Prawo i etyka bioinspiracji: między patentem a metabolizmem natury w książce Bioinspired Samuela Corda Stiera

AUTOR

Fundacja Dobre Państwo

STRESZCZENIE / ABSTRACT

Artykuł analizuje zawiłości prawne związane z bio inspiracją, skupiając się na rozróżnieniu między odkryciem biologicznym a patentowanym wynalazkiem. Autor wyjaśnia, że prawo patentowe nie chroni samych zjawisk natury ani idei biologicznych, lecz ich konkretną, techniczną implementację stworzoną przez człowieka. Na przykładach takich jak system CRISPR-Cas9 czy struktura płetwy humbaka, tekst pokazuje, że ochrona prawna dotyczy rozwiązania zdefiniowanego w zastrzeżeniach patentowych, a nie monopolu na cechę organizmu. Omówiono również wymogi nowości i poziomu wynalazczego zgodnie z Konwencją o patencie europejskim oraz polskim Prawem własności przemysłowej, wskazując na paradoks biologicznego stanu techniki (prior art.), gdzie natura dostarcza inspiracji, ale nie stanowi automatycznie przeszkody w opatentowaniu technicznej reguły działania.

The article analyzes the legal intricacies associated with bio-inspiration, focusing on the distinction between a biological discovery and a patented invention. The author explains that patent law does not protect natural phenomena or biological ideas themselves, but rather their specific technical implementation created by humans. Using examples such as the CRISPR-Cas9 system or the humpback whale fin structure, the text shows that legal protection applies to a solution defined in the patent claims, not a monopoly on an organism's trait. The requirements of novelty and inventive step according to the European Patent Convention and Polish Industrial Property Law are also discussed, pointing to the paradox of biological prior art, where nature provides inspiration but does not automatically constitute an obstacle to patenting a technical rule of operation.

Artykuł analizuje bioinspirację nie jako akt naśladownictwa, lecz jako rygorystyczną metodę rozszerzania ludzkiej przestrzeni projektowej. Autor stawia tezę, że przejście od kopiowania form biologicznych do abstrakcji zasad technicznych wymaga precyzyjnego rozróżnienia między odkryciem zjawiska a wynalazkiem, co znajduje odzwierciedlenie w złożonych sporach prawnych i patentowych (np. wokół CRISPR). Tekst prowadzi czytelnika od mikro-rozwiązań inżynieryjnych do makro-skali gospodarki metabolicznej, argumentując, że prawdziwa biomimetyka systemowa powinna dążyć do projektowania przemijalności formy przy zachowaniu wartości materii. Kluczowym przesłaniem jest konieczność odrzucenia naiwnego optymizmu – natura nie jest zbiorem optymalnych rozwiązań, lecz archiwum kompromisów ewolucyjnych i błędów. W konsekwencji bioinspiracja staje się narzędziem poznawczym, które wymusza na człowieku przyjęcie etyki odpowiedzialności: to my musimy zdecydować, które mechanizmy biologiczne są wartościowe, a których nie wolno przenosić do świata ludzkiego, by uniknąć pułapek technologicznych i moralnych.

SŁOWA KLUCZOWE

bioinspiracja | prawo patentowe | biomimetyka | prior art | biopiractwo | CRISPR-Cas9 | zasoby genetyczne | Protokół z Nagoi | stan techniki | poziom wynalazczy | implementacja techniczna | benefit-sharing | ISO 18458 | translacja zasad biologicznych | produkt natury

Patent chroni techniczną implementację, a nie zjawisko natury

Czy można opatentować pomysł natury? Prawo biologicznej inspiracji – między odkryciem, wynalazkiem, biopiractwem a własnością nad wiedzą.

Im głębiej bioinspiracja przenika do technologii, tym bardziej niewygodne staje się pytanie o własność. Jeśli Alexander Graham Bell obserwuje ludzkie ucho i na tej podstawie konstruuje urządzenie, Frank Fish analizuje płetwę humbaka, a biolog molekularny przejmuje bakteryjny mechanizm CRISPR-Cas9, by przekształcić go w programowalne narzędzie edycji genomu – to w

którym dokładnie momencie coś, co przez miliony lat należało do wspólnej rzeczywistości biologicznej, staje się przedmiotem prywatnego prawa wyłącznego? Materiał źródłowy wielokrotnie przywołuje intuicję Janine Benyus, według której najlepsze idee mogą nie być nasze, a naturę przedstawia jako dział badań i rozwoju funkcjonujący od miliardów lat. Prawo patentowe musi jednak przełożyć tę poetycką metaforę na język znacznie bardziej pragmatyczny: nowości, poziomu wynalazczego, technicznego charakteru rozwiązania, ujawnienia wynalazku oraz zakresu zastrzeżeń patentowych. Punktem wyjścia musi być rozróżnienie, które w potocznym języku często ulega zatarciu.

Patent nie jest prawem własności do idei w ogólności ani certyfikatem potwierdzającym, że jego właściciel „wymyślił" wszystkie elementy danej technologii. Jest to ograniczone czasowo i terytorialnie prawo wyłączne dotyczące wynalazku określonego przez zastrzeżenia patentowe. WIPO przypomina, że patent umożliwia uprawnionemu przede wszystkim decydowanie o tym, kto może komercyjnie wytwarzać, stosować, oferować, sprzedawać lub importować rozwiązanie objęte ochroną; typowy okres ochrony wynosi dwadzieścia lat od daty zgłoszenia. Należy przy tym pamiętać, że patent jest w istocie prawem do wykluczania innych, a nie automatycznym zezwoleniem na korzystanie z technologii. Eksploatację wynalazku mogą nadal ograniczać inne patenty, regulacje farmaceutyczne, przepisy środowiskowe czy wymogi bezpieczeństwa.

W kontekście bioinspiracji rozróżnienie to ma kluczowe znaczenie. Patent na łopatę turbiny inspirowaną humbakiem nie oznacza własności nad płetwą tego zwierzęcia. Patent dotyczący technicznej implementacji CRISPR nie daje prawa do bakteryjnego systemu odpornościowego jako zjawiska natury, a patent na określoną strukturę adhezyjną wzorowaną na gekonie nie oznacza monopolu na biologiczną przyczepność. Ochrona prawna dotyczy skonstruowanego przez człowieka rozwiązania zdefiniowanego w zastrzeżeniach, a nie samego faktu, że natura wcześniej demonstrowała podobną zasadę. W europejskim systemie patentowym granica między odkryciem a wynalazkiem jest nakreślona bardzo wyraźnie. Artykuł 52 Konwencji o patencie europejskim przewiduje, że patent może zostać udzielony na wynalazek w dowolnej dziedzinie techniki, jeśli jest on nowy, posiada poziom wynalazczy i nadaje się do przemysłowego stosowania. Jednocześnie odkrycia, teorie naukowe i metody matematyczne nie są jako takie traktowane jako wynalazki.

Odkrycie, że skrzydło motyla wytwarza kolor poprzez strukturę fotoniczną, nie daje monopolu na tę właściwość owada. Podobnie odkrycie, że powierzchnia rekina wpływa na zachowanie przepływu lub adhezję mikroorganizmów, nie stanowi jeszcze wynalazku. Europejskie orzecznictwo patentowe rozwija tę różnicę w sposób szczególnie przydatny dla biomimetyki.

Rozróżnienie między odkryciem biologicznym a wynalazkiem technicznym

Samo odkrycie nieznanej wcześniej właściwości znanego materiału pozostaje jedynie odkryciem. Jeśli jednak człowiek wykorzysta tę cechę do osiągnięcia konkretnego rezultatu technicznego, praktyczne zastosowanie może stać się patentowalnym wynalazkiem – oczywiście pod warunkiem spełnienia pozostałych przesłanek. W ten sposób prawo wykonuje operację zbliżoną do epistemologii bioinspiracji rozwijanej w całym artykule: natura dostarcza zjawiska, lecz wynalazek zaczyna się w momencie, gdy człowiek przekształca rozpoznaną właściwość w techniczną regułę działania.

Polskie Prawo własności przemysłowej opiera się na tym samym schemacie. Urząd Patentowy RP wskazuje, że zgodnie z art. 24 patenty udzielane są na wynalazki nowe, posiadające poziom wynalazczy i nadające się do przemysłowego stosowania, przy czym rozwiązanie musi mieć charakter techniczny. Dla inżyniera bioinspirowanego pytanie nie brzmi zatem: „czy natura już to robi?", lecz: „czy moje konkretne rozwiązanie techniczne było wcześniej publicznie ujawnione, czy dla specjalisty wynikało w sposób oczywisty ze stanu techniki i czy potrafię opisać je jako wykonalne technicznie?".

Tu pojawia się interesujący paradoks dotyczący biologicznego prior art. Intuicyjnie można uznać, że skoro humbak posiada tubercles od milionów lat, to natura od milionów lat stanowi „stan techniki". Patentowe pojęcie prior art jest jednak bardziej rygorystyczne. W Europejskiej Konwencji Patentowej stan techniki obejmuje wszystko, co przed datą zgłoszenia zostało udostępnione publicznie – poprzez opis pisemny, ustny, używanie lub w jakikolwiek inny sposób. Samo istnienie mikroskopijnej właściwości organizmu, której nikt nie potrafił rozpoznać ani technicznie odtworzyć, nie funkcjonuje więc automatycznie jak dwustuletnia publikacja patentowa czekająca w bazie danych.

Ta różnica prowadzi do jednego z najciekawszych problemów filozoficznych prawa wynalazczego. Przyroda może „ujawniać" rozwiązanie fizycznie, ale niekoniecznie ujawnia je poznawczo. Skrzydło Morpho było dostępne wzrokowi człowieka przez tysiące lat, lecz jego nanostrukturalny mechanizm barwy stał się dostępny technicznej analizie dopiero wraz z rozwojem odpowiednich instrumentów. Bakterie stosowały CRISPR na długo przed pojawieniem się człowieka, ale nie istniał publiczny opis umożliwiający specjaliście wykorzystanie tego systemu do zaprogramowanej edycji genomu eukarionta. Prawo patentowe nie zajmuje się więc metafizycznym pytaniem o to, czy coś „już istniało", lecz pytaniem epistemicznym: co zostało udostępnione człowiekowi w formie umożliwiającej techniczne wykorzystanie.

Granica między odkryciem natury a patentowalnym wynalazkiem

Zasada ta ma jednak drugą stronę. Gdy wiedza biologiczna zostanie opublikowana, może stać się skutecznym narzędziem niszczącym nowość późniejszego zgłoszenia lub osłabiającym jego poziom wynalazczy. Artykuł 56 EPC definiuje poziom wynalazczy poprzez pytanie, czy rozwiązanie w świetle stanu techniki było oczywiste dla osoby znającej daną dziedzinę. Jeśli literatura biologiczna szczegółowo opisuje mechanizm struktury, a zastosowanie inżynierskie okazuje się jedynie rutynowym przeniesieniem znanej funkcji do oczywistego urządzenia, uzasadnienie ochrony patentowej staje się znacznie trudniejsze. Bioinspiracja tworzy tu specyficzną sytuację: biolog publikujący dokładny opis mechanizmu bez zamiaru jego komercjalizacji może nieświadomie stworzyć prior art dla późniejszego przedsiębiorcy. Z perspektywy nauki jest to sukces otwartości wiedzy; z punktu widzenia firmy – ograniczenie zakresu przyszłego monopolu patentowego. Napięcie między publikacją a patentem stanowi jeden z klasycznych problemów transferu technologii na uniwersytetach. Naukowiec jest nagradzany za szybkie publiczne ujawnienie wyników, podczas gdy system patentowy premiuje zgłoszenie dokonane przed ujawnieniem, które mogłoby zniszczyć nowość w jurysdykcjach stosujących rygorystyczną zasadę pierwszeństwa. Jednocześnie natura stawia przed prawem w biotechnologii problem znacznie trudniejszy niż w przypadku turbiny czy anteny.

Gdy człowiek buduje metalową strukturę inspirowaną płetwą wieloryba, artefakt jest wyraźnie wytworzony. Jednak przy izolacji białka, sekwencji DNA lub mikroorganizmu istniejącego wcześniej w naturze, granica między odkryciem a wytworzeniem staje się mniej intuicyjna. Prawo europejskie przyjęło w tej kwestii rozwiązanie relatywnie szeroko otwierające możliwość patentowania biotechnologii. Dyrektywa 98/44/WE stanowi, że materiał biologiczny wyizolowany ze środowiska naturalnego albo wytworzony w procesie technicznym może być elementem patentowalnego wynalazku nawet wtedy, kiedy wcześniej występował w przyrodzie. Jednocześnie ciało ludzkie w poszczególnych stadiach rozwoju oraz samo odkrycie jego elementu, w tym sekwencji genu, nie stanowią wynalazku. Koncepcję tę rozwijają Reguła 27 EPC oraz wytyczne Europejskiego Urzędu Patentowego. Polskie przepisy są w tym zakresie bardzo podobne.

Art. 93² Prawa własności przemysłowej pozwala obejmować wynalazkiem między innymi materiał biologiczny wyizolowany ze środowiska naturalnego lub otrzymany technicznie, nawet jeżeli występował wcześniej w naturze. W odniesieniu do sekwencji genu wymagane jest ponadto ujawnienie funkcji i zastosowania przemysłowego. Urząd Patentowy RP ujmuje tę różnicę szczególnie klarownie: samo odkrycie naturalnie występującego mikroorganizmu nie podlega

patentowaniu, natomiast techniczna metoda jego izolowania lub zastosowanie wykorzystujące taki mikroorganizm może już stanowić wynalazek. Nie jest to jednak zasada uniwersalna; Stany Zjednoczone przesunęły tę granicę inaczej.

W precedensowym wyroku Association for Molecular Pathology v. Myriad Genetics z 2013 roku Sąd Najwyższy uznał, że naturalnie występujący fragment DNA nie staje się patentowalny tylko dlatego, że został wyizolowany z genomu. Jednocześnie syntetyczne cDNA mogło spełniać przesłankę przedmiotowej zdolności patentowej właśnie dlatego, że nie występuje w tej postaci w naturze. Amerykańska doktryna "product of nature" pokazuje więc, że odpowiedź na pytanie „czy izolacja wystarcza?" zależy od konkretnego systemu prawnego. Porównanie Europy i Stanów Zjednoczonych ujawnia, że granica między naturą a wynalazkiem nie jest odkryciem naukowym.

