkty paliw kopalnych.

Wydarzenia w Ukrainie mogą przyspieszyć nasz zwrot ku energii odnawialnej – o ile nie cofną świata z powrotem do epoki węgla – ale to postawi przed nami nowe wyzwania. Uniezależniając się od paliw kopalnych i petropaństw takich jak Rosja, jednocześnie staniemy się bardziej zależni od szeregu rzadkich metali z innych krajów, potrzebnych do budowy maszyn, które zapewnią nam czystą energię. A ponieważ energia odnawialna ma znacznie mniejszą gęstość energii niż paliwa kopalne czy energia atomowa, będziemy musieli zbudować o wiele więcej instalacji, żeby wyprodukować tę samą ilość energii. Tak to wygląda w świecie surowców.

Dlaczego tylko sześć substancji? Dlaczego tylko piasek, sól, żelazo, miedź, ropa i lit? Istnieją przecież setki pierwiastków, związków i surowców odgrywających ważną rolę w wytwarzaniu produktów i usług, na których opieramy się we współczesnym świecie. Bor nigdy nie został ujęty w żadnym prepandemicznym planie gotowości, a jednak zgromadzenie dostatecznej jego ilości okazało się kluczowe dla wyprodukowania i rozprowadzenia szczepionki na COVID-19 – a to niełatwe zadanie, ponieważ bor występuje głównie w kilku miejscach w suchym klimacie i z aktywnością wulkaniczną. Niemal jedna trzecia globalnych zasobów znajduje się w Turcji, a inne złoża leżą na pustyniach Kalifornii i daleko-wschodnich rubieżach Rosji.

Ponadto borany, sole zawierające ten pierwiastek, mają wiele innych zastosowań: są składnikiem nawozów, wspomagającym rozwój nasion i wielkość plonów; konserwują drewno, zabezpieczając je przed owadami i rozkładem grzybiczym. Dodany do stali bor zwiększa jej wytrzymałość; po dosypaniu do basenu

sole boranowe zmniejszają kwasowość wody i zapobiegają nagromadzeniu się alg.

A co z cyną, jednym z pierwszych metali, które nauczyli się wykorzystywać nasi przodkowie, oraz niezbędnym komponentem elektronicznych płytek drukowanych? Co z aluminium, najbardziej rozpowszechnionym metalem w skorupie ziemskiej – choć dopiero stosunkowo niedawno nauczyliśmy się je rafinować? Co z platyną i jej siostrzanymi metalami, jak pallad i rod – rzadkimi, ale ważnymi składnikami komponentów elektrycznych i reaktorów katalitycznych? Co z chromem, który odgrywa zasadniczą rolę w produkcji stali nierdzewnej, czy z kobaltem, czy z metalami rzadkimi, takimi jak neodym, wykorzystywany w silnych magnesach neodymowych?

Oto jak wytyczyłem tę granicę: chociaż szóstka surowców będących gwiazdami tej książki to nie jedyne substancje ważne dla świata, to trudno sobie bez nich wyobrazić współczesną cywilizację. Możemy budować akumulatory bez kobaltu. Możemy produkować słuchawki i silniki elektryczne bez magnesów neodymowych – choć byłyby większe i mniej wydajne. Materiały wyróżnione w niniejszej książce byłyby jednak najtrudniejsze do zastąpienia.

Albert Einstein został kiedyś poproszony przez dziennikarzysty o wytłumaczenie swojej teorii względności. „Mogę to wyjaśnić w ten sposób”, powiedział. „Dawniej wierzono, że gdyby ze wszechświata zniknęło wszystko, co materialne, pozostałyby czas i przestrzeń. Jednakże zgodnie z teorią względności czas i przestrzeń znikają razem z materią”. To samo można by powiedzieć o świecie surowców. Substancje te tworzą tkanę cywilizacji. Bez nich normalne życie, takie, jakie znamy, całkowicie by się rozpadło⁴.

Nie jest więc przypadkiem, że zaczynamy od piasku, ponieważ to z niego ludzkość stworzyła ogromną część swojego środowiska. Dzięki niemu możemy też odbyć szybki obchód po całym świecie

surowców, ponieważ mamy tu zarówno najstarszy sztucznie wytworzony produkt (szkło), jak i jeden z najbardziej zaawansowanych (półprzewodniki). Podczas gdy piasek pozwala nam tworzyć rzeczy, sól jest magiczną substancją, dzięki której możemy je przekształcać, a także podstawowym elementem dla naszego zdrowia i żywienia. Rozdziały dotyczące żelaza i miedzi są ułożone w takiej kolejności, ponieważ historia żelaza wiąże się z historią węgla, natomiast miedź jest nośnikiem elektryczności – za ich pośrednictwem prześledzimy więc najpierw pierwszą, a potem drugą wielką transformację energetyczną czasów nowożytnych: wprowadzenie paliw kopalnych i energii elektrycznej. Trzecia i czwarta transformacja energetyczna zawierają się w części o ropie, która porusza także temat gazu ziemnego. Poświęciwszy większą część książki surowcom, które przyniosły nam rewolucje przemysłowe minionych wieków, na koniec przyjrzymy się substancji, która niesie ze sobą obietnicę następnej. Lit znajduje się w centrum kolejnej transformacji energetycznej – odejścia od paliw kopalnych w stronę odnawialnych źródeł energii.

Po drodze pozwoliłem sobie na pewną swobodę. Puryści mogą zakwestionować moją decyzję o wrzuceniu ropy i gazu do jednej szufladki czy też fakt, że część o soli nie skupia się wyłącznie na chlorku sodu, ale zahacza też o kilka innych soli. Poza tym inne materiały – na przykład węgiel albo nawozy na bazie azotu – często pojawiają się gościnnie w różnych rozdziałach, choć nominalnie nie zaliczają się do naszej podstawowej szóstki.

Podróż przez ten świat okazała się najbardziej fascynującym i intelektualnie stymulującym doświadczeniem w całej mojej karierze. Ale miała też niespodziewanie terapeutyczny efekt. Zapuszczając się coraz głębiej w rozważania nad elementarnymi składnikami współczesnego życia, zacząłem stopniowo odczuwać coraz silniejszą więź z otaczającym mnie światem. Rzecz jasna nie nauczyłem się nagle wytwarzać szkła, akumulatorów czy smartfonów, ale przedmioty te przestały być dla mnie całkowitą tajemnicą.

Spędziwszy większość życia w błogiej ignorancji w świecie eterycznym, nie mając pojęcia o tym, skąd właściwie biorą się nasze rzeczy, zacząłem rozglądać się wokół siebie nowymi oczami. Mam nadzieję, że ta książka zainspiruje również was do tego, by inaczej spojrzeć na świat, w którym żyjemy, gdzie w codziennych przedmiotach i najprostszych substancjach czai się prawdziwa magia.

Surowce opisane w niniejszej książce nie należą może do tych najrzadszych, nie prezentują się może szczególnie efektownie. Nie są też wyjątkowo wartościowe same w sobie. A jednak stanowią podstawowy budulec naszego świata. Napędzały rozwój całych imperiów. Pomagały budować miasta oraz je niszczyć. Zmieniły ziemski klimat, a z czasem może pomogą go uratować. Te sześć substancji to anonimowi bohaterowie współczesności i najwyższy czas, żeby posłuchać ich historii.

Część I

PIASEK

Rozdział 1

Homo faber

Nasza opowieść zaczyna się od wybuchu.

Była to eksplozja o takiej mocy, że słyszano by ją na dwóch, może trzech kontynentach. Oczywiście gdyby ktokolwiek mógł ją wtedy usłyszeć. Ponieważ zdarzyło się to mniej więcej 29 milionów lat temu – na długo przed pojawieniem się *Homo sapiens* – gdzieś w okolicach współczesnej granicy między Egiptem i Libią.

Właśnie tam, na Wielkim Morzu Piasku, meteoryt przeciął niebo i eksplodował. Siła wybuchu była doprawdy katastrofalna, wystarczająca, by wytworzyć kulę ognia i huk, który wytrącił z równowagi szablozębne koty i małpy zamieszkujące tereny po drugiej stronie Morza Śródziemnego.

To uderzenie meteorytu jest mniej znane niż to, które prawdopodobnie 60 milionów lat wcześniej zakończyło życie dinozaurów. Z tego, co wiemy, nie wywołało też masowego ginięcia gatunków. Naukowcy spierają się, czy meteoryt eksplodował jeszcze w powietrzu, czy w momencie zderzenia z ziemią, a poszukiwania pasującego do tej teorii krateru nadal trwają. Ale i tak ten afrykański meteoryt ma dla nas specjalne znaczenie, ponieważ stanowi najbardziej przekonujące rozwiązanie tajemnicy, nad którą od stu lat łamią sobie głowę archeolodzy i geolodzy.

Wśród skarbów odkrytych wokół sarkofagu Tutanchamona znajdował się naszyjnik przedstawiający boga słońca Ra. Był to zdumiewający wyrób jubilerski, bardziej subtelny, ale nie mniej

urzekający niż ikoniczna złota maska pogrzebowa młodego faraona. Ten pektorał, jak czasem się go nazywa, był wysadzany drogocennymi metalami i klejnotami: złotem, srebrem, lapis lazuli, turkusem i karneolem. Ale pośrodku znajdował się chrząszcz wyrzeźbiony z półprzezroczystego kanarkowożółtego kamienia. Wszystkie inne minerały były dobrze znane badaczom, ale w czasie odkrycia grobowca, na początku XX wieku, nikt nie widział jeszcze niczego podobnego do tej żółtej substancji. Czym była? I skąd się tam wzięła? Odpowiedzi zaczęły się pojawiać dopiero, kiedy badacze zapuścili się głębiej w pustynię.

Wielkie Morze Piasku zostało tak nazwane przez Gerharda Rohlfsa, niemieckiego odkrywcę, który w 1873 roku poprowadził ekspedycję na zachód, na tereny określane w czasach faraonów mianem Krainy Umarłych. 150 kilometrów za oazą Dachla, kilka tygodni po tym, jak ostatni raz widział jakiegokolwiek ślady ludzkiego życia, niespodziewanie natrafił on na barierę nie do sforsowania.

„Piaskowe wydmy, za nimi również piasek, to prawdziwy ocean piasku”, napisał. Przejście przez wydmy okazało się niemożliwe – były zbyt wysokie, a piasek zbyt sypki nawet dla wielbłądów. Obejść też się ich nie dało, ponieważ rozciągały się na północ i południe aż po horyzont. Przez kilka tygodni prowadził swoją ekipę wzduż wydm, bez powodzenia. W końcu postanowił zawrócić na północ w stronę Siwy, najbliższej oazy. Na wypadek gdyby nie udało im się przetrwać podróży, razem ze swoimi ludźmi napisał wiadomość, włożył ją do butelki i zbudował nad nią kopczyk kamieni. Jeśli ktoś wybiera się współcześnie na Wielkie Morze Piasku i mija ten kopczyk, zwyczaj nakazuje pozostawić tam własny list w butelce.