Jest ona konstrukcją normatywną prawa. Biolog może precyzyjnie opisać operacje laboratoryjne wykonane na DNA, lecz nie odpowie metodą eksperymentalną na pytanie, czy rezultat powinien otrzymać dwudziestoletnią ochronę monopolistyczną. Decyzję tę podejmuje system prawny, próbując równoważyć zachętę do kosztownych badań z interesem społecznym, który wymaga pozostawienia podstawowych elementów natury i wiedzy w domenie dostępnej dla nauki. W tym miejscu patent przestaje być tylko technicznym instrumentem i ujawnia swój ekonomiczny charakter. Jak pokazano wcześniej, wiedza łatwo wywołuje spillover: raz ujawniona może być wykorzystywana przez innych przy niskim koszcie reprodukcji. Patent jest próbą rozwiązania tego problemu poprzez czasowe stworzenie sztucznej rzadkości. Społeczeństwo mówi wynalazcy: ujawnij rozwiązanie na tyle dokładnie, aby specjalista mógł je wykonać, a w zamian otrzymasz ograniczone w czasie prawo wyłączenia innych z komercyjnego korzystania w zakresie objętym zastrzeżeniami. Europejski art. 83 EPC wymaga właśnie dostatecznie jasnego i kompletnego ujawnienia, by osoba znająca dziedzinę mogła wynalazek wykonać. Patent jest więc kontraktem epistemicznym: monopol w zamian za publikację wiedzy. Bioinspiracja komplikuje ten układ, ponieważ część intelektualnego „wkładu" pochodzi z systemu, który nie może być stroną umowy.

Rekin nie otrzyma tantiem. Humpback nie posiada osobowości prawnej uprawniającej do wynagrodzenia za tubercles. Bakteria nie dochodzi udziału w przychodach z CRISPR. Z punktu widzenia klasycznego prawa patentowego nie stanowi to problemu: natura nie jest wynalazcą w znaczeniu normatywnym, ponieważ prawo wynalazcze chroni ludzką działalność techniczną, a nie ewolucyjne powstanie cechy.

Biopiractwo jako efekt nierówności epistemicznej i infrastrukturalnej

Problem zmienia charakter, gdy między naturą a laboratorium staje człowiek posiadający wcześniejszą wiedzę o świecie przyrody. Wówczas pytanie nie brzmi już, czy należy wynagrodzić roślinę, lecz czy społeczność, która przez setki lat znała jej właściwości lecznicze, może zostać pominięta przez przedsiębiorstwo przedstawiające tę wiedzę jako własne odkrycie. Tu rodzi się konflikt określany mianem biopiractwa, choć WIPO słusznie zauważa, że termin ten nie posiada jednej, powszechnie uzgodnionej definicji prawnej. Klasyczne przykłady z Indii pokazują, że problem dotyczy często nie tyle legalnego patentowania rzeczywistej innowacji opartej na naturze, co błędnego patentowania tego, co już stanowiło wiedzę publiczną lub tradycyjną.

W połowie lat dziewięćdziesiątych amerykański patent dotyczący wykorzystania kurkumy do gojenia ran został zakwestionowany przez indyjski Council of Scientific and Industrial Research poprzez wykazanie wcześniejszej znajomości tego zastosowania. W 1997 roku patent unieważniono. Spór ten stał się jednym z impulsów do utworzenia indyjskiej Traditional Knowledge Digital Library, której zadaniem jest między innymi udostępnianie urzędom patentowym informacji tradycyjnych jako przeszukiwalnego stanu techniki.

Podobny symboliczny status zyskał neem. Europejski patent obejmujący określone grzybobójcze zastosowanie ekstraktów z nasion tej rośliny został zakwestionowany m.in. dzięki dowodom na jej wcześniejsze tradycyjne wykorzystanie w Indiach. Postępowanie zakończyło się utratą ochrony, a przypadek ten stał się jednym z najczęściej przywoływanych przykładów starcia systemu patentowego z wiedzą tradycyjną. Najważniejsza lekcja nie brzmi jednak: „nie wolno patentować technologii z neem", lecz: wiedza tradycyjna może być prior art, nawet jeśli wcześniej nie została zapisana w języku zachodnich publikacji naukowych.

Jest to historycznie kluczowe. System patentowy przez dekady był optymalizowany pod kątem wyszukiwania informacji w dokumentach i oficjalnych publikacjach. Wiedza przekazywana ustnie, zakorzeniona w lokalnych praktykach lub zapisana w tekstach niedostępnych zachodnim egzaminatorom mogła pozostawać prawnie niewidoczna, choć społecznie doskonale znana. Problem biopiractwa okazuje się zatem częściowo problemem nierówności epistemicznej infrastruktury. To, czego nie widzi baza patentowa, nie przestaje istnieć.

Digitalizacja tradycyjnej wiedzy niesie jednak ze sobą pewien paradoks. Aby chronić zasoby przed nieuprawnionym opatentowaniem przez osoby trzecie, wspólnota może zostać zmuszona do ich udokumentowania. Dokumentacja ułatwia wykazanie braku nowości, ale jednocześnie zwiększa

dostępność informacji dla firm, które wcześniej o niej nie wiedziały. Ochrona defensywna poprzez ujawnienie może więc kolidować z pragnieniem zachowania wiedzy jako elementu kultury ograniczonej do konkretnej społeczności. Prawo własności intelektualnej spotyka się tutaj z antropologią tajemnicy, rytuału i zbiorowego autorstwa.

Odpowiedzią prawa międzynarodowego nie było przyznanie ludom lokalnym patentów na całość ich wiedzy, lecz rozwój innego mechanizmu: dostępu do zasobów genetycznych i podziału korzyści. Protokół z Nagoi ustanawia zasadę, zgodnie z którą dostęp do zasobów genetycznych może podlegać uprzedniej świadomej zgodzie państwa dostarczającego zasób oraz wzajemnie uzgodnionym warunkom, a korzyści z ich wykorzystania powinny być dzielone w sposób sprawiedliwy i równy. W odniesieniu do tradycyjnej wiedzy związanej z zasobami genetycznymi przewidziano udział właściwych społeczności rdzennych i lokalnych.

Korzyść nie musi oznaczać wyłącznie tantiem. Załącznik do Protokołu wymienia m.in. płatności, opłaty licencyjne i wspólną własność praw intelektualnych, ale również dzielenie wyników badań, transfer technologii, współpracę naukową, szkolenia oraz budowanie lokalnych zdolności badawczych. Jest to szczególnie istotne w kontekście poprzedniej części artykułu. Jeśli problemem krajów bogatych biologicznie jest brak absorptive capacity, sprawiedliwy benefit-sharing może oznaczać nie tylko zapłatę za próbkę, lecz stworzenie kompetencji umożliwiających lokalnym społecznościom samodzielne wejście w bardziej wartościowe ogniwa łańcucha innowacji.

Transparentność źródeł i spory o pierwszeństwo patentowe

W maju 2024 roku system międzynarodowy zrobił kolejny krok. Państwa członkowskie WIPO przyjęły Traktat o własności intelektualnej, zasobach genetycznych i powiązanej wiedzy tradycyjnej. Przewiduje on obowiązek ujawnienia w zgłoszeniu patentowym kraju pochodzenia lub źródła zasobu genetycznego, a także informacji o społeczności dostarczającej wiedzę tradycyjną, jeśli wynalazek opiera się na tych fundamentach. Należy jednak precyzyjnie określić aktualny status tego dokumentu. Na dzień 30 sierpnia 2026 roku traktat nie wszedł jeszcze w życie; WIPO odnotowało ratyfikacje lub przystąpienia jedynie czterech państw — Malawi, Ugandy, Albanii i Peru — podczas gdy do wejścia w życie wymaganych jest piętnaście.

Jest to ważny przykład prawa w trakcie stawania się. Międzynarodowa wspólnota uzgodniła nową zasadę transparentności patentowej, lecz jej pełny skutek normatywny pozostaje kwestią przyszłości. WIPO podkreśla przy tym, że obowiązek ujawnienia nie ma być automatycznym

mechanizmem unieważniania patentu z powodu każdego formalnego braku. Traktat przewiduje proporcjonalne środki i możliwość naprawienia błędów; sama niewłaściwa deklaracja — poza przypadkami oszustwa — nie powinna prowadzić do unicestwienia patentu. To rozsądne rozróżnienie. Celem systemu nie powinno być tworzenie pułapki formalnej, lecz zwiększenie transparentności i ograniczenie sytuacji, w których urząd patentowy uznaje za nowatorskie to, co w rzeczywistości ma wcześniejszą biologiczną lub tradycyjną genealogię.

Najbardziej spektakularnym współczesnym przykładem pokazującym, jak ogromna wartość ekonomiczna koncentruje się wokół pytania „kto był pierwszy?", pozostaje CRISPR-Cas9. Źródłowa notatka opisuje bakteryjny system jako programowalną pamięć antywirusową i wskazuje Jennifer Doudnę oraz Emmanuelle Charpentier jako badaczki, które przekształciły biologiczny mechanizm w narzędzie edycji genów. Historia naukowa nie przekłada się jednak automatycznie na prostą historię patentową.

Spór w USA pomiędzy zespołem University of California, University of Vienna i Charpentier (CVC) a Broad Institute, MIT i Harvardem dotyczył przede wszystkim pierwszeństwa wynalazku zastosowania CRISPR-Cas9 do edycji DNA w komórkach eukariotycznych. W 2022 roku Patent Trial and Appeal Board przyznał pierwszeństwo Broad. Jednak w maju 2025 roku Federal Circuit uznał, że PTAB zastosował częściowo błędny standard prawny dotyczący momentu conception, uchylił tę część rozstrzygnięcia i skierował sprawę do ponownego rozpoznania. Po ponownym postępowaniu PTAB, 26 marca 2026 roku, ponownie uznał, że Broad wykazał pierwszeństwo w odniesieniu do systemu CRISPR-Cas9 działającego w komórkach eukariotycznych. Historia nie zakończyła się jednak w tym miejscu: rejestr USPTO wskazuje, że 26 maja 2026 roku CVC złożyło notice of appeal. W momencie powstawania niniejszego tekstu nie można zatem mówić o definitywnie zakończonej wojnie patentowej.

Spór CRISPR jest szczególnie pouczający, gdyż obnaża rozdzielenie kilku rodzajów autorstwa. Bakterie „wynalazły" CRISPR wyłącznie w metaforycznym, ewolucyjnym znaczeniu. Mikrobiolodzy odkrywali kolejne elementy systemu. Doudna i Charpentier wraz ze współpracownikami stworzyły programowalną platformę CRISPR-Cas9, za co w 2020 roku otrzymały Nagrodę Nobla. Kolejne zespoły wykazały działanie technologii w komórkach eukariotycznych i rozwijały jej implementacje.

Patent jako prawo do wyłączenia a nie wolność działania

Patent musi natomiast przypisać pierwszeństwo do konkretnego zakresu zastrzeżonego wynalazku. Może się zatem zdarzyć, że nauka uznaje przełomowy wkład jednej grupy, podczas gdy prawo patentowe rozstrzyga odrębne pierwszeństwo w kwestii określonej implementacji. Właśnie dlatego pytanie „kto wynalazł CRISPR?" jest zbyt szerokie – zarówno z perspektywy naukowej, jak i prawnej.

Współczesna technologia ma zazwyczaj strukturę warstwową. Jedna grupa odkrywa naturalny mechanizm, druga go upraszcza, trzecia implementuje w nowej klasie komórek, czwarta opracowuje sposób dostarczania, a piąta tworzy konkretną terapię. Każda z tych warstw może być objęta osobnym patentem lub grupą patentów. W ten sposób powstaje patent thicket, gęstwina praw, w której komercjalizacja produktu może wymagać licencji od wielu właścicieli. Paradoksalnie przedsiębiorstwo może posiadać własny, ważny patent i nadal nie mieć swobody operacyjnej, jeśli praktyczne wykonanie rozwiązania narusza cudze wcześniejsze prawa.

Prawo patentowe staje się przez to systemem niemal ekologicznym. Patenty tworzą nisze, nakładają się na siebie, konkurują i pozostają w relacjach zależności. Patent późniejszy może wprowadzać znaczące ulepszenie wcześniejszej technologii, lecz jego właściciel będzie potrzebował licencji na patent bazowy; jednocześnie właściciel patentu bazowego może potrzebować licencji na to ulepszenie, jeśli sam zechce wykorzystać nowszą wersję. Właśnie dlatego WIPO podkreśla, że patent jest prawem do wyłączenia, a nie automatyczną „wolnością do działania". Innowacja kumulatywna wymaga zatem nie tylko konkurencji, lecz także licencjonowania i kontraktowego koordynowania praw. Pojawia się tu centralne pytanie normatywne: czy patent sprzyja bioinspiracji, czy ją ogranicza? Odpowiedź na nie nie jest prosta.

Bez perspektywy ochrony firma może nie chcieć ponieść setek milionów euro kosztów rozwoju terapii, badań klinicznych i certyfikacji, ryzykując, że konkurent natychmiast skopiuje produkt. Z drugiej strony nadmiernie szerokie patenty na podstawowe narzędzia badawcze mogą zwiększać koszty transakcyjne, komplikować innowację kumulatywną i utrudniać dostęp kolejnym badaczom. Prawo musi więc nieustannie negocjować granicę między zachętą do pierwszego wynalazku a swobodą tworzenia drugiego. Bioinspiracja uwydatnia tu dodatkowy problem: poziom abstrakcji zastrzeżenia. Jeśli ktoś obserwuje strukturę biologiczną i tworzy konkretną powierzchnię techniczną o opisanej geometrii, roszczenie jest relatywnie wąskie. Gdyby jednak próbował zastrzec każdą powierzchnię „inspirowaną skórą rekina" służącą ograniczeniu adhezji, mógłby w ten sposób zawłaszczyć ogromny obszar rozwiązań, których sam nie opracował.

Prawo chroni wkład techniczny, a nie inspirację naturą

Właśnie dlatego tak istotne są wymogi dostatecznego ujawnienia oraz oparcie zakresu ochrony na rzeczywistym wkładzie technicznym. Patent nie powinien być nagrodą za sformułowanie najbardziej pojemnej metafory. Zasadę tę można przełożyć na cały aparat pojęciowy niniejszego artykułu: Analogia nie jest jeszcze wynalazkiem. Dostrzeżenie, że skrzydło sowy jest ciche, to jedynie obserwacja. Zidentyfikowanie mechanizmu redukcji hałasu stanowi odkrycie naukowe. Dopiero zaprojektowanie konkretnej geometrii krawędzi turbiny, która w określonych warunkach zmniejsza hałas i spełnia wymogi nowości oraz poziomu wynalazczego, może być uznane za wynalazek podlegający patentowaniu.

Prawo chroni to ostatnie przejście, a nie samo prawo człowieka do inspirowania się naturą. W tym punkcie bioinspiracja zyskuje polityczny wymiar dostępu do wspólnych zasobów (commons). Nauka rozwija się dzięki temu, że ogromna część wiedzy pozostaje dobrem wspólnym. Prawo grawitacji, dobór naturalny, mechanika płynów czy sekwencja naturalnego zjawiska i podstawowy fakt biologiczny nie powinny być wyłączane z domeny wspólnego poznania tylko dlatego, że można je wykorzystać gospodarczo. Sąd Najwyższy USA w sprawie Myriad odwoływał się właśnie do idei, że prawa natury, zjawiska naturalne i abstrakcyjne idee stanowią podstawowe narzędzia pracy naukowej i technologicznej. System patentowy musi zatem pozostawiać wystarczająco szeroką przestrzeń, aby kolejne pokolenia innowatorów miały fundament do dalszego budowania. Można powiedzieć, że granica między patentem a domeną publiczną przypomina biologiczną błonę półprzepuszczalną.

Jeśli będzie ona całkowicie otwarta, część inwestycji może pozostać niedofinansowana, gdyż podmioty prywatne nie przejmą wystarczającej części korzyści. Jeśli zaś stanie się zbyt szczelna, zahamuje przepływ informacji niezbędny dla innowacji kumulatywnej. Nie istnieje idealna przepuszczalność, którą można by wyprowadzić z biologii; jest ona wyborem instytucjonalnym, zależnym od dziedziny technologii, kosztów badań, tempa innowacji i społecznego znaczenia dostępu. Dlatego ochrona wiedzy biologicznej w przyszłości prawdopodobnie przestanie być prostym wyborem między „patentowaniem” a jego brakiem. Obok patentów będą współistniały otwarte bazy danych, licencje niewyłączne, pule patentowe, umowy dostępu do zasobów, mechanizmy benefit-sharing, prawa do odmian roślin, tajemnice przedsiębiorstwa oraz systemy ochrony wiedzy tradycyjnej. Przy technologiach platformowych, takich jak CRISPR, możliwe staje się również różnicowanie warunków licencyjnych w zależności od zastosowania: badania podstawowe, diagnostyka, terapia i rolnictwo nie muszą podlegać tej samej architekturze dostępu.

Prawo patentowe nie zastąpi etyki relacji z naturą

Najważniejszej granicy prawo patentowe nie potrafi jednak ustanowić samo. Może rozstrzygnąć, kto posiada wyłączne prawo do konkretnego wynalazku, ale nie odpowie na pytanie, czy społeczeństwo powinno dążyć do świata, w którym wszystkie biologiczne możliwości są maksymalnie komercjalizowane. Nie rozstrzygnie również, czy ekosystem powinien być chroniony nawet wtedy, gdy nie zawiera cechy dającej się opatentować. Prawo własności intelektualnej organizuje innowację, lecz nie tworzy kompletnej etyki relacji człowieka z naturą.

Właśnie dlatego formuła „najlepsze pomysły mogą nie być nasze" nabiera w prawie znaczenia bardziej wymagającego niż romantyczna pochwała biomimetyki. Jeśli pomysł rzeczywiście nie jest wyłącznie nasz, powinniśmy precyzyjnie określić, co stanowi ludzki wkład. Czy odkryliśmy zjawisko? Wyjaśniliśmy mechanizm? A może stworzyliśmy nową techniczną implementację?

Czy korzystaliśmy z wcześniejszej wiedzy społeczności lokalnej? Czy pobraliśmy zasób genetyczny podlegający zasadom dostępu? Czy patent obejmuje tylko to, co rzeczywiście opracowaliśmy, czy próbuje zagarnąć większą część przestrzeni przyszłych rozwiązań? Tak rozumiane prawo biologicznej inspiracji jest przede wszystkim prawem granic. Granicy między naturą a techniką, odkryciem a wynalazkiem, powszechną wiedzą a własnością, inspiracją a przywłaszczeniem oraz motywacją inwestora a monopolem ograniczającym kolejnych innowatorów.

Nie istnieje jedna linia wyrysowana raz na zawsze. Przypadek naturalnego DNA pokazuje, że Europa i Stany Zjednoczone mogą tę granicę poprowadzić inaczej. CRISPR dowodzi, że może ona przesuwać się przez dekadę postępowań o pierwszeństwo. Neem i kurkuma pokazują z kolei, że źle skonstruowana infrastruktura wiedzy potrafi uczynić wiekową praktykę „niewidzialną" dla egzaminatora patentowego. Protokół z Nagoi i nowy traktat WIPO są próbą dopisania do systemu pytania, którego w klasycznej postaci niemal nie zadawano: skąd przyszła wiedza, dzięki której wynalazek stał się możliwy?

To pytanie prowadzi bezpośrednio do następnego etapu analizy. Dotychczas skupialiśmy się na tym, jak człowiek pobiera informację z przyrody i zamienia ją w urządzenie, algorytm, lek albo patent. Problemem stanie się jednak nie to, co możemy jeszcze wyjąć z natury, lecz jak zbudować przemysł funkcjonujący wewnątrz ograniczeń podobnych do tych, którym podlega biosfera. Zbadamy więc ideę materiałów z węgla atmosferycznego, biomineralizację Brenta Constantza, PHA Newlight Technologies, opakowania z grzybni Ecovative, mono-materiality Lilian van Daal, recyklingowalne łopaty turbin oraz przemysłowe „sieci pokarmowe", w których produkt uboczny jednego procesu staje się substratem kolejnego.

Tam okaże się, że najważniejszej technologii natury prawdopodobnie nie da się opatentować, ponieważ nie jest ona pojedynczym urządzeniem. Jest nią zdolność systemu do utrzymywania obiegu materii przez czas znacznie dłuższy od życia któregokolwiek z jego elementów. Natura nie posiada patentu na cykl węgla. Cywilizacja może jednak jeszcze nauczyć się, dlaczego przez miliardy lat nie potrzebował on wysypiska śmieci. A Future Worth Inventing. Od gospodarki odpadu do gospodarki metabolizmu.

Dotychczas bioinspiracja pozwalała konstruować lepszy telefon, turbinę, algorytm czy narzędzie edycji genomu. W A Future Worth Inventing zmienia się jednak skala problemu. Przestajemy pytać, czy pojedynczy przedmiot można ulepszyć dzięki biologicznej analogii; pytamy, czy cały system produkcji może nauczyć się od biosfery organizowania przepływu materii. W źródłowej notatce przejście to opisano poprzez trzy powiązane zasady: wykorzystywanie rozproszonych związków węgla jako materiału, projektowanie produktów z myślą o ich rozkładzie lub ponownym użyciu oraz budowanie przemysłowych sieci, w których pozostałość jednego procesu staje się surowcem dla następnego.

Metabolizm systemowy zamiast mitu wiecznego recyklingu

To być może najważniejsza zmiana poziomu abstrakcji w całej historii bioinspiracji. Nie kopiujemy już organizmu; próbujemy zrozumieć metabolizm systemu. Metafora ta wymaga jednak natychmiastowej korekty. Popularne hasło głoszące, że „w naturze nie ma odpadów", jest heurystycznie znakomite, lecz naukowo nie może być rozumiane dosłownie. Źródłowa notatka idzie jeszcze dalej, stwierdzając, że każdy materiał naturalny posiada odpowiadający mu enzym rozkładający. Ekologia nie daje podstaw do tak absolutnego twierdzenia.

Materia może pozostawać przez bardzo długi czas w osadach, torfie, drewnie, muszlach, kościach i skałach; tempo rozkładu zależy od temperatury, tlenu, wilgotności, dostępności azotu, składu chemicznego i obecności odpowiednich organizmów. Biosfera nie jest perfekcyjną maszyną recyklingową wykonującą nieskończoną liczbę bezstratnych obrotów. Jej przewaga polega raczej na tym, że znaczna część produktów jednych procesów staje się substratami kolejnych, a materia krąży przez powiązane sieci biologiczne, geochemiczne i hydrologiczne. Termodynamika nie pozwala zresztą stworzyć gospodarki całkowicie zamkniętej. Każdy proces rozdzielania, przetwarzania, transportowania i recyklingu wymaga energii; materia ulega rozproszeniu, zanieczyszczeniu i utracie jakości, a w kolejnych cyklach część strumienia staje się coraz trudniejsza do ekonomicznego odzyskania. Krytyczna literatura dotycząca gospodarki cyrkularnej przypomina

właśnie o entropii i nieuniknionych stratach jakościowych oraz ilościowych: nawet bardzo dobrze zaprojektowany obieg wymaga dopływu energii i pewnej ilości materiałów pierwotnych. Biosfera również nie narusza tej zasady.

Jej cykle materiałowe są napędzane stałym dopływem energii słonecznej, która ostatecznie rozprasza się jako ciepło. Najdojrzalsza wersja gospodarki obiegu zamkniętego nie powinna więc obiecywać „wiecznego recyklingu". Powinna maksymalizować czas pozostawania materiału w funkcjonalnym użyciu, ograniczać jego degradację jakościową oraz redukować potrzebę nowej ekstrakcji. Rozróżnienie to ma ogromne znaczenie, ponieważ skala współczesnego metabolizmu materialnego jest bezprecedensowa. Global Resources Outlook 2024 szacuje, że światowe wydobycie materiałów wzrosło z około 30 miliardów ton w 1970 roku do około 106,6 miliarda ton w 2024 roku i przy kontynuacji obecnych trendów może zwiększyć się o kolejne 60 procent do 2060 roku.

Problem ekologiczny przemysłu nie jest więc wyłącznie kwestią „śmieci po konsumpcji". Zaczyna się znacznie wcześniej, w strukturze całego przepływu: w wydobyciu skał, rud, biomasy i paliw, energii potrzebnej do ich przetworzenia i transportu, czasie życia produktów oraz utracie materiałów po ich użyciu. Z tego punktu widzenia gospodarka liniowa sprowadza się do prostego ciągu: wydobądź, przetwórz, sprzedaj, użyj, wyrzuć. Jej historyczna przewaga polegała na łatwości organizacyjnej. Przedsiębiorstwo nie musiało projektować przyszłości materiału po sprzedaży produktu; odpowiedzialność techniczna kończyła się mniej więcej wraz z trwałością wyrobu i zobowiązaniami gwarancyjnymi.

Gospodarka cyrkularna przesuwa tymczasem horyzont projektowania. Produkt musi posiadać nie tylko początek i fazę użytkowania, ale również zaplanowane następne życie: naprawę, ponowne użycie, demontaż, regenerację komponentu, odzysk materiału albo biologiczny rozkład w warunkach, w których rzeczywiście może on bezpiecznie nastąpić. Tu pojawia się pierwsza wielka intuicja źródłowego A Future Worth Inventing: węgiel nie powinien być automatycznie traktowany jako wróg. Problem klimatyczny nie wynika z ontologicznej szkodliwości atomu węgla, lecz z zaburzenia jego przepływów – zwłaszcza z przenoszenia w krótkim czasie ogromnych ilości węgla geologicznego do atmosferycznego obiegu CO_2. Węgiel pozostaje podstawowym szkieletem chemicznym biomolekuł. Roślina nie „walczy z węglem"; wykorzystuje dwutlenek węgla jako substrat fotosyntezy, z którego przy dopływie energii i wody buduje związki organiczne. Z technologicznego punktu widzenia pytanie brzmi zatem: czy część antropogenicznego CO_2 można również przekształcać w trwałe produkty, zamiast traktować go wyłącznie jako strumień wymagający usunięcia?

Materiał źródłowy wprowadza tu Brenta Constantza i jego obserwacje biomineralizacji koralowców, prowadzące do prób wytwarzania materiałów budowlanych poprzez mineralizację węgla. Biograficzny rdzeń tej historii jest dobrze udokumentowany. Constantz, geolog i badacz biomineralizacji, rzeczywiście wiązał prace nad materiałami cementowymi z wcześniejszymi badaniami koralowców; pierwotnie rozwijał biomimetyczne cementy do zastosowań ortopedycznych, a następnie technologie mineralizacji dwutlenku węgla. Dzisiejsza firma Blue Planet, założona przez niego w 2012 roku, rozwija proces, w którym CO_2 jest mineralizowany do węglanowych kruszyw mogących zastępować część kruszywa naturalnego w betonie. Warto jednak skorygować popularną wersję opowieści, według której Constantz po prostu „produkuje cement z CO_2 jak koralowiec". Obecna technologia Blue Planet dotyczy przede wszystkim syntetycznego kruszywa wapiennego, a nie magicznego zastąpienia całego cementu portlandzkiego biologicznym procesem. Demonstracyjne zastosowanie kruszywa w San Francisco International Airport miało miejsce w 2016 roku, lecz raport California Department of Transportation wskazuje, że materiał Blue Planet stanowił w tym konkretnym betonie tylko część frakcji kruszywa grubego. Znacznie właściwsza jest więc teza, że biomineralizacja otworzyła nowy sposób myślenia o betonie jako możliwym nośniku mineralnie związanego węgla, a nie że problem emisyjności cementownictwa został już rozwiązany przez skopiowanie rafy koralowej.

Bilanse systemowe zamiast marketingowych deklaracji

Technologie carbon capture and utilization należy oceniać przez pryzmat pełnego bilansu procesu: skąd pochodzi CO_2, ile energii wymaga jego wychwycenie, transport i przetworzenie, jakie materiały pomocnicze są niezbędne, jak trwałe jest związanie węgla oraz jakie procesy zostają dzięki tej technologii zastąpione. Twierdzenie o „ujemnym śladzie węglowym" wymaga zatem rzetelnej analizy cyklu życia, a nie jedynie wskazania, że w produkcie znajduje się atom węgla wcześniej występujący w gazie. Blue Planet deklaruje możliwość mineralizowania około 440 kilogramów CO_2 w tonie swojego kruszywa, jednak wartości te są danymi technologicznymi producenta i muszą być interpretowane w kontekście bilansu konkretnej instalacji. Bioinspiracja dostarcza zasady; rachunek środowiskowy musi natomiast wykazać rzeczywistą korzyść.

Podobny mechanizm pojawia się w przypadku Newlight Technologies. Przedsiębiorstwo to produkuje PHA z metanu i CO_2 przy wykorzystaniu mikroorganizmów, które przekształcają gazy cieplarniane w PHB (z rodziny polihydroksyalkanianów) – materiał handlowy znany jako AirCarbon. Według dokumentacji firmy produkcja na większą skalę rozpoczęła się w 2013 roku, a w 2019 uruchomiono zintegrowany system komercyjny Eagle 3. Tutaj również niezbędna jest korekta języka.

Newlight przedstawia AirCarbon jako materiał „carbon-negative”, lecz deklaracja ta zależy m.in. od sposobu pozyskiwania energii i przyjętej metodologii rachunku emisji; sama firma zastrzega, że taki wynik dotyczy produkcji opartej na energii odnawialnej. Nie wystarczy więc stwierdzić: „plastik z CO_2 jest dobry, plastik z ropy zły”. Prawdziwe pytanie dotyczy systemu. Jak długo produkt jest używany? Czy zostanie rzeczywiście zebrany? Czy warunki końca życia odpowiadają deklarowanej biodegradowalności? Czy zastępuje materiał o wyższym śladzie środowiskowym, czy jedynie zwiększa całkowitą konsumpcję? I wreszcie: czy surowiec węglowy zostałby w innym scenariuszu wyemitowany?