Rohlfs ledwo przeżył drogę powrotną. Przed niechybną śmiercią uratował go niesamowity łut szczęścia. Gdy bowiem wracał przez jeden z najsuchszych regionów świata, gdzie w niektórych miejscach nie pada przez dziesiątki lat, niebo niespodziewanie

się otworzyło i cała drużyna miała szansę uzupełnić zapasy wody. Kilka tygodni później wycieńczony niemiecki odkrywca wraz z towarzyszącymi dotarł do bezpiecznego schronienia. Przynieśli ze sobą tak ponurą relację z wyprawy, że nikt inny nie zdecydował się pójść w ich ślady przez ponad pięćdziesiąt lat.

Na zdjęciach satelitarnych tego obszaru widać jasno, co zatrzymało Rohlfsa: długie równoległe wydmy biegnące z północy na południe, rozdzielone płaskimi korytarzami, prostymi jak rzymska droga. Te formacje, stworzone przez ustawiczne wiatry, nazywa się sejfami (od arabskiego słowa oznaczającego „miecz”) i niektóre ciągną się przez mniej więcej 150 kilometrów. Jest w nich pewna symetria i jednolitość, z tym że wszelkie ich zdjęcia są już nieaktualne, kiedy je oglądamy.

Wydmy znajdują się w nieustannym ruchu, pochłaniając wszystko, co stanie im na drodze. Herodot pisał o perskim księciu, który wysłał na tę pustynię swoją armię. Niedługo po wkroczeniu na Wielkie Morze Piasku żołnierzy dopadła burza piaskowa i przepadli bez śladu. Co jakiś czas pojawiają się archeolodzy posiadający rzekome dowody istnienia tej zaginionej armii.

Ale oglądanie tych wydym z lotu ptaka nie oddaje tego, co czuje się, stojąc u ich stóp. Nie bez przyczyny większość wczesnych odkrywców opisywała te formacje jak żywe istoty.

„One rosą”, pisał Ralph Bagnold, Brytyjczyk eksplorujący Saharę w latach trzydziestych XX wieku. „Niektóre (...) mogą żyć niezależnie, utrzymują kształt, przenosząc się z miejsca na miejsce, a nawet potrafią się rozmnażać”¹.

Czasami sejfy załamują się na skarpach i zmieniają w wydmy sierpowe, znane jako barchany. Zdarza się też, że jedna wydma podłużna nachodzi na drugą i tworzy się z nich wydma wielorybia albo megabarchan.

To, w jaki sposób te ziarna piasku wchodzą w interakcję ze sobą nawzajem, z wiatrem i całym otoczeniem, wydaje się czymś tajemniczym i nieprzewidywalnym, ale w rzeczywistości

zachodzą tu po prostu niezwykle złożone procesy fizyczne. Napotkawszy te wydmy podczas swych pustynnych wędrówek, Bagnold poświęcił resztę życia, próbując je zrozumieć.

Każdy, kto studiuje wydmy, pracuje w długim cieniu Bagnolda. Brytyjczyk stał się tak wpływowy, że kiedy naukowcy z NASA starali się rozgryźć wydmy na Marsie, korzystali z jego książek. Jeśli śledziliście marsjańską misję łazika Curiosity, pamiętacie być może, że spędził on dwa lata, badając tamtejsze Wydmy Bagnolda.

Bagnold i jego ekipa byli pierwszymi ludźmi, którzy pokonali tę pustynię we wczesnych latach trzydziestych, doprowadzając do końca ekspedycję przerwana przez Rohlfsa pół wieku wcześniej. Przemierzyli sefry samochodami Ford Model A, spuszczać powietrze z opon, żeby móc sprawniej sunąć po sypkim piasku. Jeden z towarzyszy Bagnolda, Irlandczyk Pat Clayton, był właśnie na szczycie jednej z wydm w grudniu 1932 roku, gdy nagle usłyszał pod kołami pojazdu dziwne chrzęszczenie. Wsiadł, żeby to sprawdzić, i odkrył, że pustynia jest pokryta wielkimi płachtami żółtego szkła.

Dopiero pod koniec lat dziewięćdziesiątych naukowcy ostatecznie potwierdzili, że kanarkowożółty chrząszcz w naszyjniku Tutanchamona został wyrzeźbiony z tego samego materiału, na który Pat Clayton najechał ponad 800 kilometrów dalej. Młody faraon został pochowany w Dolinie Królów z cennym minerałem wydobytym w Krainie Umarłych. Ten świetlisty kamień nie powstał tak jak diamenty, szafiry i inne podobne klejnoty pod wpływem tysięcy lat działania temperatury i ciśnienia w skorupie ziemskiej. Wytworzył się w mgnieniu oka, za sprawą spadającej gwiazdy. Meteoryt, który uderzył 29 milionów lat temu, zmienił piasek w rodzaj szkła nazywany libijskim szkłem pustynnym.

Istnieją też inne formy szkła występującego w przyrodzie. Obsydian, czarny jak smoła kamień, z którego nasi prehistoryczni przodkowie wytwarzali narzędzia, jest tak naprawdę szkłem wulkanicznym uformowanym przez gwałtownie stygnącą magmę. Są

także tektyty – szkliste kamyki stworzone przez meteoryty lub komety uderzające w powierzchnię Ziemi, których odpryski następnie zlewały się w lśniące kamienie. Są fulguryty – nierówne rurki, które czasem można znaleźć na plaży albo na wydmach po uderzeniu pioruna. Ale szkło odkryte przez Clayтона na pustyni wyróżnia się tym, że jest całkowicie, niemal niewiarygodnie czyste.

Głównym składnikiem większości piasków jest krzemionka – diotlenek krzemu, nazywany też czasem kwarcem. A ponieważ szkło to z braku lepszego określenia „stopiony piasek”, krzemionka jest również głównym składnikiem szkła. Ale jej zawartość może się znacząco różnić. Szklanki, z których pijemy, czy szyby w naszych oknach mają z reguły około 70 procent krzemionki. Jej stężenie w obsydianie i większości tektytów waha się zwykle od 65 do 80 procent. Tymczasem zawartość krzemionki w libijskim szkle pustynnym wynosi aż 98 procent. Czyni to z niego nie tylko najczystsze naturalnie występujące szkło, jakie kiedykolwiek odnaleziono na świecie. Było ono także czystsze od wszystkiego, co potrafił wyprodukować człowiek – przynajmniej do pewnego momentu².

Piasek to największa enigma świata surowców.

Na świecie jest go pod dostatkiem. Gdy wdrapiemy się na szczyt wydm i popatrzymy na Wielkie Morze Piasku, przed oczami będziemy mieli niekończące się połacie krzemu. Krzem w ziarnach pod naszymi nogami, krzem na dnie korytarzy rozdzielających sejfy, krzem w paleozoicznych piaskowcach płaskowyżu Dżilf al-Kabir na horyzoncie. Po tlenie, który łączy się praktycznie z wszystkim, krzem zdecydowanie plasuje się na drugim miejscu jako najbardziej rozpowszechniony pierwiastek w skorupie ziemskiej.

Zważywszy na jego wszechobecność, nie powinno być może dziwić, że znaleźliśmy dla niego tak wiele różnych zastosowań. Wyrzebujemy, wykopujemy i wysadzamy z ziemi więcej piasku niż jakiegokolwiek innego materiału. Mimo to jego ekonomiczna

enigma polega na tym, że w niektórych postaciach jest bardzo wartościowy, do tego stopnia, że Unia Europejska uznaje jego najczystsze, najbardziej podstawowe formy za surowiec o kluczowym znaczeniu.

Ziemia składa się z piasku, a jednak często słyszymy historie o drastycznych niedoborach. W niektórych zakątkach świata działają mafie piaskowe, które walczą i zabijają w imię kontroli nad ziarnami krzemu. Grupy przestępcze pod osłoną nocy nielegalnie rozkopują plaże i koryta rzek, a potem przemycają piasek i sprzedają go na czarnym rynku.

Jedne rodzaje piasku ceni się za ich wartość, inne za wygląd, kształt ziaren czy czystość. Na Sardynii władze zaczęły karać grzywną za wynoszenie ikonicznego białego piasku z tamtejszych plaż. Występujący w Cleopatra Beach, zatoce na wyspie niedaleko anatolijskiego wybrzeża Turcji, niespotykany biały piasek jest tak wysoko ceniony, że przed opuszczeniem plaży trzeba zmyć go ze stóp, żeby przypadkiem nie zabrać ze sobą ani ziarenka. Niektóre rzeczne ekosystemy w Azji są zagrożone z powodu nadmiernego bagrowania koryt, ponieważ w ten sposób handlarze działający w szarej strefie starają się zaspokoić nigdy niegasnące zapotrzebowanie na piasek i kruszywo do celów budowlanych. W wielu miejscach rujnuje się środowisko i ludzkie życie w pogoni za czymś, co wydaje się znajdować wszędzie.

W tym właśnie szkopał, że nie do końca wszędzie, albowiem istnieje wiele różnych rodzajów piasku, a każdy ma inne właściwości. Podczas gdy większość piasków składa się głównie z krzemionki, niektóre – te białe, na pięknych tropikalnych plażach – są zbudowane w dużej mierze z czegoś innego: zmielonych resztek morskich muszli i koralów. Kiedy więc siedzicie na nieskazitelnie białej plaży na Karaibach czy Hawajach, jest duża szansa, że zanurzacie stopy w ekskrementach papugoryb – ryby zjadają koralce, absorbują składniki odżywcze i wydalają pozostały węgiel wapnia na dno morskie. Ogólnie rzecz ujmując, im bielsza

i cieplejsza plaża, tym większe prawdopodobieństwo, że wyszła z odbytu papugoryby.

To, z czego składa się piasek, ma większe konsekwencje, niż może się wydawać. Geolodzy używają tak zwanej skali Uddenawentwortha, wedle której każde twarde, sypkie ziarno o określonych rozmiarach (konkretnie od 0,0625 milimetra do 2 milimetrów) stanowi rodzaj piasku. Paradoksalnie oznacza to, że cukier i sól również kwalifikują się jako piasek. Ale dla naszych potrzeb odłożmy tę skalę na bok i skupmy się przede wszystkim na 70 procentach piasków zbudowanych głównie z krzemionki.

Zawartość krzemionki w piasku jest istotna, ponieważ determinuje, co można z nim zrobić. Niektóre piaski, w tym te na Wielkim Morzu Piasku, są relatywnie bogate w krzemionkę – to częściowo tłumaczy, dlaczego libijskie szkło pustynne jest tak czyste. Ale większość piasku, po którym chodzimy, ma zbyt niską zawartość krzemionki i zbyt wiele zanieczyszczeń, aby móc z niego zrobić przejrzyste szkło, nie wspominając o krzemowych czipach. I między innymi właśnie to czyni piasek tak enigmatycznym: na świecie nie ma dwóch identycznych garści.

Krzem stanowi również enigmę pod względem chemicznym, ma właściwości metaliczne, ale nie jest do końca metalem, przewodzi elektryczność, ale tylko na własnych warunkach. Można go zmienić w polimer, czyli plastik. Piasek bywa cudownie miękkim w dotyku, ale każde pojedyncze ziarenko jest niesamowicie twarde, i ta zdumiewająca siła tłumaczy, dlaczego tworzy się z niego fizyczne fundamenty świata w XXI wieku. Służy za podstawę zarówno najstarszych, jak i najnowszych wytworów, które ludzkość nauczyła się produkować. Jest kłamrą spinającą dzieje naszej cywilizacji.