Gospodarka metabolizmu zaczyna się właśnie tam, gdzie marketing pojedynczej substancji zostaje zastąpiony bilansem przepływu. Zasada ta staje się szczególnie istotna przy analizie pojęcia „biodegradowalny”. Biodegradowalność nie jest magiczną właściwością sprawiającą, że przedmiot znika natychmiast po wyrzuceniu; to relacja między materiałem, mikroorganizmami a warunkami środowiskowymi. Temperatura, wilgotność, obecność tlenu, wielkość fragmentów oraz skład mikrobiologiczny otoczenia mogą radykalnie zmieniać tempo procesu. Materiał kompostowalny przemysłowo nie musi rozkładać się szybko w glebie, oceanie czy przydomowym kompostowniku. W systemowej bioinspiracji „koniec życia” musi więc zostać zaprojektowany równie precyzyjnie jak początek produkcji.

Sugestywnym przykładem takiej logiki są materiały mycelialne. Firma Ecovative, założona przez Ebena Bayera i Gavina McIntyre'a, wykorzystuje grzybnię do łączenia pozostałości rolniczych w lekkie struktury, które zastępują część pianek opakowaniowych. Mushroom Packaging wprowadzono komercyjnie w 2010 roku (korzystał z nich m.in. Dell), a proces ten opiera się na wykorzystaniu odpadów rolniczych jako substratu, przez który przerasta sieć strzępek grzyba, tworząc zwartą formę. Biomimetyczna lekcja nie brzmi tutaj po prostu „zróbmy rzeczy z grzybów”. Bardziej interesujące jest odwrócenie logiki fabryki.

W klasycznym procesie materiał otrzymuje kształt poprzez dostarczenie dużej ilości energii mechanicznej lub cieplnej: topienie, wytłaczanie, prasowanie czy polimeryzację. Mycelium wykonuje część pracy strukturalnej poprzez wzrost. Organizujemy warunki, podajemy substrat, a żywy system sam rozbudowuje sieć wiążącą cząstki. Produkcja zaczyna przypominać hodowlę. Inżynier nie tylko formuje materię; projektuje środowisko, w którym materia organizuje się sama.

Nie należy jednak romantyzować biologicznej produkcji. Grzybnia wymaga kontrolowanej wilgotności, temperatury, higieny procesu oraz czasu wzrostu i końcowego suszenia. Parametry mechaniczne zależą od gatunku grzyba, rodzaju substratu i technologii wytwarzania – nie każdy produkt styropianowy można ekonomicznie zastąpić mycelium. Sama Ecovative określa Mushroom

Packaging jako konkurencyjne jedynie przy określonych skalach produkcji. Bioprodukcja nie znosi ekonomii skali; tworzy po prostu inną krzywą technologicznych kompromisów.

Kolejnym przykładem jest samochód Lina, opracowany w 2017 roku przez studentów Eindhoven University of Technology. Konstrukcja wykorzystywała biokompozyt na bazie lnu oraz rdzeń o geometrii plastra miodu wykonany z PLA produkowanego z buraków cukrowych. Komisja Europejska prezentowała Linę jako pierwszy samochód, którego znaczące elementy strukturalne wykonano z materiałów biopochodnych, zaznaczając jednocześnie, że był to concept car wymagający dalszego rozwoju, a nie dojrzała alternatywa dla przemysłu motoryzacyjnego. Znów jednak ważniejsza od samego pojazdu jest architektura pytania. Przemysł samochodowy przez dekady optymalizował pojazd przede wszystkim poprzez fazę użytkowania: spalanie, zasięg, masę i aerodynamikę.

Analiza cyklu życia zamiast powierzchownej optymalizacji

Lina zwraca uwagę na embodied impacts, czyli środowiskowy koszt zakumulowany w produkcji materiałów. Lżejszy pojazd może wprawdzie zużywać mniej energii podczas jazdy, jednak jeśli zastosowany w nim lekki materiał wymaga energochłonnej produkcji i nie nadaje się do odzysku, korzyści zostają jedynie przesunięte z jednej fazy cyklu życia do drugiej. Dlatego najskuteczniejszym narzędziem gospodarki metabolizmu nie jest sama biomimetyka, lecz Life Cycle Assessment. Projekt musi zostać oceniony kompleksowo: od pozyskania surowca, przez produkcję i użytkowanie, aż po koniec jego życia.

Interesującą koncepcję przedstawia Lilian van Daal. Jej praca jest interpretowana jako przykład monomateriałowości inspirowanej tkankami roślinnymi. W projekcie Biomimicry 3D Printed Soft Seat z 2014 roku projektantka badała możliwość stworzenia mebla z jednego materiału, w którym to lokalna geometria i gęstość zmieniają właściwości mechaniczne – sprawiając, że jedne obszary są elastyczne, a inne sztywne i nośne.

Inspiracją stały się tu m.in. struktury komórkowe roślin. To przykład podejścia w projektowaniu cyrkularnym, według którego złożoność funkcji nie musi oznaczać złożoności składu chemicznego. Dla kontrastu współczesny fotel często składa się z pianki poliuretanowej, stali, tworzyw, klejów, tkaniny, pigmentów i licznych elementów łączących.

Struktura zamiast materiału i system nad produktem

Każdy materiał został dobrany do osobnej funkcji, lecz po kilkunastu latach ich połączenie staje się koszmarem dla recyklera. Organizm często stosuje inną strategię. Kość nie potrzebuje wkręconego wewnątrz stalowego rusztowania, aby różnić się sztywnością w zależności od miejsca; właściwość ta wynika między innymi z hierarchicznej organizacji tego samego systemu materiałowego. Drewno realizuje różne funkcje poprzez kierunkowość włókien, porowatość i geometrię.

Z punktu widzenia circular design jedno z najpotężniejszych pytań nie brzmi: „jak dodać kolejny materiał?", lecz: „czy istniejący materiał może przejąć następną funkcję dzięki zmianie struktury?". To prowadzi do koncepcji pre-separated design. Klasyczny recykling próbuje po zużyciu naprawić problem stworzony na etapie projektu: rozdzielić elementy, które producent niezwykle skutecznie połączył. Alternatywą jest projektowanie tak, aby przyszły demontaż był właściwością produktu od pierwszego dnia. Połączenie śrubowe może być cyrkularnie cenniejsze od kleju, a modułowa bateria posiadać większą wartość systemową niż ta trwale zalana w konstrukcji. Materiał jednorodny bywa łatwiejszy do odzyskania niż wielowarstwowy kompozyt o doskonałych parametrach użytkowych.

Historia łopat turbin wiatrowych obrazuje skalę tego konfliktu. Turbina produkuje niskoemisyjną energię, jednak jej łopata musi być jednocześnie lekka, wytrzymała, sztywna i odporna zmęczeniowo. Dlatego przez lata stosowano kompozyty termoutwardzalne, w których włókna szklane lub węglowe są trwale związane żywicą. Cechy doskonałe podczas eksploatacji stają się problemem podczas demontażu. To ważna zasada systemowa: optymalizacja fazy użytkowania może utrudnić optymalizację fazy końca życia. Przykładem próby rozwiązania tego problemu jest RecyclableBlade firmy Siemens Gamesa. Technologia została wprowadzona w 2021 roku, a pierwsze komercyjne łopaty zainstalowano w 2022 roku na farmie Kaskasi. Kluczową zmianą jest zastosowanie żywicy umożliwiającej późniejsze rozdzielenie składników kompozytu w łagodnym procesie chemicznym. Według aktualnych danych przedsiębiorstwa, zainstalowano już ponad 300 takich jednostek. Jeszcze ważniejszy krok wykonano w projekcie DecomBlades. W 2025 roku Siemens Gamesa informował o odzyskaniu włókien szklanych ze starych łopat i przetworzeniu ich do jakości pozwalającej na wytwarzanie nowych, 115-metrowych łopat dla projektów offshore. Firma zaznacza jednak, że wyzwaniem pozostaje przejście z fazy pilotażowej do ekonomicznie skalowalnego łańcucha wartości.

To doskonały przykład różnicy między recyclable a recycled. Produkt może być zaprojektowany tak, aby technicznie dało się go odzyskać, ale gospodarka cyrkularna powstaje dopiero wtedy, gdy istnieją przedsiębiorstwa, infrastruktura logistyczna, ceny, standardy i popyt sprawiające, że odzysk rzeczywiście następuje. Ta różnica przesuwa punkt ciężkości z projektu produktu na ekonomię

instytucji. Recykling nie jest bowiem właściwością przedmiotu, lecz systemu obejmującego produkt, użytkownika, zbiórkę, transport, sortowanie, technologię przetwarzania i rynek wtórny.

Butelka z perfekcyjnie recyklowalnego materiału nie tworzy obiegu, jeśli trafia do środowiska lub spalarni. Produkt cyrkularny bez cyrkularnej infrastruktury pozostaje jedynie potencjałem. Współczesna polityka europejska coraz wyraźniej przesuwa regulacje „pod prąd" – od zarządzania odpadem ku projektowaniu produktu. Rozporządzenie UE 2024/1781 w sprawie ekoprojektu dla zrównoważonych produktów tworzy ramy pozwalające ustanawiać wymagania dotyczące trwałości, naprawialności, zasobooszczędności oraz informacji o produkcie, wprowadzając system cyfrowych paszportów produktu. W lipcu 2026 roku Komisja przyjęła również decyzję dotyczącą norm zharmonizowanych dla infrastruktury tych paszportów. Prawo zaczyna tym samym pełnić rolę technologii pamięci materiałowej.

Jeżeli osoba naprawiająca, demontująca lub recykler wie, z czego produkt został wykonany, jakie substancje zawiera i jak rozdzielić jego komponenty, maleje informacyjny koszt odzysku. Cyfrowy paszport jest rodzajem „genomu technicznego" przedmiotu: nie wykonuje on recyklingu, lecz dostarcza informacji niezbędnej, aby kolejny uczestnik gospodarki potrafił podjąć właściwe działanie. Podobna logika stoi za europejską dyrektywą 2024/1799 dotyczącą naprawy towarów, której przepisy państwa członkowskie miały transponować i stosować od 31 lipca 2026 roku.

Celem jest zwiększenie realnej możliwości naprawy zarówno w okresie odpowiedzialności sprzedawcy, jak i po jego zakończeniu, oraz powiązanie regulacji konsumenckiej z wymogami naprawialności w systemie ekoprojektu. W gospodarce metabolizmu naprawa ma szczególne znaczenie, ponieważ najbardziej efektywnym recyklingiem bywa brak recyklingu: zachowanie funkcjonującego produktu przez kolejne lata zamiast energochłonnego rozkładania go na surowce. Hierarchia ta jest kluczowa ekonomicznie i termodynamicznie. Zachowując cały produkt, chronimy nie tylko masę materiału, lecz również energię, pracę i informację technologiczną zainwestowaną w produkcję. Gdy przedmiot zostaje rozebrany na podzespoły, część tej wartości znika; gdy podzespoły są przetopione do surowca, znika jeszcze więcej struktury. Recykling jest zatem cenny, lecz zwykle znajduje się niżej w hierarchii zachowywania wartości niż trwałość, konserwacja, naprawa i ponowne użycie.

Symbioza przemysłowa wymaga stabilności instytucjonalnej, a nie tylko analogii biologicznej

Dopiero na tym tle można właściwie zrozumieć ideę "tech webs" – przemysłowych sieci pokarmowych. W ekosystemie produkt metabolizmu jednego gatunku staje się substratem dla drugiego. W gospodarce przemysłowej analogiczną strategię nazywamy industrial symbiosis: przedsiębiorstwa wymieniają energię, wodę, parę i materiały, przekazując sobie produkty uboczne, które w izolowanym zakładzie stanowiłyby jedynie koszt. Źródło przywołuje barwny przykład projektu z Wakefield, gdzie zużyty karton miał służyć jako ściółka dla koni, materiał ze stajni stać się substratem dla hodowli dżdżownic, a te z kolei – pokarmem dla jesiotrów produkujących kawior. Inicjatywa ta, opisana w 2003 roku przez Green Business Network w Yorkshire, zakładała transformację "cardboard to caviar" poprzez kolejne biologiczne ogniwa. Należy jednak traktować ją jako historyczny eksperyment i koncept przedsiębiorczości cyrkularnej, a nie dowód na istnienie wieloletniego, skalowalnego modelu przemysłowego. Znacznie silniejszym empirycznie przykładem jest Kalundborg w Danii.

Od lat siedemdziesiątych przedsiębiorstwa i podmioty publiczne stopniowo rozbudowywały tam sieć wymiany strumieni energii, wody i materiałów. Dziś Kalundborg Symbiosis skupia kilkanaście podmiotów i ponad dwadzieścia przepływów zasobów; zasada pozostaje prosta: strumień resztkowy jednego uczestnika zyskuje wartość u innego. Analizy publikowane w Journal of Industrial Ecology wykazały korzyści środowiskowe i ekonomiczne takich wymian, wskazując jednocześnie, że motywacją nie zawsze jest sama cena "odpadu", lecz często poprawa wydajności procesów po obu stronach transakcji.

Kalundborg jest szczególnie cenny, ponieważ nie został zaprojektowany od początku jako perfekcyjny, sztuczny ekosystem. Analiza Ehrenfelda i Gertlera pokazuje, że sieć ewoluowała poprzez serię lokalnych, ekonomicznie uzasadnionych decyzji – a właśnie ta stopniowość utrudnia proste kopiowanie modelu w nową lokalizację. Jest to niemal Schumpeterowsko-darwinowski obraz przemysłu: symbioza wyłania się z historii, bliskości, wzajemnego zaufania i konkretnych okazji gospodarczych, a nie z idealnego diagramu przepływów narysowanego na konferencyjnej tablicy. Powstanie przemysłowej symbiozy wymaga bowiem czegoś więcej niż zgodności chemicznej dwóch strumieni. Odpad musi występować w odpowiedniej ilości, jakości, miejscu i czasie; transport nie może pochłaniać całej wartości. Dostawca musi zapewniać ciągłość, a odbiorca zdolność wykorzystania zasobu. Obie strony muszą inwestować w infrastrukturę, a ich kontrakty muszą rozwiązywać kwestie odpowiedzialności i zmienności dostaw. W tym miejscu pojawia się ekonomia kosztów transakcyjnych.

Ekosystem nie podpisuje umowy między grzybem i martwym drzewem; przedsiębiorstwa muszą podpisać umowę między rafinerią, elektrownią, oczyszczalnią a producentem. To jedna z najważniejszych granic biologicznej analogii. W naturze relacja troficzna utrwala się przez selekcję i dostępność niszy ekologicznej. W gospodarce przemysłowej musi być ona jednocześnie technicznie kompatybilna, ekonomicznie opłacalna i instytucjonalnie stabilna. Jeśli producent A inwestuje miliony w instalację wykorzystującą produkt uboczny B, staje się zależny od jego ciągłości. Symbioza zwiększa efektywność, ale może potęgować współzależność i ryzyko systemowe. Tutaj zbliżamy się do teorii odporności ekologicznej. System maksymalnie zoptymalizowany pod kątem jednego strumienia może utracić redundancję. Jeśli każda tona produktu ubocznego ma dokładnie jednego odbiorcę, awaria jednego węzła przerywa cały ciąg. Ekosystemy często posiadają częściową nadmiarowość funkcjonalną i wiele ścieżek przepływu. Gospodarka cyrkularna przyszłości powinna więc pytać nie tylko o efektywność, lecz również o resilience: czy system potrafi kontynuować działanie po zakłóceniu dostaw, suszy, awarii, zmianie cen energii lub bankructwie partnera. W tym punkcie ekologiczna inspiracja łączy się z teorią sieci.

Od analogii formy do systemowej analizy metabolizmu

Najbardziej efektywny system nie musi być jednocześnie tym najbardziej odpornym. Maksymalizacja połączeń może prowadzić do zależności kaskadowych, podczas gdy zbyt słabe ogniwa oznaczają marnowanie potencjalnych synergii. Problem projektowy przypomina tu historię turbin Dabiriego oraz inteligencji rojowej: jakość układu nie wynika z doskonałości pojedynczego elementu, lecz z topologii relacji.

Źródłowa notatka próbuje wykonać kolejny krok i przenosi tę logikę na grunt urbanistyczny. Przywołuje badania Waltera Tschinkela nad pionową architekturą gniazd mrówek, proponując koncepcję „miasta-superorganizmu”, którego zagęszczenie miałoby ograniczyć zjawisko urban sprawl. Badania Tschinkela rzeczywiście ujawniły niezwykle uporządkowaną strukturę podziemnych gniazd: pionowe lub ukośne szyby prowadzą tam do poziomych komór, których wielkość i rozmieszczenie zależą od gatunku oraz głębokości. Niektóre z nich, jak w przypadku Pogonomyrmex badius, sięgały trzech metrów. Z tego faktu nie wynika jednak, że mrówki „dowiodły”, iż ludzkie miasta powinny być pionowe. Byłby to klasyczny błąd przeskoku od analogii do normy projektowej.

Gniazdo mrówek nie posiada samochodów, szpitali, szkół, własności gruntu, praw obywatelskich, kanalizacji ani gospodarki mieszkaniowej. Może ono inspirować pytania o dystrybucję funkcji, wentylację czy strukturę sieciową, lecz urbanistyka musi rozstrzygać te kwestie w oparciu o własne

dane. Znacznie silniejszą koncepcją jest urban metabolism. Miasto można w nim analizować jako system przepływów energii, wody, żywności, materiałów i ludzi, mierząc jednocześnie zapasy zakumulowane w budynkach oraz infrastrukturze. Współczesne opracowania traktują metabolizm miejski jako narzędzie przejścia od modelu liniowego ku cyrkularnemu, choć wskazują na problemy metodologiczne i brak ujednoliconych danych. Jest to podejście znacznie bardziej użyteczne naukowo niż metafora miasta jako „gigantycznej mrówki".

Nawet samo słowo „metabolizm" należy jednak stosować świadomie. Krytycy zauważają, że miasto nie jest organizmem w sensie biologicznym, lecz złożonym systemem społecznym i ekologicznym, którego przepływy kształtują polityka, prawo własności, nierówności oraz globalne sieci handlowe. Ma to kluczowe znaczenie dla sprawiedliwości środowiskowej. Miasto może bowiem zredukować lokalny „odpad", eksportując energochłonną produkcję i uciążliwą utylizację do innego regionu. W ten sposób lokalnie zielona metropolia może opierać się na globalnie brudnym metabolizmie.

Dlatego granicą analizy nie może być administracyjny obszar miasta czy fabryki. Circularity wymaga perspektywy całego łańcucha wartości. Produkt zaprojektowany w Europie może zawierać surowiec wydobyty w Afryce, przetworzony w Azji i zmontowany w kilku państwach, by po zużyciu trafić do kolejnego kraju. Ocena „zieloności" przeprowadzana wyłącznie w miejscu sprzedaży działa więc jak księgowa iluzja.

Metabolizm przemysłowy ma charakter globalny; to właśnie tutaj gospodarka cyrkularna spotyka się z ekonomią polityczną. Nie wystarczy bowiem umiejętność przetwarzania odpadów – konieczne jest stworzenie bodźców ekonomicznych, dzięki którym materiał zachowa swoją wartość. Jeśli wydobycie nowego surowca jest tańsze od odzysku, przedsiębiorstwo działające racjonalnie finansowo wybierze surowiec pierwotny. Jeśli producent nie ponosi kosztów utylizacji, trwałe sklejenie pięciu różnych materiałów może być dla niego tańsze niż projekt umożliwiający demontaż. Część gospodarki cyrkularnej musi zatem zostać wbudowana w ceny, normy i odpowiedzialność producenta, a nie pozostawiona jedynie moralnym preferencjom konsumenta.

Do tego dochodzi paradoks Jevonsa. Poprawa efektywności jednostkowej może obniżyć koszt korzystania z produktu, co paradoksalnie zwiększy jego całkowite zużycie. Samochód spalający mniej paliwa na kilometr nie zmniejszy globalnego zapotrzebowania na energię, jeśli społeczeństwo zacznie jeździć więcej, wybierać większe pojazdy i wymieniać je częściej. Opakowanie z połowy materiału nie zredukuje zużycia zasobów, jeśli liczba przesyłek wzrośnie trzykrotnie. Bioinspiracja nie zwalnia więc z pytania o skalę konsumpcji. To tutaj należy skorygować źródłową opozycję między „gospodarką niedoboru" a „gospodarką obfitości". Natura potrafi wytwarzać ogromną ilość biomasy, ale robi to w ramach twardych ograniczeń energetycznych i materiałowych. Ekosystem

nie oferuje nieskończonej obfitości bez kosztów – każdy dodatkowy osobnik musi konkurować o przestrzeń, pokarm, światło i pierwiastki.

Gospodarka metaboliczna jako zarządzanie informacją o materii

Zrównoważona gospodarka nie może polegać wyłącznie na obietnicy, że dzięki lepszemu projektowaniu będziemy produkować bez ograniczeń. Bardziej biologiczna byłaby zasada obfitości funkcji przy oszczędności materiału. Kość jest lekka, a jednocześnie posiada strukturę hierarchiczną. Liść pozostaje cienki, lecz jednocześnie absorbuje światło, wymienia gazy, transportuje wodę i reaguje na uszkodzenia. Pióro łączy w sobie lekkość, izolacyjność i właściwości aerodynamiczne.

Organizm nie dąży do maksymalizacji masy materiału, lecz do skuteczności funkcji w ograniczonym budżecie metabolicznym. Gdyby przemysł rzeczywiście przejął tę zasadę, wskaźnikiem sukcesu przestałyby być samo PKB czy liczba wyprodukowanych ton, a stała się nim ilość trwałej funkcjonalności uzyskanej z jednostki energii, materiału i szkody ekologicznej. Projektowanie przyszłości warta wynalezienia powinno być zatem bardziej ambitne niż tradycyjny recykling. Recykling traktuje śmieć jako problem końcowy; metabolizm natomiast postrzega strumień materiałowy jako wyzwanie projektowe od samego początku. Przedmiot nie powinien najpierw stać się odpadem, by później ktoś desperacko próbował przywrócić mu wartość – jego wartość powinna być zaprojektowana jako sekwencja możliwych stanów.

Można wyobrazić sobie produkt techniczny posiadający własną hierarchię przyszłości. Najpierw ma działać długo, potem dać się naprawić, a po utracie pierwszej funkcji zostać wykorzystany ponownie lub zregenerowany. Jego moduły powinny być odzyskiwalne, a materiały rozdzielalne. Dopiero to, czego nie da się zachować w wyższej formie organizacji, powinno wracać do postaci surowca. Jeśli zaś materiał zaprojektowano dla obiegu biologicznego, jego skład musi realnie umożliwiać bezpieczne wejście w ten obieg.

Taka hierarchia ujawnia, że „odpad” nie jest jedynie kategorią fizyczną, lecz informacyjną i ekonomiczną. Ten sam kilogram materiału może być odpadem dla przedsiębiorstwa, które nie wie, co z nim zrobić, i surowcem dla firmy dysponującej właściwą technologią. Stary silnik może być złomem, źródłem części zamiennych, materiałem do regeneracji lub po prostu zbiorem metali.

Status obiektu zależy od wiedzy, infrastruktury i ceny. Gospodarka metabolizmu nie jest więc tylko gospodarką materiału, lecz gospodarką informacji o materiale. Bez wiedzy o składzie trudno go

rozdzielić; bez historii użytkowania trudno ocenić komponent; bez standardu trudno wykorzystać część w innym urządzeniu; bez rynku brakuje odbiorcy. Digital Product Passport, industrial symbiosis i projektowanie modułowe należą do jednej logiki: utrzymywania informacji wraz z materią tak długo, aby materia nie utraciła wartości tylko dlatego, że kolejny użytkownik nie zna jej historii.

Czas dostrzec, że bioinspiracja zatoczyła ogromny łuk. Rozpoczęliśmy od obserwacji kształtu i pytania o możliwość jego naśladowania; doszliśmy do społeczeństwa, które musi nauczyć się obserwować relacje między procesami. Prawdziwie systemowa biomimetyka nie pyta już: „jak wygląda natura?", lecz: „jak utrzymuje przepływ materii, jak ogranicza koszty energetyczne, jak wykorzystuje produkty uboczne, jak organizuje funkcję przy małej ilości materiału i jak reaguje na lokalne ograniczenia?". Jednocześnie każda z tych lekcji wymaga korekty.

Biosfera nie jest gospodarką bez odpadów w sensie termodynamicznym. Ewolucja nie projektuje dla ludzkiej sprawiedliwości, ekosystem nie podpisuje umów i nie posiada kosztów transakcyjnych, a mrowisko nie jest planem urbanistycznym. Biodegradowalność nie oznacza automatycznego znikania przedmiotu, materiał z CO_2 nie jest z automatu neutralny klimatycznie, a produkt „recyclable" to nie to samo, co materiał rzeczywiście zawrócony do obiegu. Bioinspiracja staje się nauką dopiero wtedy, gdy potrafi zachować inspirację, jednocześnie odrzucając metaforę w miejscu, w którym przestaje ona być prawdziwa.

Przyszłość warta wynalezienia nie będzie światem perfekcyjnego koła. Bardziej realistycznie można ją wyobrazić jako metabolizm o możliwie długich i czystych obiegach, niskich stratach jakości, odnawialnym źródle energii, ograniczonej ekstrakcji i świadomie projektowanych punktach powrotu materiału. Celem nie jest pokonanie drugiej zasady termodynamiki, lecz zaprzestanie projektowania gospodarki tak, jakby druga zasada termodynamiki nie istniała. Można więc sparafrazować wezwanie „Be the flow" – nie chodzi o romantyczne rozpłynięcie się w naturze, lecz o zmianę pytania projektowego.

Każdy produkt jest chwilowym stanem materii. Stal w samochodzie istniała wcześniej jako ruda, aluminium jako minerał, węgiel w polimerze jako cząsteczka należąca do wcześniejszego obiegu. Gospodarka liniowa zachowuje się tak, jakby produkt był końcem historii. Gospodarka metaboliczna zakłada natomiast, że produkt jest epizodem. To może być najważniejsza lekcja przyrody dla cywilizacji przemysłowej.

Żaden liść nie pozostaje wiecznie liściem. Żadne ciało nie trwa w swojej formie. Żaden organizm nie posiada materii na własność na zawsze. Forma jest tymczasowa, atomy przechodzą dalej. Człowiek

zbudował natomiast system, w którym forma użytkowa trwa często przez kilka miesięcy, a jej materialne resztki mogą pozostawać problemem przez setki lat.

Biomimetyka systemowa wymaga krytycznej selekcji zasad

Biomimetyka systemowa nie wymaga zatem tworzenia przedmiotów, które wyglądają bardziej organicznie. Wymaga projektowania przemijalności formy przy zachowaniu wartości materii. Z tej perspektywy sam termin „zrównoważony rozwój" wymaga korekty; nie może on oznaczać utrzymywania każdej istniejącej trajektorii konsumpcji za pomocą coraz bardziej wyrafinowanej technologii ekologicznej. Nie każda skala przepływu może zostać uczyniona zrównoważoną poprzez samą efektywność. Czasami innowacją jest nowy materiał, czasami wydłużenie życia starego produktu, zmiana modelu biznesowego lub współdzielenie infrastruktury. A czasami decyzja, że najlepiej zaprojektowany przedmiot jest tym, którego nie trzeba było wyprodukować.

Właśnie tutaj kończy się niewinna część opowieści o naśladowaniu natury. Pozostaje bowiem pytanie najtrudniejsze: skąd wiemy, które lekcje natury powinniśmy naśladować? Ewolucja wytworzyła mutualizm, ale także pasożytnictwo; współpracę, lecz i drapieżnictwo; odporność, ale również wyścigi zbrojeń; redundancję, a zarazem masowe wymierania. Natura potrafi być oszczędna, ale potrafi też produkować miliardy potomków, z których niemal wszystkie giną. Selekcja naturalna nie zna praw człowieka, sprawiedliwości dystrybucyjnej ani odpowiedzialności za przyszłe pokolenia.

Pointa Fundacji Dobre Państwo musi stać się krytycznym domknięciem całej konstrukcji. Zderzymy tam biomimetykę z błędem naturalistycznym Hume'a i Moore'a, panglossowską pokusą adaptacjonizmu, kompromisami ewolucyjnymi, zmianą skali, efektem odbicia, ryzykiem technologicznym oraz etyką odpowiedzialności Hansa Jonasa. Powrócą Bell, humbak, mrówka, CRISPR i koralowiec, lecz już nie jako bohaterowie kolejnych wynalazków. Staną się elementami odpowiedzi na pytanie zasadnicze: czy dojrzałość cywilizacji polega na coraz wierniejszym kopiowaniu natury, czy na nauczeniu się, kiedy jej nie kopiować? To będą granice naśladowania i przyszłość człowieka bioinspirowanego – natura jako nauczyciel, nie wyrocznia.

Po przejściu od prehistorycznej włóczni do telefonu, od humbaka do turbiny, od oka skorupiaka do teleskopu rentgenowskiego, od mrówek do algorytmów, od bakterii do CRISPR i od metabolizmu biologicznego do gospodarki cyrkularnej łatwo ulec niebezpiecznemu złudzeniu: skoro natura dostarczyła tak wielu niezwykłych rozwiązań, wystarczy ją coraz uważniej kopiować, aby otrzymać

technologię lepszą, bardziej efektywną i moralną. Źródłowa notatka rzeczywiście prowadzi ku silnej wizji przejścia od eksploatacji do emulacji, natury jako liczącego miliardy lat "działu badań i rozwoju" oraz sukcesu mierzonego trwaniem życia przez dziesiątki tysięcy pokoleń. Jest to znakomity manifest inspiracji.