Piasek to jednocześnie najbardziej prastara i najbardziej nowoczesna ze wszystkich substancji. To właśnie przekształcenie krzemu w paciorki, kubki i biżuterię wyznaczyło początek ery *homo faber* – człowieka twórcy. I tę samą substancję

wykorzystujemy obecnie do produkowania smartfonów i inteligentnej broni.

Tak więc tu, na plaży i na pustyni, znajdujemy naszego pierwszego protagonistę. Przez długi czas chemicy szukali klucza do alchemii – sztuki zmieniania ołowiu i innych mało atrakcyjnych metali w złoto. Ich poszukiwania zakończyły się klęską, a przynajmniej tak podpowiada rozsądek. Ale zastanówmy się chwilę. Współcześnie zmieniamy krzem w produkty, które są dosłownie warte swojej wagi w złocie. Wytwarzamy zachwycające przedmioty ze złotego piasku.

Skoro nauczyliśmy się przekształcać tanią, obojętną substancję w coś tak cennego, nie powinno może dziwić, że te umiejętności stały się również tak wysoce cenione. Kiedy wybuchaly wojny handlowe, piasek zawsze znajdował się w samym centrum konfliktu. Zdolność Chin do produkowania własnych krzemowych chipów dorównujących poziomem zaawansowania tym tworzonym na Tajwanie i w Korei Południowej jest dziś powodem wielu niepokojów w Waszyngtonie. Czy Chiny opracują komputery kwantowe szybciej i z większym powodzeniem niż Stany Zjednoczone?

Po tym, jak w ostatnich latach Pekin wyprzedził konkurencję w tak wielu dziedzinach gospodarki, chińska hegemonia krzemowa może wydawać się nieuchronna, ale przynajmniej w momencie pisania tej książki daleko nam jeszcze do tego etapu. Chiny są w stanie dominować w globalnym przemyśle stalowym i budowlanym, w produkcji akumulatorów i smartfonów, a ostatnio nawet na polu mediów społecznościowych, ale w sektorze światowej klasy półprzewodników? Jeszcze nie.

Dlaczego? Po części dlatego, że proces zmieniania piasku w krzemowe chipy należy – jak przekonamy się w dalszej części rozdziału – do najbardziej zdumiewających osiągnięć współczesnej inżynierii. Wiele spośród technik wykorzystywanych do tworzenia tranzystorów tak małych, że mierzy się je w atomach, brzmi tak niewiarygodnie, że nawet z bardzo wybujałą

wyobraźnią trudno je objąć umysłem. A wynika to po części z tego, że zachodni przywódcy nie cofną się przed niczym, byle tylko nie pozwolić Chinom na zdobycie palmy pierwszeństwa w tej technologii. Za żadną cenę nie chcą wypuścić z rąk tej własności intelektualnej będącej narzędziem dwudziestopięciowiecznej alchemii. Ale choć wszystko to brzmi bardzo aktualnie, piasek od zawsze znajdował się w sercu nowatorskich technologii, na długo przed wynalezieniem krzemowych czipów.

Przez stulecia państwa rywalizowały o kontrolę nad inną przemysłową wywodzącą się z piasku technologią, która zapewniała jej użytkownikom bioniczne moce. Tą technologią było szkło. Dokładnie tak samo, jak dzisiejsi przywódcy starają się rozkręcić w swoich krajach produkcję półprzewodników i elektrycznych samochodów, ich poprzednicy sięgali po wszelkie dostępne środki, od strategii przemysłowych po szpiegostwo przemysłowe, żeby kontrolować rynek szkła. I tak jak dziś naukowcom uniemożliwia się przemykanie sekretów z Zachodu do Azji, podobnie traktowano rzemieślników z Murano – pierwszych, którzy nauczyli się wytwarzać cienkie, przejrzyste, piękne szkło. Pod groźbą śmierci zabroniono im opuszczać wyspę na Lagunie Weneckiej.

Kiedy angielski szklarz George Ravenscroft z pomocą rzemieślników wywiezionych potajemnie z Murano odkrył metodę produkcji krystalicznie czystego szkła, on i jego pracownicy nie wyjawili nikomu sekretnego składnika (co miało wówczas sens pod względem komercyjnym, ale z dzisiejszej perspektywy wydaje się mocno nieodpowiedzialne, albowiem sekretnym składnikiem był ołów, toksyczny metal, który przenikał do płynów przechowywanych w kryształowych karafkach). Podczas wojen napoleońskich Brytyjczycy próbowali odciąć Francję od szkła. U zarania Stanów Zjednoczonych angielskim szklarzom zakazywano emigracji za ocean, ponieważ władze za pomocą przepisów prawnych i podatków zaciekle chroniły swój rodzimy przemysł. Często wspominamy frustrację amerykańskich kolonistów związaną

z opodatkowaniem herbaty, ale znacznie mniej mówi się o ich niezadowoleniu z powodu brytyjskich podatków nałożonych na szkło.

W obecnej wojnie technologicznej o krzem nie ma zatem nic nowego. To ta sama wojna, którą od wieków toczą różne światowe potęgi, na wielu frontach i różnych kontynentach. To wojna, która dotarła do rozmaitych niespodziewanych miejsc, łącznie z zapomnianymi zakątkami spokojnych krain oddalonych o setki kilometrów od linii frontu.

Szkło

Gdy historycy ekonomii patrzą na rozwój ludzkości, z reguły nie zwracają uwagi na szkło. Dlaczego rewolucja przemysłowa wydarzyła się akurat w Europie w XVIII i XIX wieku? Istnieje wiele teorii odnoszących się do roli instytucji politycznych, norm społecznych i edukacyjnych czy czynników geograficznych. Czasem wspomina się o jednej czy dwóch kluczowych innowacjach, na przykład silniku parowym czy wielkim piecu. Gdy jednak zasugeruje się, że ważną rolę mogło odegrać szkło, zwykle natrafia się na brak zrozumienia.

Ale szklane soczewki umożliwiły nam patrzenie w kosmos, pomagając dawnym astronomom takim jak Galileusz odkryć, że Ziemia orbituje wokół Słońca. Wzmocniły gospodarkę państw, pozwalając ludziom więcej pracować – przed ich wynalezieniem ci, którzy tracili wzrok, musieli wcześniej kończyć karierę, ale dzięki okularom z wypukłymi soczewkami miliony ludzi mogły wydłużyć swoją aktywność zawodową. Nikt nie kwestionuje wagi przełomowych technologii w rodzaju prasy drukarskiej. Ale co z faktem, że jej powstanie zbiegło się z produkcją okularów, które umożliwiły czytanie niemałej części piśmiennej populacji?

Szklane soczewki i pryzmaty pozwoliły naukowcom takim jak Robert Hooke i Antonie van Leeuwenhoek zbudować pierwsze na świecie mikroskopy, dzięki czemu mogli ujrzeć świat, którego

nie widziały wcześniej ludzkie oczy. To za sprawą tych szklanych narzędzi dowiedzieliśmy się o istnieniu bakterii albo podziale komórek. Konstruowanie szklarni pozwoliło europejskim ogrodnikom nagiąć klimat do swojej woli.

Dzięki pojawieniu się szklanych lusterek – wcześniej ludzie przeglądali się w wypolerowanych powierzchniach metalowych, które odbijały zaledwie jedną piątą światła – renesansowi artyści mogli nagle spojrzeć na świat z innej perspektywy. Zapiski ówczesnych mistrzów takich jak Leonardo da Vinci nie pozostawiają wątpliwości co do roli, jaką odegrał ten nowy wynalazek. Lustro, pisał Leonardo, było „mistrzem malarzy”, służącym za punkt odniesienia podczas malowania przedmiotów. Istnieje nawet teoria, której najsłynniejszym zwolennikiem był malarz David Hockney, że wiele dzieł dawnych mistrzów nie mogłoby powstać bez pomocy narzędzi optycznych, w tym soczewek i zakrzywionych lusterek³.

Czy przypadkiem jest, że renesans rozwinął się właśnie w tych miejscach, gdzie nagle ogólnodostępne stały się lustra, jak północne Włochy i Holandia? Czy to zbieg okoliczności, że państwa, w których na poważnie zajęto się wytwarzaniem szkła, to te same, w których rozpoczęło się oświecenie, a potem rewolucja przemysłowa, natomiast regiony, gdzie porzucono to rzemiosło, takie jak Chiny i większość Bliskiego Wschodu, osłabły gospodarczo w kolejnych wiekach? Kilka lat temu dwaj historycy, Alan Macfarlane i Gerry Martin, przeanalizowali metodycznie dwadzieścia najważniejszych eksperymentów, które przyspieszyły postęp naukowy – od stworzenia komory próżniowej przez Roberta Boyle’a i Roberta Hooke’a, przez teorię światła Isaaca Newtona, po badania nad elektrycznością Michaela Faradaya – i stwierdzili, że wszystkie z wyjątkiem czterech opierały się w jakimś stopniu na wykorzystaniu szklanych pryzmatów, pojemników lub konstrukcji⁴.

Innymi słowy, szkło było innowacją o fundamentalnym znaczeniu, uniwersalną technologią jak koło, silnik parowy czy krzemowy czip. Ten magiczny produkt okazał się ważny nie tylko

z powodu tego, czym sam był, ale także tego, co nam umożliwił – dalsze przekraczanie granic wyobraźni i inwencji. Tę funkcję spełnia zresztą po dziś dzień. Internet to w dużej mierze sieć informacji transmitowanych przez szklane przewody, bez szkła nie byłibyśmy też w stanie tworzyć mózgów najbardziej zaawansowanych komputerów – o czym przekonamy się na dalszych stronach. Całkiem niezłe jak na coś, co jest ostatecznie tylko stopionym piaskiem.

Pierwszy produkt na świecie

Nikt nie wie na pewno, kto pierwszy wynalazł szkło. Najwcześniejszą i najsłynniejszą historię jego powstania opowiedział Pliniusz Starszy, rzymski żołnierz-intelektualista, który zginął w wyniku erupcji Wezuwiusza w 79 roku n.e. Według jego relacji wiele wieków wcześniej fenicyjczycy żeglarze wylądowali na plaży na terenie dzisiejszego Izraela. Fenicjanie, wielcy handlarze epoki starożytnej, importowali bloki natronu, wczesnej formy mydła bogatej w sód (właśnie ze względu na natron chemiczny symbol sodu to Na). Przed pójściem spać rozpalili na plaży ognisko, a nie mając na czym postawić swoich kociołków, umieścili je na blokach natronu. Gdy rozpalili ogień i podgrzewali natron, stało się coś niezwykłego. Jak pisze Pliniusz: „Pod wpływem działania ognia w połączeniu z piaskiem wybrzeża zobaczyli przezroczyste wstęgi wypływające z dotąd nieznanej im cieczy. Mówi się, że był to moment powstania szkła”⁵.