Natura jako system kompromisów, a nie zbiór optymalnych rozwiązań

Biomimetyka nie może jednak pełnić funkcji kompletnej teorii projektowania. Jej dojrzałość zaczyna się w chwili, gdy przestajemy pytać wyłącznie o to, czego możemy nauczyć się od natury, a zaczynamy zastanawiać się, których cech nie wolno przenosić bezkrytycznie do świata ludzkiego. Pierwszą granicą jest ewolucja. Dobór naturalny nie jest procesem projektowym dążącym do globalnej doskonałości; nie startuje z czystą kartką, nie dysponuje pełnym katalogiem rozwiązań i nie wybiera po prostu najlepszego z nich. Działa historycznie, operując na istniejących organizmach i dostępnych wariantach dziedzicznych. Każda nowa możliwość jest ograniczona tym, co powstało wcześniej. Parker i Maynard Smith, analizując teorię optymalności w biologii ewolucyjnej, podkreślali, że modele optymalizacyjne są użyteczne przede wszystkim jako narzędzia do badania ograniczeń wpływających na rezultat ewolucji, a nie jako dowód na to, że dobór naturalny produkuje rozwiązania absolutnie optymalne.

To rozróżnienie powinno znaleźć się na pierwszej stronie każdej instrukcji biomimetyki. Organizm jest bowiem kompromisem. Ptak nie optymalizuje wyłącznie lotu – musi przecież rosnąć, odżywiać się, rozmnażać, utrzymywać temperaturę ciała, naprawiać tkanki i unikać drapieżników. Kość nie jest maksymalnie lekka, gdyż musi zachować odporność na złamanie. Płetwa nie optymalizuje jednego kąta natarcia, ponieważ funkcjonuje w wielu fazach ruchu. Mózg z kolei nie maksymalizuje prędkości obliczeniowej bez względu na koszt energetyczny. Organizm żywy jest rozwiązaniem wielokryterialnym, w którym poprawa jednego parametru może pogorszyć inny. Literatura przedmiotu nazywa takie konflikty trade-offs: wzrost korzyści w jednym wymiarze może obniżać dostosowanie w drugim.

Dla inżyniera ma to kluczowe znaczenie. Zanim zacznie kopiować biologiczny detal, powinien ustalić, dla jakiego problemu ten konkretny element był kompromisem. Cecha może być doskonała w kontekście całego organizmu, ale niekoniecznie w kontekście maszyny. Pióro ptaka musi być lekkie, regenerowalne i produkowane przez żywą tkankę; skrzydło samolotu nie podlega identycznym ograniczeniom. Skóra rekina rośnie i ulega biologicznej naprawie jako część żywego

organizmu, podczas gdy powierzchnia okrętu ma działać latami w zupełnie innym reżimie materiałowym.

Kopiowanie geometrii bez uwzględnienia kontekstu ograniczeń może prowadzić do rozwiązania, które posiada biologiczną elegancję i techniczną przeciętność. Druga granica wynika z historii ewolucyjnej. Stephen Jay Gould i Richard Lewontin w klasycznym eseju o "spandrels of San Marco" krytykowali przekonanie, że każda zauważalna cecha organizmu musi posiadać osobną, optymalizującą historię adaptacyjną. Zwracali uwagę na ograniczenia planu budowy, historię filogenetyczną oraz cechy będące produktami ubocznymi innych zmian. Dla bioinspiracji jest to istotne ostrzeżenie. Sam fakt występowania struktury w organizmie nie dowodzi, że została ona "zaprojektowana przez ewolucję" właśnie dla funkcji dostrzeżonej przez inżyniera. Może być egzaptacją – cechą powstałą wcześniej w innym kontekście i później wykorzystaną do nowej funkcji – lub produktem ograniczenia rozwojowego.

Taka struktura może pozostawać częściowo neutralna, być konsekwencją innej cechy lub pełnić kilka funkcji jednocześnie, z których żadna nie jest jedyną "przyczyną" jej istnienia. Gould przypominał, że niektóre elementy należy rozumieć jako produkty architektury, które funkcję otrzymują dopiero wtórnie. Inżynier, dostrzegając interesujący kształt, powinien zatem zachowywać się bardziej jak biolog ewolucyjny niż jak kolekcjoner form: pytać o funkcję, historię, ograniczenia i alternatywne wyjaśnienia.

Fizyczne i etyczne granice translacji natury

Stąd wynika trzecia granica: problem skali. Biologiczne rozwiązanie funkcjonuje w określonych wymiarach, prędkościach i temperaturach oraz przy konkretnych wartościach parametrów bezwymiarowych. Mikroskopijny włosek gekona, pióro owada czy płetwa wieloryba działają w światach, w których względne znaczenie lepkości, bezwładności, sił powierzchniowych, grawitacji i elastyczności różni się dramatycznie. Przeniesienie rozwiązania o dwa lub sześć rzędów wielkości nie jest zatem zwykłym powiększeniem. Klasyczne prawo kwadratowo-sześcienne obrazuje najprostszą wersję tego problemu: gdy charakterystyczny wymiar ciała zwiększa się liniowo, powierzchnia rośnie proporcjonalnie do kwadratu, natomiast objętość i masa – do sześcianu. Dlatego gigantyczny owad nie może być po prostu powiększonym modelem, a mechaniczne skrzydło o rozpiętości samolotu nie zachowuje się tak samo jak skrzydło ważki. Bioinspiracja musi zatem przenosić relacje fizyczne, a nie skalowane fotografie natury. To właśnie to zrozumienie umożliwiło lot maszyn cięższych od powietrza: człowiek przestał wymagać od samolotu, aby był mechanicznym ptakiem.

Czwarta granica dotyczy czasu. Ewolucja operuje w perspektywie tysięcy lub milionów pokoleń, podczas gdy przemysł działa w cyklach inwestycyjnych, wyborczych, regulacyjnych i finansowych. Rozwiązanie biologiczne mogło powstawać dzięki niezwykle długiej serii drobnych zmian; przedsiębiorstwo natomiast potrzebuje prototypu w ciągu trzech lat. Natura może pozwolić sobie na śmierć ogromnej większości wariantów, lecz laboratorium farmaceutyczne, miasto czy społeczeństwo nie mogą traktować ludzi jako milionowych prób ewolucyjnego algorytmu. Obnaża to granicę często pomijaną w romantycznych interpretacjach algorytmów ewolucyjnych. Ewolucja jest skutecznym mechanizmem eksploracji między innymi dlatego, że nie posiada etycznego obowiązku ratowania każdego osobnika. Selekcja naturalna pozostaje obojętna na cierpienie, niesprawiedliwość i marnotrawstwo indywidualnego życia – miliardy organizmów mogą zginąć, byle niewielka część przekazała geny dalej.

Gdy komputer symuluje tysiąc wadliwych konstrukcji, koszt jest akceptowalny. Jednak gdy podobną logikę chcielibyśmy zastosować w medycynie, polityce społecznej lub bezpieczeństwie publicznym, napotykamy granicę normatywną. W tym miejscu konieczne jest wprowadzenie jednego z najważniejszych rozróżnień filozofii moralnej. David Hume zwrócił uwagę na przeskok pomiędzy twierdzeniami opisującymi, jak świat jest, a tymi mówiącymi, jak powinien być. Późniejsza tradycja związana z G.E. Moore'em określiła pokrewny problem mianem błędu naturalistycznego: utożsamiania dobra z jakąś własnością naturalną. Biomimetyka jest szczególnie narażona na tę pomyłkę. Z faktu, że określona relacja występuje w przyrodzie, nie wynika bowiem, że powinna zostać zrekonstruowana w społeczeństwie. Natura zna współpracę, ale zna również pasożytnictwo. Zna mutualizm i drapieżnictwo. Zna symbiozę oraz pasożytniczą kastrację. Zna decentralizację kolonii mrówek, lecz także dominację reprodukcyjną królowej. Zna różnorodność, ale i wymieranie. Zna regenerację, lecz zna również raka. Zna odporność i wyścigi zbrojeń.

Od naiwnego naśladownictwa ku inżynierii odporności

Jeżeli przedsiębiorca twierdzi, że „system powinien działać jak natura”, naukowa odpowiedź brzmi: która natura, na jakim poziomie, według jakiego kryterium i w jakim celu? Nie istnieje jedna, uniwersalna doktryna natury. Darwinowska metaforyka służyła historycznie zarówno do uzasadniania skrajnego leseferyzmu, jak i eugeniki; z kolei idee organicystyczne wspierały zarówno solidaryzm społeczny, jak i autorytarne wizje państwa. Problem nie tkwił w biologii, lecz w nieuprawnionym przechodzeniu od opisu mechanizmu przyrodniczego do normy społecznej.

Mrówka może pomóc w opracowaniu algorytmu trasowania, ale nie podpowie nam, jak powinno wyglądać demokratyczne państwo. Kolonia dowodzi, że zdecentralizowana koordynacja jest

możliwa, lecz nie wyznaczy granic praw jednostki. Ekosystem może nauczyć inżyniera przepływu materii, ale nie określi zasad sprawiedliwości podatkowej. Nawet jedna z najbardziej inspirujących tez materiału źródłowego — głosząca, że „życie tworzy warunki sprzyjające życiu", a prawdziwą miarą sukcesu jest trwanie przez dziesięć tysięcy pokoleń — powinna być traktowana jako normatywna heurystyka biomimetyki, a nie kompletne prawo biologii. Historia Ziemi obejmuje bowiem nie tylko współtworzenie warunków życia, ale i radykalne transformowanie środowiska przez organizmy. Wielkie Zdarzenie Tlenowe, wywołane działalnością fotosyntetyzujących mikroorganizmów, umożliwiło rozwój późniejszego życia tlenowego, lecz jednocześnie stało się katastrofą dla wielu organizmów beztlenowych.

Gatunek nie posiada ekologicznej konstytucji nakazującej mu chronić wszystkie pozostałe gatunki. Natura nie jest zatem moralnie „zrównoważona" — jest dynamiczna. Jej równowaga bywa przejściowa, a stabilność lokalna współistnieje z katastrofą w innych skalach czasowych. Dzisiejszy las nie istnieje dzięki temu, że wcześniejsze organizmy wspólnie uzgodniły jego trwałość, lecz jest wynikiem konkretnej konfiguracji klimatu, geologii, ewolucji i interakcji gatunków. Dla człowieka poszukującego modelu trwałej cywilizacji bardziej użyteczne od sloganu „natura jest zrównoważona" jest pytanie: jakie właściwości systemów ekologicznych sprzyjają odporności, regeneracji i długotrwałemu utrzymaniu funkcji, a które prowadzą do destabilizacji? W tym sensie biomimetyka musi przejść od selektywnego zachwytu do ekologii porównawczej. Nie wystarczy wybierać przykłady sukcesu; należy badać także biologiczne porażki. Gatunki wymierają, a strategie reprodukcyjne zawodzą po zmianie środowiska. Organizm wysoce wyspecjalizowany może być niezwykle efektywny w stabilnej niszy, lecz katastrofalnie bezradny po jej zniknięciu. Ten fakt ma kluczowe znaczenie projektowe.

Maksymalna specjalizacja zwiększa wydajność, ale jednocześnie obniża odporność na szok. Przedsiębiorstwo może uczyć się z biologii nie tylko efektywności, lecz i wartości redundancji. Organizm posiada pary narządów, zapas funkcjonalny tkanek, mechanizmy naprawcze i liczne ścieżki kompensacyjne. Ekosystemy z kolei utrzymują częściową redundancję funkcjonalną między gatunkami. Inżynieria nastawiona wyłącznie na minimalizację kosztów traktuje redundancję jako marnotrawstwo; inżynieria odporności widzi w niej ubezpieczenie. Pandemie, kryzysy energetyczne czy przerwanie łańcuchów dostaw pokazały, że system perfekcyjnie zoptymalizowany pod jeden scenariusz bywa kruchym systemem. Just-in-time minimalizuje zapasy, dopóki transport działa. Jeden globalny dostawca obniża koszty, dopóki pozostaje dostępny. Monokultura ułatwia zarządzanie, dopóki patogen nie znajdzie wspólnej podatności. Biologia podpowiada więc paradoks: część pozornej nieefektywności może być ceną odporności. Prowadzi to do istotnego rozróżnienia między efektywnością a resilience. Efektywność opisuje zazwyczaj stosunek rezultatu

do zużytych zasobów w danych warunkach, podczas gdy odporność określa zdolność systemu do utrzymania lub odzyskania funkcji po zakłóceniu.

Te cele mogą być sprzeczne. Usunięcie każdego zapasu zwiększa efektywność w spokojnym świecie, lecz drastycznie ogranicza margines reakcji na zdarzenia rzadkie. W bioinspirowanym projektowaniu przyszłości nie można pytać tylko o to, jak zmniejszyć zużycie materiału; trzeba zapytać, ile „nadmiaru" jest niezbędne, aby system nie uległ katastrofalnemu załamaniu. Kolejna granica dotyczy adaptacji do przeszłości. Organizm jest rozwiązaniem problemów, które występowały w jego historii ewolucyjnej, a nie automatyczną odpowiedzią na problemy przyszłe. Zmiana klimatu, nowy patogen czy środowisko antropogeniczne mogą spowodować mismatch — niedopasowanie cechy do nowej sytuacji. Człowiek również nosi takie ewolucyjne niedopasowania: mechanizmy nagrody ukształtowane w świecie ograniczonej dostępności wysokoenergetycznego pokarmu funkcjonują dziś w rzeczywistości, w której przemysł spożywczy dostarcza skoncentrowane bodźce niemal bez ograniczeń. To, co niegdyś było adaptacyjne, teraz może generować problemy. Technologia inspirowana biologicznie powinna więc pytać nie tylko o to, jak długo rozwiązanie istnieje, ale przede wszystkim: czy środowisko jego działania jest podobne do naszego?

Natura dostarcza mechanizmów, ale nie etyki

Setki milionów lat historii nie są certyfikatem uniwersalności, lecz świadectwem działania w konkretnej sekwencji warunków. W tym miejscu warto wrócić do źródłowej metafory natury jako działu R&D. Jeśli potraktujemy ją poważnie, musimy zauważyć, że jest to dział badań wyjątkowy. Nie prowadzi notatników. Nie definiuje celu. Nie rozróżnia produktu od produktu ubocznego. Nie eliminuje cierpienia organizmów eksperymentalnych. Nie troszczy się o sprawiedliwość i nie posiada niezależnej komisji bezpieczeństwa. Wytwarza ogromną różnorodność, z której część trwa, część znika, a część zmienia funkcję.

Dlatego człowiek nie powinien zatrudniać natury jako projektanta naczelnego. Powinien traktować ją jako nieporównywalnie bogate archiwum hipotez. Takie podejście jest zgodne nawet z formalnym ujęciem współczesnej biomimetyki. Norma ISO 18458:2015 nie przedstawia jej jako automatycznej gwarancji zrównoważenia; wyraźnie wskazuje zarówno na potencjał, jak i ograniczenia biomimetyki jako podejścia innowacyjnego oraz strategii sustainability. To kluczowe rozróżnienie. Przymiotnik „biomimetyczny" opisuje pochodzenie i metodę procesu projektowego, a nie moralną etykietę gotowego produktu. Można przecież zaprojektować biologicznie inspirowaną broń, system nadzoru, technologię wydobywczą albo urządzenie zwiększające konsumpcję

zasobów. Rój dronów może korzystać z algorytmów inspirowanych owadami i służyć celom całkowicie odmiennym od ekologicznej harmonii. Algorytm ewolucyjny może optymalizować emisję reklam, a technologia genetyczna zostać użyta terapeutycznie lub w sposób ryzykowny.