Opis ten należy traktować z przymrużeniem oka. W rzeczywistości wytwarzanie szkła było prawdopodobnie odkrywane wielokrotnie przez różne pokolenia w różnych miejscach w ciągu wieków. Niektórzy przypisują to Syryjczykom, inni Chińczykom, jeszcze inni Egipcjanom. Jedni za pierwsze innowacje w tym zakresie uznają szklwienie wyrobów ceramicznych niemal 10 tysięcy lat temu. Inni umiejscawiają je raczej gdzieś pomiędzy drugim

a trzecim tysiącleciem p.n.e. W każdym razie relacja Pliniusza, apokryficzna czy nie, eksponuje najważniejszą lekcję stanowiącą chemiczną podstawę szklarstwa.

Całe wyzwanie w procesie tworzenia szkła polega na tym, że główny składnik piasku, krzemionka (dITLENEK krzemu), ma szalenie wysoką temperaturę topnienia – ponad 1700°C, czyli znacznie więcej, niż byłoby w stanie wytworzyć zwykłe ognisko czy prymitywny piec. Jeśli jednak dodać do mieszanki tak zwany topnik, można „przekonać” krzemionkę, aby zaczęła się upłynniać już w znacznie niższych temperaturach. Poza tym odpowiednio dobrany topnik nie tylko zmniejsza temperaturę topnienia krzemionki, ale także potrafi wchłaniać nieczystości w szkło, ulepszając finalny produkt.

Nawet jeśli opowieść Pliniusza wydaje się wyssana z palca, zawiera kilka szczegółów, które brzmią przekonująco, poczynając od lokalizacji. Według jego relacji wszystko to wydarzyło się w pobliżu ujścia rzeki Belus, znanej dzisiaj jako Na’aman. Współczesne analizy wykazały, że ziarna piasku w miejscu, gdzie Na’aman wpływa do Zatoki Hajfy, zawierają ponad 80 procent krzemionki, a na resztę składają się fragmenty muszli i wapienia. Mają w sobie bardzo niewiele zanieczyszczeń, które często występują w nadbrzeżnych piaskach.

Fenicjanie natrafili zatem na piasek idealnie nadający się do wyrobu szkła. Stosunek krzemionki do wapna jest taki, jak trzeba, więc gdyby dodać do mieszanki trochę natronu i dostatecznie podgrzać, otrzymałoby się to, co nazywamy dziś szkłem sodowo-wapniowym. Oprócz krzemionki mamy tu bowiem węglan sodu (główny składnik natronu) dla szybszego topnienia oraz szczyptę wapnia, które pomaga wzmocnić docelową strukturę.

A struktura szkła jest, mówiąc szczerze, nieco chaotyczna. Chociaż naszym oczom wydaje się przejrzyste i nieskazitelne, na poziomie molekularnym przypomina ono raczej przypadkową zbieranień atomów. Techniczny termin na ten bałagan zależy od

tego, kogo zapytamy: niektórzy naukowcy uznają to za „ciało amorficzne”, inni za „ciecz przechłodzoną”. Teoretycznie szkło jest zarówno cieczą, jak i ciałem stałym, choć zważywszy na to, jak się zachowuje, w praktyce jest tak naprawdę tym drugim. W temperaturze pokojowej szkło nigdy nie zachowuje się jak ciecz, nawet niezauważalnie lepka i nawet w długim przedziale czasowym (choć może się „pocić”, jeśli nie dodamy do mieszanki dostatecznej ilości wapnia). Te zdeformowane szybki, które widzimy czasem w starych witrażach, grubsze u dołu niż u góry, nie wyglądają tak dlatego, że szkło z czasem opada. O ile w kościele nie zdarzają się temperatury przekraczające 400°C, nierówność szybek wynika raczej z tego, że właśnie w takim kształcie zostały wydmuchane i utwardzone. Płaskie szkło pojawiło się dopiero w XIX wieku, a na prawdziwie płaskie, cienkie szyby musieliśmy czekać aż do połowy XX wieku.

Paradoks polega na tym, że chociaż szkło jest jedną z najstarszych substancji stworzonych przez człowieka, naukowcy w dalszym ciągu próbują zrozumieć, dlaczego zachowuje się tak, jak się zachowuje. Szkło zdaje się łamać większość zasad molekularnych. Jak ujął to pewien szklarz, szło to nie materiał, tylko stan. Jest bardziej przymiotnikiem niż rzeczownikiem. Philip Anderson, zdobywca Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki w 1977 roku, napisał kilkadziesiąt lat później: „Najgłębszym i najbardziej interesującym nierozwiązanym problemem teorii ciał stałych jest prawdopodobnie teoria o naturze szkła i przemianie szklistej”. Zagadka pozostaje nierozwikłana po dziś dzień⁶.

To samo można zresztą powiedzieć o wielu elementach świata surowców. Nasz gatunek podporządkował sobie środowisko naturalne i wpłynął na nie bardziej niż jakikolwiek inny w historii, a jednak nasz poziom rozumienia tego, co dokładnie się dzieje, kiedy z nim eksperymentujemy – gdy coś palimy albo przekształcamy – pozostaje zaskakująco płytki. Podobnie jak nie do końca pojmujemy fizykę szkła, nie całkiem rozumiemy procesy

zachodzące na poziomie cząsteczkowym, kiedy tężeje beton, albo to, co się dzieje w piecu, kiedy zmieniamy kwarc w krzem metaliczny. Otaczają nas tajemnice.

W każdym razie końcowy produkt, jakkolwiek byłby tajemniczy, rozpoczyna się od ziarenek piasku. Dużo mówi się o umiejętnościach rzemieślników z Murano tworzących szkło wyjątkowej jakości, ale znacznie rzadziej podkreśla się fakt, że Wenecja znajdowała się w idealnym miejscu, jeśli chodzi o dostępność niezbędego do tej produkcji surowca. Piasek mógł pochodzić z piaszczystego wybrzeża Lido oraz innych punktów wzdłuż linii brzegowej. Sodę kalcynowaną dało się przywieźć statkami z Egiptu albo Alicante, drewno do palenia w piecach dostarczyć z podnóża włoskich Alp, glinę z Vicenzy, a sól z Dalmacji. Po jakimś czasie szklarze zdali sobie sprawę, że mogą uzyskać jeszcze czystszy piasek, prażąc i rozcierając kamyczki kwarcu – nazywali je *cogoli* – a najlepsze pochodziły z koryta rzeki Ticino, wpływającej do północnych Włoch ze szwajcarskich Alp. Powstały w ten sposób zmielony kwarc zawierał mniej więcej 98 procent krzemionki. Bez tego piasku nie byłoby weneckiego przemysłu szklarskiego. Piasek tej jakości nie jest czymś, co występuje powszechnie. Co rodzi z kolei pytanie: skąd pozyskujemy taki piasek w dzisiejszych czasach? Gdzie, ujmując to inaczej, można znaleźć idealne ziarno?⁷

W poszukiwaniu świętego ziarna

Lochaline nie jest najbardziej odizolowanym miastem w Szkocji, ale trzeba się trochę nabiedzić, żeby tam dotrzeć: trzy, cztery godziny podróży z Glasgow, prom, a potem długa jazda po krętych jednopasmowych drogach przez jedną dolinę za drugą, z których każda zapiera dech bardziej niż poprzednia. Człowiek musi mieć dobry powód, żeby wybrać się w takie miejsce, ale tak się składa, że miałem doskonałą wymówkę. Polowałem na perfekcyjne ziarno piasku.

Co czyni ziarno piasku perfekcyjnym? Odpowiedź różni się w zależności od tego, kogo zapytamy. Ktoś, kto zamierza użyć go jako składnika cementu albo betonu, będzie miał zapewne całkiem inne kryteria niż ktoś, kto chce wypełnić nim piaskownicę albo boisko do siatkówki plażowej. Niemniej ja poszukiwałem czegoś bardzo konkretnego i bardzo specjalnego: najczystsze go piasku krzemionkowego na świecie.

Piasek krzemionkowy, czyli piasek zawierający ponad 95 procent krzemionki, ma mnóstwo zastosowań. Potrzebujemy go do filtrowania wody i do tworzenia form odlewniczych, do których wlewa się roztopione metale. Bez piasku krzemionkowego nasze koleje stałyby w miejscu, a raczej nie zdołałyby się zatrzymać, ponieważ używa się go w systemach hamulcowych nowoczesnych pociągów. Ale nade wszystko piasek krzemionkowy jest najważniejszym składnikiem w produkcji szkła. A jeśli chcemy mieć szkło najwyższej jakości, potrzebujemy najczystsze go z wszystkich piasków krzemionkowych, nazywanego czasem srebrnym piaskiem.

Najsłynniejszy srebrny piasek na świecie – przynajmniej wśród tych, którzy znają się na takich sprawach – znajduje się prawdopodobnie w Fontainebleau, lesie na południe od Paryża. Słynna szklana piramida w Luwrze jest zrobiona z piasku z Fontainebleau. Srebrne piaski występują także w belgijskim Mol, holenderskim Maastricht i niemieckim Lippe, a także w Kanadzie, USA, Brazylii i innych zakątkach świata. Nie należą może do najrzadszych surowców, ale nie są też łatwo dostępne. Niektóre kraje w ogóle nie posiadają tego rodzaju piasku – tak też przez długi czas było z Wielką Brytanią, dopóki około stu lat temu nie odkryto Lochaline.

Większość mojej podróży przebiegała w strugach deszczu bombardującego przednią szybę, gdy mknąłem wzdłuż jeziora Loch Lomond i przez dolinę Glen Coe, ale kiedy tylko dotarłem do promu Corran, nagle przestało padać i wyszło ciepło, ożywcze słońce. Stojąc na pokładzie promu płynącego przez Loch Linnhe, dostrzegłem na horyzoncie coś zastanawiającego: długą

rozpadlinę, biegnącą dalej, niż sięgał wzrok, osłoniętą z obu stron przez góry.

W rzeczywistości patrzyłem na coś w rodzaju geologicznej szramy, prastary rów tektoniczny, który rozdzielał kiedyś Szkocję na dwie części. Był to uskok Great Glen, ogromna dolina polodowcowa, która ciągnie się na północny wschód aż do Inverness. Gdzieś pomiędzy 300 a 400 milionów lat temu ląd leżący na północ odłączył się od lądu na południu i przesunął w bok, o 100 kilometrów w górę doliny.

Wiemy to, ponieważ geolodzy porównali skały po obu stronach uskoku. Było to jedno z odkryć, które doprowadziły do zrozumienia, jak działają płyty tektoniczne. Koncepcja wielkich kontynentalnych skorup ocierających się o siebie, formujących góry i rozpadliny, tworzących wulkany i trzęsienia ziemi, wylewających na powierzchnię magmę, która zmienia się w nowe skały, jest wciąż zaskakująco świeża. Ale przez większość istnienia naszej planety to właśnie tego typu procesy – geologiczne, a nie biologiczne – stanowiły główny punkt programu.