Natura mówi nam coś o mechanizmie, ale cel pozostaje ludzki. To właśnie tutaj niezbędna jest etyka odpowiedzialności. Hans Jonas argumentował, że nowoczesna technika radykalnie rozszerzyła przestrzenny i czasowy zasięg konsekwencji ludzkiego działania. Dawne systemy etyczne powstawały w świecie, w którym większość skutków decyzji była stosunkowo lokalna i odwracalna. Technologia przemysłowa może natomiast wpływać na klimat, genomy, zasoby i przyszłe pokolenia ludzi, którzy nie uczestniczą w dzisiejszych decyzjach. Jonas formułował dlatego imperatyw, aby skutki naszych działań pozostawały zgodne z trwaniem autentycznego ludzkiego życia; współczesne interpretacje jego myśli podkreślają również wagę ostrożności przy procesach nieodwracalnych.

Bioinspiracja potrzebuje właśnie takiego drugiego filtra. Pierwszy filtr brzmi: „czy natura demonstruje interesujący mechanizm?”. Drugi: „czy umiemy go technicznie przenieść?”. Trzeci musi brzmieć: „czy powinniśmy?”. Odpowiedź na to ostatnie pytanie nie może pochodzić z samej biologii. CRISPR jest tu najczystszym przykładem. Bakteryjny system odpornościowy udowodnił, że sekwencyjne rozpoznanie i kierunkowe cięcie DNA jest możliwe; biochemia pozwoliła przenieść ten mechanizm. Ale czy należy edytować komórki somatyczne w celu leczenia ciężkiej choroby? Czy modyfikować zarodek? Czy poprawiać cechy niezwiązane z chorobą? Czy uwalniać do środowiska gene drive zmieniający populację całego gatunku?

Żadne z tych pytań nie ma odpowiedzi zapisanej w Cas9. Enzym nie posiada etyki.

To samo dotyczy sztucznej inteligencji inspirowanej mózgiem. Efektywność energetyczna systemu neuromorficznego może być pożądana, podobnie jak zdolność do samoorganizacji. Jednak biologiczna inspiracja nie rozstrzyga, kto powinien kontrolować system, jakie dane może przetwarzać, kto ponosi odpowiedzialność za błąd ani które zastosowanie jest społecznie dopuszczalne. Naturalna inteligencja może być źródłem architektury, lecz prawo i etyka muszą określić granice jej użycia. Kolejny problem pojawia się na poziomie społecznym: efekt odbicia.

Bardziej efektywne rozwiązanie może zmniejszyć jednostkowe zużycie zasobu, a równocześnie zwiększyć całkowitą konsumpcję, ponieważ korzystanie z niego staje się tańsze lub wygodniejsze. Lżejszy materiał może obniżyć zapotrzebowanie na energię w przeliczeniu na jedną sztukę produktu, ale jednocześnie pozwolić na wytwarzanie znacznie większej ich liczby. Lepszy algorytm optymalizacji transportu może obniżyć koszt przewozu i tym samym pobudzić dodatkowy ruch.

Bioinspiracja wymaga projektowania instytucjonalnego środowiska selekcji

Energooszczędny wyświetlacz może obniżyć pobór mocy urządzenia, lecz niekoniecznie zredukuje całkowite zużycie energii w sektorze cyfrowym, jeśli jednocześnie gwałtownie wzrośnie liczba urządzeń i czas ich użytkowania. Dlatego biomimetyczna efektywność nie jest synonimem ekologicznej wystarczalności. System może wykonywać każdą operację oszczędniej i mimo to przekraczać granice środowiskowe, o ile skala tych operacji rośnie wystarczająco szybko. Krytyka ekologii sprowadzonej do wyrzeczenia oraz wizja „obfitości" są w tym kontekście interesujące, lecz wymagają uzupełnienia: technologiczna obfitość funkcji nie może być utożsamiana z nieskończoną obfitością przepływów materiałowych.

Biosfera uczy nas czegoś bardziej subtelnego. Organizmy wypracowują niezwykle bogate funkcje przy ograniczonych budżetach energetycznych i materiałowych. Człowiek może zatem dążyć nie do maksymalizacji wolumenu produkcji, lecz do maksymalizacji wartości funkcjonalnej na jednostkę nieodwracalnej presji środowiskowej. To fundamentalna różnica między gospodarką produkującą coraz więcej materii a taką, która generuje coraz więcej użyteczności z minimalnego przepływu pierwotnych zasobów. W tym punkcie bioinspiracja spotyka się z ekonomią instytucjonalną. Nawet najdoskonalszy projekt biologiczny nie zmieni systemu, jeśli bodźce ekonomiczne działają w przeciwnym kierunku. Firma może wiedzieć, jak stworzyć trwały i naprawialny produkt, a jednocześnie opierać swój model biznesowy na częstej wymianie. Projektant może potrafić opracować monomateriał, lecz przedsiębiorstwo może zarabiać więcej na produkcie wielowarstwowym – tanim w montażu, ale kosztownym w recyklingu. Techniczna możliwość nie przesądza zatem o trajektorii gospodarczej. Stąd ostatnia część teorii bioinspiracji musi obejmować projektowanie reguł selekcji technologicznej.

Jeżeli chcemy, aby rozwiązania trwałe, naprawialne i regeneracyjne częściej wygrywały, warunki rynkowe powinny odzwierciedlać koszty, które klasyczna rachunkowość wyrzucała poza przedsiębiorstwo. Rozszerzona odpowiedzialność producenta, standardy naprawialności, cena emisji, zamówienia publiczne czy regulacje materiałowe nie są jedynie dodatkami do „prawdziwej" technologii. Stanowią one element środowiska selekcyjnego, w którym technologie konkurują. Tu ujawnia się pewna przewrotna symetria.

Biologiczny organizm kształtuje środowisko selekcji naturalnej; technologia natomiast jest częściowo kształtowana przez środowisko selekcji instytucjonalnej. Jeśli prawo i ceny nagradzają krótką żywotność produktu oraz eksternalizację odpadów, gospodarka będzie „ewoluować" w stronę rozwiązań odpowiadających tym warunkom. Jeśli zaś premiowane są trwałość,

interoperacyjność i odzysk, konkurencyjne stają się inne trajektorie. Państwo nie projektuje wtedy każdego produktu z osobna, lecz kształtuje krajobraz jego selekcji. Z tej perspektywy pytanie „jak zrobiłaby to natura?" jest wartościowe, ale niewystarczające. Dojrzały proces powinien uzupełnić logikę wywodu o kolejne pytania: Jakie ograniczenie biologiczne wygenerowało obserwowaną cechę? Czy nasz problem jest rzeczywiście analogiczny? Co zmieni się po transferze skali i materiału? Jakie kompromisy zostaną utracone? Jaki jest pełny bilans cyklu życia? Kto otrzyma korzyści, a kto poniesie ryzyko? Czy rozwiązanie zwiększa odporność systemu? Czy tworzy nowe zależności? Jak zachowa się po masowym wdrożeniu? Czy jego sukces jednostkowy nie generuje porażki systemowej?

Bioinspiracja jako metoda generowania hipotez, a nie kopiowanie form

Właśnie taka sekwencja oddziela biomimetykę naukową od marketingu z zielonym listkiem. Możemy teraz wrócić do najstarszego przykładu całej opowieści. Prehistoryczny człowiek mógł patrzeć na ptaka i widzieć jedynie ostrze dzioba. Późniejszy próbował przypiąć skrzydło do własnych ramion. Dopiero kolejny nauczył się abstrahować siłę nośną i kontrolę przepływu. Historia bioinspiracji jest więc historią odchodzenia od dosłowności: najpierw kopiowaliśmy formę, potem funkcję, następnie relację, później algorytm, a wreszcie system organizowania przepływów. Być może następny etap powinien polegać na kolejnym kroku w tył – nie na kopiowaniu tego, co natura robi, lecz na nauce sposobu, w jaki jej złożoność zmusza nas do stawiania lepszych pytań.

Telefon Bella jest tego pięknym symbolem. Ucho nie dało mu gotowego schematu współczesnej telekomunikacji, ale pomogło dostrzec, że delikatny ruch membrany może zostać przetworzony i przeniesiony. Bellowskie wezwanie, aby „podążać za analogią natury", najlepiej czytać nie jako nakaz posłuszeństwa wobec biologii, lecz jako metodę wyjścia poza ciasnotę własnej dyscypliny. Analogia jest drzwiami; po ich otwarciu trzeba wykonać całą pracę nauki. Humbak dokonał podobnego przewrotu. Nie udowodnił, że każda turbina potrzebuje tuberkli, lecz coś metodologicznie cenniejszego: że przekonanie o konieczności idealnie gładkiej krawędzi natarcia nie jest prawem natury. Biologiczny wzorzec działa tu jak kontrprzykład rozszerzający przestrzeń projektu. Mrówki również nie podpowiedziały jednej, idealnej architektury organizacji, ale pokazały, że złożona koordynacja może powstawać bez centralnego planisty. CRISPR z kolei nie wskazał genów do zmiany, lecz udowodnił, że biologiczna pamięć infekcji może stać się programowalnym rozpoznaniem molekularnym.

Ekosystem nie dostarcza projektu gospodarki, ale pokazuje, że materiał może przechodzić przez wiele funkcjonalnych stanów i że wynik jednego procesu staje się początkiem następnego. W ten sposób natura spełnia trzy role: podnosi aspiracje, dostarcza dowodów wykonalności i poszerza przestrzeń możliwych rozwiązań. Do nich należy jednak dodać czwartą: natura falsyfikuje naszą pychę projektową. Przypomina, że to, co uważamy za konieczne, często jest jedynie skutkiem przyzwyczajenia do dotychczasowych metod budowania. Największym przeciwnikiem bioinspiracji nie jest zatem sceptyk pytający o dowód, lecz człowiek zbyt szybko zachwycony.

Nauka potrzebuje sceptyka właśnie po to, by zachować wartość zachwytu. Jeśli każdą podobną strukturę nazwiemy biomimetyczną, każde naturalne rozwiązanie doskonałym, a każdy „zielony" produkt zrównoważonym, pojęcia te przestaną cokolwiek znaczyć. Tę dyscyplinę odnajdziemy również w ISO 18458, które nie tylko porządkuje terminologię i proces biomimetyczny, ale explicite wskazuje jego potencjał oraz ograniczenia jako podejścia innowacyjnego i strategii sustainability.

Bioinspiracja powinna być zatem rozumiana jako procedura generowania i testowania hipotez projektowych, a nie jako certyfikat moralnej wyższości produktu. Można z niej wyprowadzić konkretną sekwencję metodologiczną: najpierw identyfikujemy problem techniczny, nie zakładając, że jego obecna definicja jest jedyna. Następnie poszukujemy biologicznych systemów realizujących pokrewną funkcję. Rozdzielamy morfologię od mechanizmu, ustalamy ograniczenia i historię biologicznego rozwiązania. Abstrahujemy relację, przenosimy ją do innej skali i testujemy eksperymentalnie. Oceniamy cykl życia, bezpieczeństwo oraz konsekwencje systemowe. Na końcu pytamy, czy rozwiązanie pozostaje lepsze, gdy wyjdziemy poza laboratoryjny parametr, który początkowo nas zachwycił. W ten sposób bioinspiracja zbliża się do naukowej pokory.

Bioinspiracja jako translacja zasad a nie kopiowanie formy

Pokora nie oznacza przekonania, że człowiek powinien podporządkować się naturze. To raczej uznanie, że nasz repertuar rozwiązań jest węższy niż zbiór konfiguracji, które świat fizyczny i biologiczny już zrealizował. Możemy dysponować większą wiedzą matematyczną niż humbak, a mimo to przeoczyć użyteczność pofalowanej krawędzi. Możemy budować superkomputery, wciąż ucząc się od układu nerwowego oszczędności energii.

Władamy chemią syntetyczną, a jednak odkrywamy leki w metabolitach grzybów; wysyłamy rakiety w kosmos, podczas gdy rozwiązanie problemu teleskopu znajdujemy w oku skorupiaka. Nie ma w tym poniżenia ludzkiej kreatywności. Przeciwnie – najbardziej ludzką cechą okazuje się zdolność

przenoszenia relacji pomiędzy domenami. Motyl nie buduje wyświetlacza na podstawie własnych skrzydeł, bakteria nie opracowuje terapii CRISPR, mrówka nie zapisuje algorytmu Ant Colony Optimization, a homar nie projektuje teleskopu.

Natura dostarcza zjawiska, lecz to ludzki umysł dokonuje abstrakcji, translacji i rekombinacji. Mary Shelley, której refleksja o wynalazku przywołana w notatkach wskazuje na tworzenie nie z próżni, lecz z chaosu, trafia w sedno bioinspiracji. Twórczość nie jest absolutnym stworzeniem ex nihilo, lecz reorganizowaniem relacji, które wcześniej należały do innych układów. Wynalazca jest mniej demiurgiem, a bardziej tłumaczem między światami.

Tak rozumiana kreatywność niesie konsekwencje dla edukacji. Jeśli przyszły inżynier otrzymuje wyłącznie gotowe zadania wewnątrz jednej dyscypliny, uczy się jedynie optymalizacji znanej przestrzeni. Bioinspiracja wymaga kompetencji odmiennej: rozpoznawania funkcjonalnego podobieństwa pomiędzy systemami, które powierzchownie nie mają ze sobą nic wspólnego. Ucho i telefon. Kolonia owadów i routing. Płetwa i turbina. Liść i struktura orbitalna. Bakteria i edycja genomu.

Jest to argument za edukacją interdyscyplinarną – nie jako modnym dodatkiem, lecz jako infrastrukturą innowacji. Wiedza specjalistyczna pozostaje niezbędna, gdyż bez niej analogia będzie powierzchowna, jednak sama w sobie może tworzyć poznawczy tunel. Innowacja bioinspirowana wymaga jednoczesnej głębi i przepuszczalności granic dyscyplinarnych. To samo dotyczy instytucji naukowych. Muzeum historii naturalnej posiada kolekcję organizmów, uniwersytet biologów rozumiejących ich funkcje, politechnika inżynierów zdolnych je modelować, a przedsiębiorstwo problem technologiczny i społeczną potrzebę, której żaden z tych podmiotów sam nie potrafi rozwiązać. Największy zasób tkwi zatem nie w pojedynczym laboratorium, lecz w jakości połączeń między nimi.

W tym znaczeniu cywilizacja bioinspirowana nie musi wyglądać bardziej „organicznie". Jej budynki nie muszą przypominać drzew, samochody ryb, a roboty owadów. Najbardziej zaawansowana biomimetyka może być wizualnie całkowicie niebiologiczna. Jeśli system materiałowy minimalizuje ilość odpadów, urządzenie działa przy niskim zużyciu energii, architektura adaptuje się bez kosztownego centralnego sterowania, a produkt jest zaprojektowany do długiego życia i kolejnych cykli wykorzystania – biologiczna inspiracja przejawia się w logice systemu, a nie w jego ornamentyce.