Zapewne słyszeliście o zegarze geologicznym albo analogii geologicznego roku, ale mimo wszystko warto to tu przytoczyć. Wyobraźmy sobie, że kompresujemy cały okres istnienia planety do jednego roku kalendarzowego – a zatem Ziemia powstała o północy 1 stycznia, a teraz, w chwili, kiedy to czytacie, jest ostatnia mikrosekunda przed północą 365 dni później, 31 grudnia. W ramach tej analogii jednokomórkowe organizmy zaczęły się pojawiać pod koniec lutego. Niektóre z najstarszych istniejących skał uformowały się na początku marca. Gnejs Lewisa, kompleks skał na wybrzeżu Szkocji, jeszcze dalej niż Lochaline, utworzył się w kwietniu (czyli około 3 miliardów lat temu). Ale życie w rozpoznawalnej formie, pierwsze owady i gady, wyewoluowały dopiero na początku grudnia, mniej więcej w tym samym czasie, kiedy uskok Great Glen przełamał Szkocję na pół. Era dinozaurów zaczęła się 13 grudnia, a zakończyła trzynastcie dni później. Meteoryt

odpowiedzialny prawdopodobnie za powstanie libijskiego szkła pustynnego uderzył w Wielkie Morze Piasku wczesnym rankiem 29 grudnia, natomiast pierwsze ludzkopodobne istoty pojawiły się 31 grudnia o godzinie 17.18. A co z *Homo sapiens*? Cóż, my w końcu dotarliśmy na tę imprezę kilkaset tysięcy lat temu, czyli mniej więcej o 23.45 w sylwestra.

Spojrzenie na świat przez taki pryzmat – z perspektywy tak zwanego głębokiego czasu – to przydatne ćwiczenie, zwłaszcza dla każdego, kto zakłada, że historia używanych przez nas materiałów zaczyna się w chwili, gdy wyciągamy je z ziemi albo składamy w fabryce. Gdy po przekroczeniu uskoku Great Glen znalazłem się na półwyspie Morvern i rozpocząłem ostatni etap podróży do Lochaline, jednocześnie przenosiłem się w przeszłość przez odmęty głębokiego czasu.

Choć brzmi to nieprawdopodobnie, ten chłostany wiatrami krajobraz wzgórz i jezior był dawno temu ujściem rzeki wpływającej do tropikalnego morza. Piękne białe plaże z kwarcopodobnego piasku obmywały łagodne fale, w których skorupiaki żerowały na mikroskopijnych organizmach. Przez dziesiątki milionów lat morze ścierało góry i w naturalny sposób przesiewało piasek, który stawał się coraz czystszy. Aż nagle, 60 milionów lat temu, ta rajska sceneria została unicestwiona przez gigantyczną erupcję wulkanu, która pokryła cały półwysep lawą.

Gdy przyjrzeć się uważnie, naokoło nie brakuje na to dowodów. Wyspa Mull jest tak naprawdę pozostałością tego wulkanu; w większości składa się z tego samego bazaltu, który przykrył teren Morvern. W niektórych strumieniach na półwyspie woda wyplukala bazaltową skorupę, odsłaniając białe piaskowice upstrzone czymś, co miejscowi nazywają „diabelskimi paznokciami” – skamieniałymi skorupiakami, które wyglądają trochę jak zasuszone szpony, jeśli odpowiednio oderwać je od skały. Ale to nie jedyny skarb, który w wyniku tamtej erupcji został uwięziony pod lawą.

Właśnie tu, ukryte pod warstwą skały wulkanicznej, znajdują się głębokie i obfite pokłady srebrnego piasku. Jego dziewięćdziesięciodziecioprocentowa zawartość krzemionki przy jedynie śladowej ilości tlenu żelaza czyni go zupełnie wyjątkowym. Jeśli chcecie zbudować zamek z piasku, źle trafiliście. Piasek z Lochaline jest tak drobny i sypki, że przelatuje przez palce, trochę jak drobno mielony cukier. Gdy obejrzeć go pod mikroskopem, staje się jasne, dlaczego wydaje się znacznie bardziej miękkie od zwyczajnego piasku: ziarenka mają kulisty kształt, wyszlifowany przez miliony lat erozji i nacisku. I właśnie dzięki temu powstaje z niego lśniące, niesamowicie przejrzyste szkło.

Inaczej, niż robi się to zwykle w piaskowej branży, nie wydobywa się go w kamieniołomie, tylko w kopalni sięgającej głęboko pod powierzchnię półwyspu Morvern. Na pierwszy rzut oka Lochaline wydaje się dziwnym miejscem na kopalnię – jest tak odległe, że jedynym sposobem na wywiezienie stamtąd piasku jest transport wodny, a zakłady i fabryki przerabiające surowiec na nadający się do użycia produkt znajdują się setki kilometrów dalej. Ponieważ piasek jest ciężki i niespecjalnie cenny w porównaniu z wieloma innymi rzeczami, które wyciągamy z ziemi, kamieniołomy są zazwyczaj zlokalizowane w pobliżu miejsc, gdzie istnieje zapotrzebowanie na materiał. Ale nie każdy piasek to piasek z Lochaline.

Do samej kopalni wchodzi się przez jedną z przyjeziornych sztolni – korytarzy, które schodzą pod ziemię. Najpierw jednak musiałem poddać się ceremonii poprzedzającej większość tego typu wizyt: włożyć odpowiednie buty i odblaskową kurtkę, przywiązać w pasie awaryjny aparat oddechowy, wysłuchać zasad bezpieczeństwa i wypełnić różne formularze. W Lochaline wszystko to odbyło się w maleńkim domku blisko wejścia do kopalni, który od samego początku służył jako tutejsze centrum dowodzenia. Na ścianie wisiała wypłowiała, ręcznie narysowana mapa z lat czterdziestych, pokazująca pierwsze wykopane tu korytarze. Obok

znajdował się bardziej aktualny plan kopalni. Na pierwszej mapie tylko kilka tuneli nieśmiało penetrowało wzgórze Lochaline. Na drugiej ta skromna sieć rozrosła się w ogromny, przypominający plaster miodu kompleks jaskiń wrzynających się głęboko w skałę.

„Nikt nigdy nie liczył, ale w sumie musi tego być ponad 300 kilometrów”, powiedział Ally Nudds, kierownik zmiany, wioząc mnie do jednej ze sztolni. Ally jest jednym z garstki ludzi, którzy wiedzą, jak poruszać się po tej kopalni. To jego tunele. Raz na jakiś czas blokuje jedne korytarze, a otwiera inne w celu wentylacji głębszych poziomów.

Po jednym czy dwóch zakrętach znaleźliśmy się w całkowitych ciemnościach. Tunele oświetlały jedynie przednie światła naszego jeepa odbijające się od oślepiająco białych ścian skalnych. Gdy wjeżdżaliśmy coraz głębiej pod ziemię, podążając za warstwami czystego piasku, uświadomiłem sobie, że jedziemy po przedwiecznej, nieistniejącej już plaży – skamieniałym rajy sprzed setek milionów lat. Przez dziesięć minut pojazd toczył się po piaszczystym podłożu jakby po śniegu, aż w końcu dotarliśmy do rozwidlenia dróg i Ally wyłączył silnik. Przez chwilę była tylko czarna ciemność, cisza i lekki zapach dieslowego silnika. Namacałem włącznik swojej latarki czołowej i wygramoliłem się z jeepa.

„Tutaj – oznajmił Ally – jest najlepszy piasek, jaki kiedykolwiek wykopywaliśmy. Siedemdziesiąt jednostek na milion” – dodał, odnosząc się do zawartości żelaza w piasku. Dla niewprawnego oka tunel wyglądał tak samo jak wszystkie poprzednie. Staliśmy tam przez moment, oglądając pionową szarobiałą ścianę, a ciszę mąciło jedynie dochodzące z ciemności miarowe kapanie wody. Później, kiedy już opuściliśmy kopalnię, mijając po drodze zalaną sekcję, którą można pokonać tylko łodzią, i z labiryntu podziemnych korytarzy wyjechaliśmy z powrotem na szkocki deszcz, na własne oczy zobaczyłem, dlaczego szklarze tak bardzo nienawidzą żelaza. Kierowniczką biura kopalni Veronique Walraven pokazała

mi dwie butelki, jedną zrobioną z „jej piasku”, jak to określiła, i drugą z bardziej typowego surowca, zawierającego trochę więcej jednostek żelaza. Ta druga miała w najgrubszych częściach zielonkawy odcień; ta pierwsza, wykonana z piasku z Lochaline, była niemal idealnie czysta.

Czystsze szkło może się wydawać zbyt cennym luksusem dla każdego z wyjątkiem najwybredniejszych koneserów whisky czy producentów okien, ale jak się okazuje, ta kwestia ma ogromne znaczenie. Przejrzystość szkła, a tym samym czystość piasku, z którego powstaje, sprawia wielką różnicę, kiedy tego szkła używa się do celów optycznych. A gdyby nie optyczne szkło, w szczególności soczewki potrzebne do lornetek, peryskopów i celowników, być może nigdy nie otwarto by tej kopalni. I tu dochodzimy do pierwszej wojny światowej, kiedy szkło odegrało istotną rolę w jednym z najbardziej zdumiewających epizodów w całej współczesnej historii militarnej.

Szklany głód

Jest późne lato 1915 roku. Wojska ententy ugrzęzły w wojnie okopowej z Niemcami na zachodnim froncie. Na południu w osmańskiej Turcji żołnierze brytyjscy z pomocą korpusu australijsko-nowozelandzkiego toczą ciężką walkę o kontrolę nad cieśniną Dardanele.

W tym samym czasie z Ministerstwa Uzbrojenia w Londynie zostaje potajemnie wysłany agent do Szwajcarii. Jego misją jest zorganizowanie dostawy specjalistycznego wojskowego sprzętu, którego najbardziej brakuje w brytyjskim arsenale: lornetek.

W czasach, kiedy każdy może bez trudu zamówić sobie tanią lornetkę z dostawą następnego dnia, trudno wręcz uwierzyć, że zdobycie przewagi militarnej mogło zależeć od dostępu do tak pozornie prozaicznego ekwipunku. A jednak przez lwią część XX wieku, a już na pewno w roku 1915, lornetki stanowiły szczyt

technologii (zresztą, jak się niedługo przekonamy, pod pewnymi względami nie zmieniło się to do dziś).

Większość poprzednich wojen opierała się na walce w bliskim kontakcie z wrogiem. Strzelając z broni palnej i artylerii, celowano gołym okiem, ponieważ ich zasięg był dość ograniczony. Jednakże na początku XX wieku broń rozwinęła się tak bardzo, że pociski mogły pokonywać nawet dziesiątki kilometrów, przez co absolutnie konieczne stały się optyczne dalmierze. Wielkie działa były użyteczne, tylko jeśli dało się nimi dobrze celować. Większe szanse na zwycięstwo mieli ci, którzy posiadali dostatecznie dużo lornetek, żeby ich żołnierze mogli obserwować horyzont z okopów i znad fal, ci, którzy mieli najlepszych snajperów z najmocniejszymi strzelbami i najdłuższymi teleskopowymi celownikami.

A w 1914 roku, kiedy austriacki arcyksiążę Franciszek Ferdynand został zamordowany wraz z żoną, co uruchomiło reakcję łańcuchową prowadzącą do wojny, nie było wątpliwości, kto ma największe szanse na zwycięstwo: Niemcy. W ciągu poprzednich kilkudziesięciu lat udało im się uzyskać kontrolę nad globalnymi zasobami precyzyjnych urządzeń optycznych: lornetek, teleskopów, peryskopów i dalmierzy, a także szerokiego zakresu innych soczewek o naukowym zastosowaniu. Nie była to kwestia jedynie akademicka czy ekonomiczna. Niemiecki monopol na teleskopowe celowniki do strzelb oznaczał, że w chwili wybuchu wojny ich snajperzy od razu zyskiwali znaczącą przewagę. Wojska ententy regularnie terroryzowali niemieccy strzelcy wyborowi, którzy zdawali się łamać prawa fizyki, zadając śmiertelne strzały z wielkich odległości.

Nazwa towarowa wygrawerowana na niemal wszystkich tych celownikach brzmiała Zeiss, a szkło w środku pochodziło z osobnej, ale powiązanej firmy: Schott. Otto Schott był niemieckim chemikiem, który spędził większość życia, eksperymentując z metodami udoskonalenia szkła – dodawał do roztopionej mieszanki

pierwiastki z układu okresowego, jeden po drugim, żeby zobaczyć jaki będzie efekt. To właśnie Schott wynalazł szkło borokrzemowe, którego używamy do dziś w naczyniach żaroodpornych i probówkach do transportowania szczepionek na COVID-19. Schott, Carl Zeiss oraz naukowiec Ernst Abbe, którzy pracowali wspólnie w mieście Jena w Turynгии, są powszechnie uznawani za kluczowe postacie dla rozwoju precyzyjnego szklarstwa.

W 1914 roku Wielka Brytania pozyskiwała od Niemiec, a dokładniej od Zeissa, jakieś 60 procent swojego optycznego szkła (kolejne 30 procent pochodziło z Francji, a jedynie 10 procent wytwarzały rodzime firmy, na czele z Chance Brothers z miasta Smethwick w regionie West Midlands). W czerwcu, na krótko przed zamachem na arcyksięcia, organizacja British Science Guild napisała:

Wielka Brytania została tak daleko w tyle pod względem produkcji instrumentów optycznych, że nie tylko nie jest w stanie zaspokoić swoich naukowych i przemysłowych potrzeb, ale w chwili obecnej nie mogłaby również bez pomocy z zewnątrz zapewnić swojej armii i marynarce wojennej dostatecznej ilości optycznych narzędzi, tak ważnych we współczesnych działaniach wojennych⁸.

Wraz z wypowiedzeniem wojny niemieckie dostawy zostały natychmiast przerwane. Francja musiała wyposażyć własnych żołnierzy, na czym również ucierpiał eksport, i tym samym brytyjska armia stanęła w obliczu groźnego niedoboru. We wrześniu 1914 roku jeden z najważniejszych brytyjskich dowódców, marszałek polny lord Roberts, wydał „niemalże rozpaczliwą odezwę” do społeczeństwa, prosząc o przekazywanie wszelkich posiadanych w domu lornetek, okularów operowych i teleskopów żołnierzom zmierzającym na front. W kilka tygodni zebrano ponad 2000 takich darów, w tym po cztery pary lornetek od króla i królowej. Ten miły gest nie mógł jednak pokryć zapotrzebowania sił zbrojnych, sięgającego dziesiątek, może nawet setek tysięcy sztuk.

Po jesieni nastąpiła zima, potem wiosna, a w prasie stale ukazywały się budzące litość ogłoszenia i prośby o lornetki od żołnierzy ruszających do okopów. Niektórzy zaczęli nazywać tę sytuację „szklanym głodem”. Był to bardzo trzeźwiący przykład tego, co może się stać, kiedy jedno państwo zdobywa niemal całkowity monopol w konkretnej gałęzi przemysłu (przemysłu zbudowanego na ziarnach piasku). Chociaż bowiem istniało wiele brytyjskich firm składających lornetki, wszystkie korzystały ze szkła sprowadzanego z Niemiec.

Tu dochodzimy do roku 1915 i tajnego agenta Ministerstwa Uzbrojenia wysłanego do zachowującej neutralność Szwajcarii. Dlaczego musiał działać potajemnie? Ponieważ otrzymał bardzo niezwykle zadanie. Jak czytamy w oficjalnej historii jego ministerstwa, jego misją było zdobycie lornetek z kraju, z którym Wielka Brytania toczyła właśnie wojnę:

Ze wstępnego dochodzenia wynika, że jedynym państwem mogącym zapewnić instrumenty optyczne w wymaganej ilości były Niemcy. W celu naprawy problemu, jaki spowodowało załamanie dostaw tych niezbędnych narzędzi, w sierpniu 1915 roku reprezentant Ministerstwa Uzbrojenia został wysłany do Szwajcarii, aby ocenić, czy jest możliwe uzyskanie pożądaných instrumentów od niemieckich źródeł.

Jedyną rzeczą bardziej niespodziewaną od tego, że Brytyjczycy postanowili poprosić Niemców o pomoc, było to, co wydarzyło się później: Niemcy się zgodzili.

„Na podstawie informacji otrzymanych szwajcarskimi kanałami z Niemiec ustalono, że niemieckie Ministerstwo Wojny mogłoby przystać na przekazanie brytyjskiemu rządowi następujących urządzeń” – tak głosi oficjalna relacja, po czym następuje lista proponowanych dostaw: 32 tysiące lornetek natychmiast, 15 tysięcy miesięcznie w przyszłości – jednym słowem, dostatecznie dużo, żeby

niemalże uzupełnić brytyjskie braki. Na tym nie koniec: Niemcy zaofierowali także od ręki 500 teleskopowych celowników, a później od 5 do 10 tysięcy miesięcznie. „Jeśli chodzi o próbki proponowanych instrumentów – czytamy dalej – zasugerowano, aby Brytyjskie Siły Zbrojne przebadaly ekwipunek pojmanyh niemieckich oficerów i zdobyte działa artyleryjskie”⁹.

To zdumiewająca historia, ale potwierdza ją dostatecznie dużo szczegółów w oficjalnych brytyjskich archiwach, aby móc ją uznać za najprawdziwszą prawdę. Dlaczego Niemcy byli gotowi przekazać Brytyjczykom technologię, która miała posłużyć do zabijania Niemców? Jak się okazuje, odpowiedź jest prosta – sami rozpaczliwie potrzebowali w zamian czegoś innego: gumy. Wielka Brytania wraz z sojusznikami – a raczej koloniami – nie tylko należała do największych producentów gumy na świecie, ale także skutecznie zablokowała niemiecki import lateksu, odcinając to państwo od surowca będącego niezbędnym składnikiem opon, przewodów i pasków klinowych w silnikach. Niemcy zażądali zatem gumy w zamian za swoje lornetki, a transakcja zgodnie z oficjalną relacją miała zostać przeprowadzona w Szwajcarii, na niemieckiej granicy*.

* To, w jaki sposób Wielka Brytania zdominowała globalny rynek gumy, to opowieść o przemysłowej kradzieży. Jeszcze pod koniec XIX wieku najbardziej wydajne w uprawie drzewo kauczukowe, kauczukowiec brazylijski (*Hevea brasiliensis*), występowało naturalnie jedynie w Ameryce Południowej. Ale w 1876 roku Henry Wickham przemycił dziesiątki tysięcy nasion do Kew Gardens w Londynie. Tylko garstka z nich zakiełkowała, ale te udane sadzonki zostały następnie przetransportowane do brytyjskich kolonii w Azji. W kolejnych latach Brytyjskie Malaje (dzisiejsza Malezja) wyprzedziły Brazylię, stając się największym producentem gumy na świecie. Ta „kradzież kauczuku” po dziś dzień budzi w Brazylii przykre wspomnienia. Jak się okazuje, cała intryga również nie byłaby możliwa bez szkła, ponieważ gdy delikatne sadzonki wysłano do Azji, przeżyły jedynie dzięki temu, że przewożono je w tak zwanej skrzynce Warda – przenośnej szklarni zbudowanej z drewna i szkła.

To, co wydarzyło się później, jest przedmiotem pewnych sporów. Według oficjalnej historii ministerstwa pomimo tego szernego porozumienia Brytyjczycy zdecydowali się jednak szukać dostaw z innych źródeł, w tym z USA. Ale dane handlowe wskazują, że Wielka Brytania faktycznie przyjmowała w kolejnych latach transporty niemieckich lornetek. Kiedy Guy Hartcup, nieżyjący już historyk technologii wojskowej, zbadał tę sprawę kilka lat temu, natrafił w Brytyjskich Archiwach Narodowych na notatkę służbową potwierdzającą odbiór 32 tysięcy sztuk w sierpniu 1915 roku. Wygląda na to, że dokument ten został następnie usunięty ze zbiorów¹⁰.

Guma i szkło. Przez pewien czas niedobór tych materiałów uważano za tak krytyczny, że dwie potęgi były gotowe nagiąć tradycyjne reguły wojny. Warto przyglądać się tego typu incydentom, chociażby dlatego, że zdarzają się tak rzadko. Przez większość naszego życia możemy bezpiecznie zakładać, że dany przedmiot, czy to lornetkę, czy półprzewodnik, czy bryłę metalu nieszlachetnego, można łatwo pozyskać z tej czy innej części świata. Ale raz na jakiś czas zdarza się katastrofa – jak wojna, pandemia albo pechowe zaklinowanie się statku w Kanale Sueskim – która powinna dać nam do myślenia.

Najbardziej zdumiewające jest to, jak rzadko cena takich dóbr odzwierciedla ich znaczenie. Wystarczy rzucić okiem na dane gospodarcze dotyczące dowolnego dużego państwa, żeby przekonać się, w jak minimalnym stopniu surowce naturalne są ujęte w jego PKB.

Stoi za tym oczywiście jasna i spójna logika ekonomiczna: w końcu statystyki takie jak produkt krajowy brutto mierzą to, ile ludzie są skłonni zapłacić za dany towar, a w 99 przypadkach na 100 podstawowe surowce – jak metale, minerały czy żywność – są dosyć tanie. Ale cena to nie to samo co wartość i czasem, w nadzwyczajnych okolicznościach takich jak wojna – ekonomiści nazywają to szokiem podażowym – możemy skończyć tak jak w 1915 roku

Brytyjczycy i Niemcy, którzy byli gotowi wymieniać się niezbędnymi dobrami, żeby dzięki nim móc się sprawniej wzajemnie zabijać. Jak oficerowie na okrętach po przeciwnych stronach konfliktu używający lornetek wyprodukowanych w tej samej fabryce, co zdarzyło się na Morzu Północnym w 1916 roku, kiedy brytyjska i niemiecka flota starły się w bitwie jutlandzkiej. Gdy naokoło spadały bomby, pewien brytyjski oficer zauważył sarkastycznie, jakie to ciekawe, że „Szkop przycupnięty na jednym z tych odległych masztów” obserwował brytyjskie okręty „przez lornetkę Zeissa, a ja obserwowałem jego statek przez identyczną lornetkę Zeissa”¹¹.