Pytanie o przyszłość człowieka bioinspirowanego nie jest pytaniem o „powrót do natury". Nie można powrócić do świata sprzed techniki, ponieważ człowiek sam jest zwierzęciem technologicznym, a kultura kształtuje jego środowisko od setek tysięcy lat. Ogień, język, ubranie,

miasto, medycyna i sieć cyfrowa stanowią część ludzkiej niszy. Istotą projektu nie jest porzucenie technologii, lecz budowanie technologii świadomej tego, że funkcjonuje wewnątrz biosfery, a nie poza nią.

Ta zmiana, pozornie jedynie językowa, ma konkretne konsekwencje gospodarcze i polityczne. Jeśli przemysł jest podsystemem biosfery, nie może w nieskończoność traktować granic ekologicznych jako problemów zewnętrznych. Jeśli gospodarka zależy od stabilności klimatu, gleby, wody i różnorodności biologicznej, ich utrata nie jest „kosztem środowiskowym" – czymś odrębnym od ekonomii – lecz erozją infrastruktury, na której ta gospodarka stoi. Bioinspiracja może prowadzić ku bardziej realistycznej ekonomii, o ile nie pomylimy metafory z rachunkiem. Ekosystem nie prowadzi księgowości, przedsiębiorstwo zaś musi. Jeżeli technologia inspirowana naturą zużywa więcej energii, wymaga więcej materiału i generuje trudniejszy do utylizacji odpad niż rozwiązanie klasyczne, nie staje się zrównoważona dzięki pięknej genealogii.

Odpowiedzialność człowieka za translację natury

Każdą deklarację trzeba ostatecznie poddać pomiarowi. Na początku odrzuciliśmy pogląd, że podobieństwo formy wystarcza do wykazania bioinspiracji; na końcu odrzucamy analogiczną pokusę, by uznać, że naturalne pochodzenie inspiracji wystarcza do wykazania jej wartości. W obu przypadkach niezbędny jest mechanizm, dowód i kontekst.

Wtedy dopiero można powrócić do Janine Benyus i źródłowego obrazu sukcesu mierzonego nie krótkotrwałym triumfem, lecz zdolnością do utrzymania warunków dla kolejnych pokoleń. Nie jako biologicznego prawa opisującego całą ewolucję, lecz jako świadomie wybranego przez ludzi kryterium cywilizacyjnego. To my, a nie dobór naturalny, możemy postanowić, że dobry projekt powinien uwzględniać ludzi, którzy urodzą się za sto lat. To my możemy uczynić trwałość normą i zdecydować, że sukces ekonomiczny nie powinien niszczyć warunków własnej przyszłej reprodukcji. W takim rozumieniu „dziesięć tysięcy pokoleń" nie jest prognozą. Jest testem wyobraźni moralnej. Zmusza do zapytania, jak wyglądałaby decyzja technologiczna, gdyby inwestor, inżynier, polityk i konsument musieli oceniać ją nie przez kwartał, kadencję ani własne życie, lecz przez ciąg dalszy ludzkiej historii. Hans Jonas powiedziałby, że właśnie możliwość technicznego oddziaływania na bardzo odległą przyszłość tworzy nowy rodzaj obowiązku. Bioinspiracja może temu obowiązkowi dostarczyć narzędzi, ale nie może go ustanowić.

Natura daje wiedzę o trwałości. Odpowiedzialność musimy wynaleźć sami.

Tutaj leży ostateczna różnica między człowiekiem a biologicznymi modelami, z których korzystał w tej historii. Humbak nie decyduje, czy jego płetwa powinna istnieć za milion lat. Bakteria nie rozważa etyki CRISPR. Mrówka nie dyskutuje o sprawiedliwości kolonii, a motyl nie prowadzi analizy cyklu życia swojego skrzydła. Człowiek może natomiast patrzeć na mechanizm, rozumieć jego skutki, przewidywać konsekwencje i odmówić wykorzystania czegoś, co potrafi zrobić. Dojrzałość technologiczna nie polega więc na maksymalizacji sprawczości, lecz także na rozwijaniu zdolności do samoograniczenia. Możemy edytować, ale nie wszystko powinniśmy edytować. Możemy optymalizować, lecz nie wszystko, co mierzalne, powinno zostać zmaksymalizowane. Możemy zwiększać efektywność, choć nie każda z nich zwiększa odporność. Możemy kopiować naturę, jednak nie każda jej forma zasługuje na kopiowanie. Najbardziej zaawansowany człowiek bioinspirowany nie będzie zatem kimś klękającym przed naturą ani pragnącym ją podbić. Oba obrazy są zbyt proste.

Będzie człowiekiem zdolnym wejść z nią w relację poznawczą: obserwować bez bałwochwalstwa, abstrahować bez uproszczenia, wykorzystywać bez złudzenia niewyczerpalności, projektować bez wiary w absolutną kontrolę i rezygnować z działania, kiedy skala nieodwracalnego ryzyka przekracza granicę odpowiedzialności. Po całej drodze od kamiennej włóczni do systemu edycji genomu zostaje jedna, zaskakująco skromna zasada metodologiczna: Natura nie daje nam gotowej przyszłości. Daje większą przestrzeń możliwości. Reszta należy do nas.

Użyteczna wersja Bellowskiej maksymy nie brzmi ostatecznie „kopiuj naturę”, lecz: idź za analogią natury, ale nie oddawaj jej własnego sądu.

Ptak dał człowiekowi pytanie o lot, nie samolot. Ucho dało pytanie o transdukcję, nie smartfon. Mrówka pokazała możliwość porządku rozproszonego, nie algorytm gotowy do skopiowania. Bakteria ukazała pamięć molekularnego wroga, nie kliniczną terapię CRISPR. Ekosystem pokazuje obieg materii, ale nie napisze ustaw o gospodarce cyrkularnej. Za każdym razem ludzkość musi wykonać ten sam ruch: zobaczyć, oddzielić zasadę od formy, przetłumaczyć, zmierzyć, zakwestionować i wziąć odpowiedzialność za skutek. To jest najważniejsza historia bioinspiracji. Nie opowieść o tym, jak natura stworzyła za nas nowoczesność, lecz jak kontakt z większym od nas repertuarem form nauczył człowieka myśleć inaczej niż dotąd. Natura pozostaje najstarszym archiwum działających możliwości, jakie posiadamy. Nie jest jednak instrukcją obsługi przyszłości. Przyszłość wartą wynalezienia trzeba jeszcze wynaleźć.

> Natura dostarcza nam najstarszego archiwum działających możliwości, ale nie jest instrukcją obsługi przyszłości. Prawdziwa dojrzałość cywilizacji nie objawi się w tym, jak wiernie potrafimy kopiować biologiczne wzorce, lecz w umiejętności rozpoznania

> momentu, w którym należy przestać naśladować. Ostatecznie to nie biologia, lecz ludzka odpowiedzialność musi zdecydować, czy projektujemy świat, który jedynie przypomina naturę, czy taki, który pozwala jej trwać.

Inspiracje

[1]

"Bioinspired" Samuel Cord Stier

2026 | Timber Press | ISBN: 9781643261447

Samuel Cord Stier jest ekspertem w dziedzinie innowacji inspirowanych biologią i dyrektorem założycielem Centrum Nauki z Naturą (The Center for Learning with Nature), organizacji non-profit zajmującej się programami nauczania przedmiotów ścisłych (STEM) i szkoleniami nauczycieli. Z wykształcenia ekolog, pełnił funkcję konsultanta ds. środowiska dla takich organizacji jak The Nature Conservancy, Bank Światowy i Monterey Bay Aquarium. Stier wykładał na Texas Tech University oraz w Otis College of Art and Design, gdzie wykładał projektowanie inspirowane biologią i projektowanie zrównoważone. Jest stypendystą National Science Foundation w dziedzinie projektowania programów nauczania przedmiotów ścisłych (STEM) i opracował wielokrotnie nagradzane materiały edukacyjne, wykorzystywane na całym świecie. Jego praca koncentruje się na styku natury, technologii i edukacji, promując zastosowanie biomimikry w rozwiązywaniu współczesnych wyzwań technologicznych i zrównoważonego rozwoju.

Samuel Cord Stier *is an expert in biologically inspired innovation and the founding director of The Center for Learning with Nature, a non-profit organization focused on STEM curricula and teacher training. An ecologist by training, he has served as an environmental consultant for organizations such as The Nature Conservancy, the World Bank, and the Monterey Bay Aquarium. Stier has held faculty appointments at Texas Tech University and the Otis College of Art and Design, where he has taught bio-inspired design and sustainable design. He is a National Science Foundation Fellow in STEM curricula design and has developed award-winning educational materials used internationally. His work centers on the intersection of nature, technology, and education, advocating for the application of biomimicry to address modern technological and sustainability challenges.*

The Center for Learning with Nature

Literatura uzupełniająca

Książki

Autorzy przywoływani w artykule:

[1] "Engineering Education for the Next Generation"

Samuel Cord Stier

2020 | W. W. Norton & Company | ISBN: 9780393713787

[2] "Science in Seconds for Kids"

Samuel Cord Stier, Jean Potter

2020 | John Wiley & Sons | ISBN: 9781119685500

[3] "Philippines"

Tammy Mildenstein, Samuel Cord Stier, Charles F. Gritzner

2009 | Infobase Publishing | ISBN: 9781438105475

Literatura pokrewna (Google Scholar):

[4] "invention of telephone"

Alexander Graham Bell

[5] "Memoir upon the formation of a deaf variety of the human race"

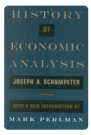
Alexander Graham Bell

[6] "Janine Benyus: Biomimicry's surprising lessons from nature's engineers"

Janine Benyus

[7] "Capitalism, Socialism and Democracy"

Joseph Schumpeter



[8] "History of Economic Analysis"

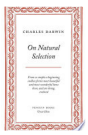
Joseph Schumpeter

Oxford University Press, USA | ISBN: 9780195105599

[9] "History of Economic Analysis (Oxford Press, 1955)"

Joseph Schumpeter

Taylor & Francis | ISBN: 9781134838714



[10] "Natural Selection"

Charles Darwin

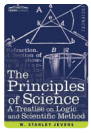
Penguin UK | ISBN: 9780141910864

[11] "The Variation of Animals and Plants under Domestication"

Charles Darwin

[12] "The Theory of Political Economy"

William Stanley Jevons



[13] "The principles of science : a treatise on logic and scientific method"

William Stanley Jevons

Cosimo Classics | ISBN: 9781616407643

[14] "Money and the Mechanism of Exchange"

William Stanley Jevons

[15] "An Enquiry Concerning Human Understanding"

David Hume

Broadview Press | ISBN: 9781770482876

[16] "A treatise of human nature"

David Hume

The Floating Press | ISBN: 9781775410676

[17] "Enquiries Concerning Human Understanding and Concerning the Principles of Morals"

David Hume

ISBN: 9780198245360

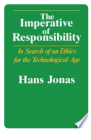
[18] "Ethics"

G. E. Moore

Clarendon Press | ISBN: 9780191534003

[19] "The Nature of Judgment"

G. E. Moore



[20] "The Imperative of Responsibility"

Hans Jonas

University of Chicago Press | ISBN: 9780226405971

[21] **"game theory"**

John Maynard Smith

[22] **"The Theory of Evolution"**

John Maynard Smith

Cambridge University Press | ISBN: 9780521451284

[23] **"Evolution and the Theory of Games"**

John Maynard Smith

Cambridge University Press | ISBN: 9780521288842

[24] **"Official Gazette of the United States Patent Office"**

United States. Patent Office

1937

[25] **"Engineering News and American Contract Journal"**

1910

[26] **"United States Patents Quarterly"**

1953

[27] **"Industrial Property"**

1985

Artykuły naukowe

Artykuły pokrewne (Google Scholar):

[1] **"Habitat selection of endangered and endemic large flying-foxes in Subic Bay, Philippines"**

Tammy L. Mildenstein, Sam C. Stier, Christine Ely Nuevo-Diego, L. Scott Mills

2005 | Biological Conservation | DOI: 10.1016/j.biocon.2005.05.001

Google Scholar

[2] **"DIETARY HABITS OF THE WORLD'S LARGEST BATS: THE PHILIPPINE FLYING FOXES, ACERODON JUBATUS AND PTEROPUS VAMPYRUS LANENSIS"**

Sam C. Stier, Tammy L. Mildenstein

2005 | Journal of Mammalogy | DOI: 10.1644/1545-1542(2005)086[0719:dhotwl]2.0.co;2

Google Scholar

[3] **"The Kyoto Protocol: an Opportunity for Biodiversity Restoration Forestry"**

Sam C. Stier, Stephen F. Siebert

2002 | Conservation Biology | DOI: 10.1046/j.1523-1739.2002.01626.x

Google Scholar

[4] **"Climate, community and biodiversity project design standards (First edition)"**

John O'Niles, Toby Janson-Smith, Cathleen Kelly, Jenny Henman, Bill Stanley, Sam C. Stier

2005 | Agritrop (Cirad)

Google Scholar

[5] **"Dietary habits of two threatened co-roosting flying foxes (Megachiroptera) Subic Bay Philippines"**

Sam C. Stier

2003 | The Mathematics Enthusiast

Google Scholar

[6] **"Is Knowledge Random? Introducing Sampling and Bias through Outdoor Inquiry"**

Sam C. Stier

2010 | Science Scope

Google Scholar

[7] **"Letters"**

Sam C. Stier, Stephen F. Siebert

2003 | Conservation Biology | DOI: 10.1046/j.1523-1739.2003.17102.x

Google Scholar

[8] **"CULTURAL FESTIVALS: ITS IMPLICATIONS TO BAT CONSERVATION ON NEGROS ISLAND, PHILIPPINES"**

Apolinario Bernardo Cariño, Tammy L. Mildenstein, Sam C. Stier, Vincent Villarin Gunot, Renee Mae Lorica

2008

Google Scholar

[9] "Schoolyard Microclimate: Students Learn the Differences between Weather and Climate as Well as the Degree of Natural Variation in Climate"

Joseph J. Fontaine, Sam C. Stier, Melissa L. Maggio, Karie L. Decker

2007 | The Science Teacher

Google Scholar

[10] "Standard Climat, Communauté et Biodiversité pour projets en phase d'élaboration (Première Edition)"

John O. Niles, Toby Janson-Smith, Kelly, Cathleen, Jenny Henman, Bill Stanley, Sam C. Stier

2005 | HAL (Le Centre pour la Communication Scientifique Directe) | DOI: 10.13140/rg.2.1.2427.1605

Google Scholar

Treść tworzy Fundacja Dobre Państwo.
Redaguje i publikuje APA ONE, autorski system redakcyjny Fundacji oparty na AI.
APA ONE Publishing System
Fundacja Dobre Państwo © 2026
Article ID: b56130be-03ee-403a-9517-32779bbda214