Szkło i wynalezienie strategii przemysłowej

Najbardziej ironiczny jest fakt, że w alternatywnej rzeczywistości te drogie lornetki zostałyby zapewne wyprodukowane nie przez firmę Zeiss z Jeny, ale przez Chance Brothers ze Smethwick. Aż do XIX wieku Wielka Brytania była powszechnie uznawana za wiodącego producenta szkła wysokiej jakości, podczas gdy szkło pochodzące z Bohemii cieszyło się dużo mniejszą renomą. Na długo przedtem, zanim Otto Schott zaczął swoje eksperymenty z recepturą szkła, angielski duchowny i polityk William Vernon Harcourt robił coś podobnego, dorzucając do płynnej masy szklanej beryl, kadm, fluor, lit, magnez, molibden, nikiel, wolfram i wanad, żeby zobaczyć, co z tego powstanie. Na którymś etapie dodał nawet uran, uzyskując szkło, które w ultrafioletowym świetle jarzyło się na zielono. Dziesiątki lat przed tym, nim Schott wynalazł słynne szkło borokrzemowe, Michael Faraday, najlepiej znany jako naukowiec, którego odkrycia z zakresu elektromagnetyzmu i elektrolizy pomogły wprowadzić świat w epokę elektryczności, stworzył coś w rodzaju szkła borokrzemowego z dodatkiem ołowiu.

Odebranie Wielkiej Brytanii optycznej dominacji przez Niemcy – czyli utrata przewagi technologicznej przez gospodarcze mocarstwo –

było jednym z tych przełomowych momentów, które często można znaleźć w historii świata surowców. W XVIII wieku Wielka Brytania była wiodącym producentem szkła na świecie, ale ta palma pierwszeństwa już wielokrotnie przechodziła z rąk do rąk w trakcie długich dziejów szklarstwa: wcześniej należała do Murano w Wenecji, do Rzymu, do Syrii, do Egiptu. To długa nić innowacyjności, która wyznacza granice ludzkiej cywilizacji.

Dziś szkło wydaje nam się czymś tak oczywistym, że zdarza nam się zapominać, z czego jest wykonane. Poprzednie pokolenia podchodziły do tego inaczej. Kiedy w XVII wieku George Ravenscroft stworzył szkło ołowiowe, czyli kryształowe – a dokładniej, kiedy dokonał tego jeden z jego włoskich pracowników – nazwał je flintem, od krzemieni z domieszką kwarcu występujących w południowo-wschodniej Anglii. W późniejszych latach główny składnik zmienił się z krzemienia na piasek krzemionkowy, ale nazwa została.

Z początku szkła flintowego używano w zastawie stołowej, ale wkrótce wytwórcy soczewek odkryli coś interesującego – coś, co najlepiej widać, kiedy napelni się szklaną wodą i włoży do środka słomkę. Przyglądając się z bliska, zobaczymy zapewne, że zanurzona słomka wygląda na wygiętą. Dlaczego? Ponieważ światło wolniej przechodzi przez wodę niż przez powietrze czy próżnię – dokładnie 1,33 razy wolniej. Ta liczba, współczynnik załamania światła, jest jedną z najważniejszych w fizyce, ponieważ jeśli rozumiemy, jak załamuje się światło, możemy zacząć nagiąć je do naszej woli.

Szkło flintowe, jak się okazało, miało wyższy współczynnik załamania światła niż normalne szkło sodowo-wapniowe (nazywane czasem kronowym). Łącząc warstwę flintu z warstwą kronu można było stworzyć krystalicznie czyste soczewki mogące powiększać obraz bez załamywania go. Ta zasada łączenia rodzajów szkła o różnym współczynniku załamania światła pozostaje jednym z filarów współczesnej optyki. Przewód światłowodowy

potrafi skutecznie przesyłać światło na ogromne odległości, ponieważ łączy wewnętrzny szklany rdzeń ze szklaną okładziną o innym współczynniku załamania. Dzięki temu, zamiast uciekać przez boczne powierzchnie, światło jest nieustannie zaginane z powrotem do środka. Zapewne sami widzieliście kiedyś to zjawisko, znane jako całkowite wewnętrzne odbicie. Tłumaczy ono, dlaczego powierzchnia basenu czy akwarium czasami przypomina lustro, kiedy patrzymy na nią od dołu.

To odkrycie oznaczało, że Anglia stała się światowym centrum produkcji szkła, zarówno komercyjnego, jak i na potrzeby zaawansowanej optyki, i pozostała nim przez większość XVII i XVIII wieku. Patrząc wstecz na historię świata, można dojrzeć intrygującą prawidłowość: w każdej kolejnej epoce nowa, rosnąca w siłę potęga gospodarcza jest z reguły także globalnym środkiem ciężkości w kwestii szklarstwa. Od starożytnego Egiptu, przez Rzym, Wenecję w XIII wieku i Holandię w XVI stuleciu, po Wielką Brytanię i Francję w XVIII wieku. I tak znów dochodzimy do Niemiec w 1914 roku.

W opowieści o tym, jak Niemcy wyprzedzili Brytyjczyków w tym wyścigu technologicznym, istotną rolę odgrywa ciężka praca Otto Schotta, którego eksperymenty w Jenie zapoczątkowały współczesny przemysł optyczny, ale przyczyna może równie dobrze sprowadzać się do czegoś znacznie bardziej prozaicznego: do podatków. Słyszeliście zapewne o podatku okiennym, nałożonym w 1696 roku za panowania Wilhelma III Orańskiego. Na długo przed wprowadzeniem podatku dochodowego rząd brytyjski w poszukiwaniu dodatkowych środków uznał, że im lepiej się komuś powodzi, tym większy posiada dom, a zatem postanowiono uzależnić wysokość podatku od liczby okien. Rezultat był taki, że wielu właścicieli nieruchomości zamurowało swoje okna, żeby obniżyć zobowiązanie podatkowe. W całej Anglii do dziś można zobaczyć wiele takich zaślepionych okien.

Podatek okienny nie był jedynym podatkiem od szkła. Pojawił się również szereg innych podatków, dzisiaj w większości zapomnianych, od samej produkcji szkła, obowiązujących między 1745 a 1845 rokiem. Nakładano je na wszystko, od szyb do okien po flint, od surowców po (nieco później) gotowe produkty. Im cięższe szkło, tym wyższa należność wobec państwa, co spowodowało, że przez pewien czas tylko najzamożniejsi mogli kupować ciężkie kryształowe kieliszki i stawiać szklarnie. Jednocześnie ucierpiał na tym sam przemysł. Choć niektórzy amatorzy, jak William Vernon Harcourt, nadal eksperymentowali z nowymi recepturami szkła, większość producentów szkła zaczęła się konsolidować. W 1845 roku, kiedy podatek od szkła został zniesiony, straty były już nieodwracalne. Firma Chance Brothers, czołowy producent w Wielkiej Brytanii, skoncentrowała się na udoskonalaniu jakości standardowego szkła, zamiast zatrudniać naukowców poszukujących nowych rozwiązań.

Co jakiś czas w parlamencie pojawiały się głosy ostrzegające przed utratą wiodącej pozycji w przemyśle szklarskim, ale dominującą ekonomiczną doktryną w XIX wieku było otwieranie się na zewnątrz zamiast chronienia tego, co się posiada. Jak ujęto to w pewnym raporcie rządowym kilka lat po pierwszej wojnie światowej: „Przez niemal sto lat państwo prosperowało w zgodzie z indywidualistycznymi doktrynami szkoły leseferyzmu; wolny handel kwitł przez ponad siedemdziesiąt lat”¹².

Tymczasem w Prusach państwo zapewniało wsparcie finansowe i gwarantowane zamówienia dla raczkującego sektora szklanego. Tę dziewiętnastowieczną formę strategii przemysłowej propagował, choć zabrzmiało to dziwnie, poeta Johann Wolfgang von Goethe. Schott, Abbe i Zeiss otrzymali czas i zaplecze potrzebne do prowadzenia eksperymentów. Ich odkrycie nowych rodzajów szkła o różnych właściwościach i współczynnikach załamania światła, a także udane wdrożenie ich do masowej produkcji, pozwoliło Niemcom w kilkadziesiąt lat zdobyć pełną dominację

w sektorze szkła optycznego, którą utrzymywali w momencie wybuchu wojny.

Ale niesprawiedliwie byłoby zrzucać całą winę za brytyjski głód szkła na podatki i gospodarczą politykę nieinterwencji. Imponujący rozwój niemieckiego szklarstwa nie był dziełem przypadku – wręcz przeciwnie. W tym samym czasie bowiem podobną strategię przyjął niemiecki przemysł chemiczny i farmaceutyczny: przedsiębiorstwa zaczęły wprowadzać do tradycyjnych rzemiosł rygorystyczne techniki naukowe. Właśnie wtedy, w dziewiętnastowiecznych Niemczech, narodził się sektor badawczo-rozwojowy. Świat surowców zaczął być traktowany poważnie.

We wszystkim, co zdarzyło się później, najbardziej uderzające jest to, jak szybko Wielkiej Brytanii udało się nadrobić zaległości. W następstwie największego kryzysu w 1915 roku i tajnej wymiany szkła za gumę Ministerstwo Uzbrojenia zaczęło pompować pieniądze i siłę roboczą w produkcję szkła. W ciągu kilku miesięcy brytyjscy naukowcy na zasadzie inżynierii wstecznej odtworzyli wiele spośród niemieckich szklanych produktów i pod koniec wojny Wielka Brytania wytwarzała już wystarczająco dużo szkła, żeby zaopatrzyć własnych żołnierzy oraz część swoich sojuszników. Jeśli płynie z tego jakikolwiek morał, to taki, że przy dostatecznym wsparciu i nakładzie sił możliwa jest rewitalizacja przemysłu w państwie. Ale podczas gdy fachowej wiedzy można się nauczyć, nie da się ot tak wyczarować niezbednych surowców.

Podczas pierwszej wojny światowej Wielka Brytania szczęśliwie wciąż miała dostęp do piasku z Fontainebleau – głównego składnika produktów optycznych. Została jednak całkowicie odcięta od niemieckich zasobów potażu, który służył szklarzom za topnik – podobnie jak bloki natronu przysłużyły się Fenicjanom tysiące lat wcześniej. Wobec braku tego surowca Brytyjczycy musieli improwizować. Oto jak według oficjalnych relacji próbowano zastąpić niemiecki potaż:

Sugerowano rozmaite rozwiązania, od owoców opuncji, paproci i łupin orzechów kokosowych po wykorzystanie pyłu spalinowego z miejskich spalarni odpadów. Każda propozycja była uważnie analizowana, w razie potrzeby przeprowadzano testy praktyczne.

Ostatecznie Wielka Brytania była w stanie zdobyć dostateczną ilość potażu, częściowo pozyskując go z niekonwencjonalnych źródeł, jak popiół pozostający w wielkich piecach po wytopie stali, a częściowo importując go z Rosji i Indii¹³.

Podczas drugiej wojny światowej sytuacja przedstawiała się inaczej. Terytorium zajęte przez nazistów w trakcie inwazji na Francję obejmowało również kopalnie piasku w Fontainebleau. Mimo wzrostu szklarskich kompetencji brytyjskie zakłady optyczne stały się praktycznie bezużyteczne bez odpowiedniego surowca do wyrobu soczewek. Rząd wysłał więc ekspedycję, która wyruszyła z Glasgow, pokonała cieśninę Corran, uskok Great Glen i dotarła do Lochaline na półwyspie Morvern, żeby zbadać, czy to odludne miejsce w jednym z najbardziej odizolowanych zakątków Wielkiej Brytanii jest w stanie uratować rodzimy przemysł szklarski.

Kopalnia piasku kwarcowego w Lochaline została otwarta latem 1940 roku i w kolejnych latach stała się niezastąpionym trybikiem w brytyjskiej maszynie wojennej. Wydobywany z niej piasek transportowano na południe do zakładów optycznych, gdzie topiono go i przerabiano na soczewki do lornetek, peryskopów i celowników. Na długo przedtem, zanim ktokolwiek sformułował koncepcję minerałów krytycznych, Lochaline stało się miejscem o wielkim znaczeniu militarnym i narodowym – nawet jeśli mało kto wiedział o jego istnieniu, co zresztą nie zmieniło się zbytnio do dziś. Gdy bomby spadały na Londyn, Coventry i inne części Wielkiej Brytanii, tamtejsze srebrne piaski miały za zadanie ocalić kraj przed nazistami.

Od tamtej pory, z wyjątkiem okresu trzech lat bezpośrednio po recesji 2008 roku, kopalnia działała nieprzerwanie. Nie jest to

wielkie przedsiębiorstwo – w tym małym domku nad brzegiem jeziora, podziemnych tunelach i przy maszynach wydobywających i przesiewających piasek pracuje w sumie około 30 osób, co i tak czyni z kopalni największego pracodawcę w tym miasteczku liczącym jakichś 200 mieszkańców.

Dziś kopalnia działa jako spółka joint venture włoskiej firmy Minerali Industriali i japońskiego koncernu NSG, który jakiś czas temu wykupił słynnego brytyjskiego producenta szkła, firmę Pilkington. Przez chwilę stałem w deszczu przed wejściem do kopalni, patrząc, jak strugi srebrnoszarego piasku – jedne z najbardziej idealnych ziaren piasku na świecie – pakowano do silosu. Mniej więcej raz na tydzień przyplywa statek, żeby zabrać te stopy surowca na południe. Część trafi do tych ultraprzejrzystych butelek, które pozwalają podziwiać niczym nieskażony odcień whisky single malt. Część zaś posłuży do bardziej intrygujących celów.

Mały procent piasku z Lochaline jest transportowany do Norwegii, gdzie zostaje wykorzystany w produkcji węgliku krzemu, materiału, który szybko staje się jednym z najważniejszych elementów elektryfikacji światowych pojazdów. Dzięki falownikom z węgliku krzemu samochody takie jak Tesla Model 3 mogą jeździć dłużej, ładować się szybciej i zużywać mniej energii niż poprzednie modele. Ten magiczny materiał może odegrać bardzo znaczącą rolę w ratowaniu naszej planety.

Ale zdecydowana większość piasku wykopywanego w Lochaline trafia do Pilkington. Tam topi się go i wylewa na warstwę stopionej cyny, uzyskując cienkie i idealnie płaskie szklane tafle. Choć proces stosowany w tych zakładach jest o wiele bardziej zaawansowany, zasadniczo nie różni się bardzo od tego, co Fenicjanie robili na plaży. Skład chemiczny jest zbliżony, podobnie jak reakcja stanowiąca istotę produkcji szkła. Tak naprawdę dopiero w latach trzydziestych XX wieku komuś udało się opracować radykalnie inną metodę.

Internet jest zrobiony ze szkła

W 1934 roku podczas pracy w laboratoriach w Corning w stanie Nowy Jork młody amerykański chemik James Franklin Hyde zdołał wytworzyć szkło, syntetyzując je ze związków chemicznych: rozpylił tetrachlorek krzemu (płyn uzyskiwany przez rozpuszczenie piasku krzemionkowego w związkach chlorkowych) prosto w płomień palnika spawalniczego. Powstałe w ten sposób szkło było wyjątkowe nie tylko z uwagi na użytą metodę – stanowiącą pierwszy przełom w produkcji szkła od tysięcy lat – ale również pod względem składu chemicznego. Hyde wyprodukował niemal nieskazitelną formę szkła kwarcowego, czystsza nawet od libijskiego szkła pustynnego. To, co powstało naturalnie za sprawą uderzenia meteorytu w Wielkie Morze Piasku, teraz dało się odtworzyć w laboratorium.

Z biegiem lat szkło kwarcowe miało zrewolucjonizować sektor optyczny, ale jak często bywa z tego rodzaju innowacjami, musiało minąć trochę czasu, zanim naukowcy z Corning wymyślili, co z nim zrobić. Eksperymentowali, dodając je do naczyń żaroodpornych, które okazały się jeszcze wytrzymalsze od tych produkowanych przez Pyrex. Wysoka odporność na temperaturę oznaczała, że szkło kwarcowe dałoby się zastosować w stożkach nosowych pocisków rakietowych oraz oknach wahadłowców kosmicznych i Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Ale prawdziwy moment objawienia – które miało w dalszej perspektywie umożliwić całe nasze cyfrowe życie – wydarzył się w betonowym biurze na peryferiach Londynu.

Centrum badań Standard Telecommunication Laboratories (STL) dziś już nie istnieje. Ale przez pewien czas ten mało estetyczny kompleks położony tuż za Harlow w Essex był jednym z najważniejszych ośrodków naukowych na świecie, w znacznym stopniu dzięki odkryciom dokonany tam przez Charlesa Kao, elektrotechnika urodzonego w Szanghaju.

Odkąd w latach siedemdziesiątych XIX wieku Alexander Graham Bell wynalazł telefon, większość informacji transmitowano

miedzianymi drutami – niezłe rozwiązanie, ale obarczone poważnymi wadami. Sygnał telefoniczny miał to do siebie, że pokonując większe odległości, stawał się słabszy, bardziej stłumiony. Inżynierowie zatrudnieni w firmie Bella AT&T i jej skrzydle badawczym Bell Labs spędzili sporą część kolejnych kilkudziesięciu lat, próbując uporać się z tym problemem. Tworzyli grubsze i sztywniejsze przewody miedziane, instalowali cewki i wzmacniacze, wynaleźli lampy próżniowe (wykonane z precyzyjnie dmuchanego szkła), żeby zwiększyć siłę sygnału. Technologie te okazały się dostatecznie pewne i skuteczne, by umożliwić AT&T rozciągnięcie miedzianych kabli po całym terytorium Stanów Zjednoczonych, a w latach pięćdziesiątych XX wieku także na drugą stronę Atlantyku, od Nowej Szkocji do miasteczka Oban, niedaleko na południe od Lochaline (udało się tym samym zastąpić wolne i przestarzałe transatlantyckie przewody telegraficzne z XIX stulecia).

Ale przewód miedziany jest w stanie przynieść tylko ograniczoną ilość informacji z ograniczoną prędkością. A w latach sześćdziesiątych w STL, skrzydle badawczym firmy Standard Telephones and Cables, Charles Kao dokonał przełomowego odkrycia, które miało zmienić oblicze komunikacji długodystansowej, dając początek epoce światłowodów, czyli tej, w której żyjemy obecnie.

Trudno przecenić wagę tej innowacji. Cała współczesna komunikacja odbywa się, w ten czy inny sposób, za pomocą światłowodów. Gdy idziemy przez świat, wymachując urządzeniami, które łączą się bezprzewodowo z sieciami lokalnymi lub telefonicznymi, łatwo wmówić sobie, że udało nam się zdematerializować wiek informacji. A jednak nic z tego, co robimy na co dzień – wideokonferencje, wyszukiwarki internetowe, e-maile, przechowywanie danych w chmurze, strumieniowanie seriali – nie byłoby możliwe bez udziału czegoś na wskroś fizycznego. Albowiem z wyjątkiem ostatnich kilku metrów – tych pomiędzy tobą a twoim routerem, albo pomiędzy twoim domem a lokalnym punktem wymiany ruchu internetowego – praktycznie każdy kilometr

pokonywany przez dane w sieci odbywa się pod postacią wiązek światła na włóknach szkła.

Światłowód to zasadniczo długi przewód ze szkła, a raczej dwa długie szklane przewody, jeden wewnątrz drugiego – rdzeń transmitujący informacje oraz zewnętrzna warstwa sprawiająca, że światło odbija się i załamuje wewnątrz przewodu, zamiast uciekać na zewnątrz. Aby stworzyć jedno takie włókno, trzeba najpierw wyprodukować grubą, dwuwarstwową rurę, która wygląda jak wielka szklana próbówka – jest to tak zwana preforma – a następnie rozciągnąć ją pod wpływem bardzo wysokiej temperatury, aż stanie się cienka jak włos. Odkrycie Kao w latach sześćdziesiątych polegało na tym, że światło można przysyłać takimi włóknami na długie dystanse, pod warunkiem że szkło jest odpowiednio przejrzyste.

W tamtych czasach problem tkwił w tym, że najlepsze szkło optyczne wytwarzane konwencjonalnymi metodami było w stanie przesyłać światło jedynie na odległość około 10 metrów, dlatego Kao rozpoczął poszukiwania jeszcze klarowniejszego rodzaju szkła. Znalazł je pod postacią ultraprzejrzystego szkła kwarcowego stworzonego w latach trzydziestych przez Jamesa Franklina Hyde'a w Corning. Kao obliczył, że dzięki takiemu szkle światło mogłoby przebyć wiele kilometrów przy minimalnej utracie danych. A ponieważ przepustowość tych maleńkich włókien była o niebo większa niż znacznie grubszych drutów miedzianych, nawet niewiarygodnie cienka szklana nitka mogła przesyłać nieporównanie więcej informacji.

Wynalezienie światłowodu było, jak większość punktów zwrotnych w nauce, efektem syntezy zdolności umysłowych i inżynierii materiałowej. Jeżeli w ogóle ktoś pamięta takie przełomowe odkrycia, to pamięta właśnie sir Charlesa Kao, uhonorowanego Nagrodą Nobla w dziedzinie fizyki w 2009 roku i tytułem szlacheckim przez królową Elżbietę II rok później. Park biznesowy zbudowany na miejscu wyburzonych laboratoriów w Harlow nosi

dziś nazwę Kaopark. Rzadko zastanawiamy się nad niesamowitymi właściwościami szkła, umożliwiającą funkcjonowanie całej infrastruktury informacyjnej, na której opiera się nasze życie. Ale pod ziemią, poza zasięgiem wzroku, znajduje się przecinająca oceany i oplatająca planetę sieć cienkich jak włos szklanych włókien, dzięki którym kręci się współczesny świat.

Nikt nie zwraca na te rzeczy większej uwagi, tak samo jak zwykle ignorujemy miedziane kable dostarczające nam prąd, naważy zapewniające nam pożywienie czy stal wzmacniającą nasze budynki. Ale ostatecznie chyba właśnie na tym to polega. Te materiały są wszędzie i nigdzie. Kilka lat temu sędzia amerykańskiego Sądu Najwyższego próbował przedstawić swoją własną definicję pornografii: „Rozpoznaję ją, kiedy ją widzę”. W świecie surowców powinniśmy raczej odwrócić to zdanie. Co jest naprawdę ważne, ponad wszystko, dla ludzkiej cywilizacji? „Rozpoznajemy to, kiedy tego nie widzimy”.

A rzadko która substancja jest przez nas lekceważona bardziej niż piasek, z którego budujemy otaczający nas świat. Stanowi on podstawę współczesnego życia, a jednak, jak się okazuje, zwracamy na niego tak mało uwagi, że ledwie zdajemy sobie sprawę, jak bardzo jest ważny.