

W poszukiwaniu przekonujących wyjaśnień

Jeśli zależności pomiędzy interesującymi nas zjawiskami nie są liniowe i nie zmieniają się zawsze proporcjonalnie, to poszukuje się prostszych mechanizmów składowych, które by tłumaczyły ten wynik, bo zazwyczaj chcielibyśmy, żeby zmiany były łatwe do interpretacji. Z tego względu korzysta się z różnych wzorów, takich jak słynny IPAT – tożsamość arytmetyczna, która wyjaśnia presję na środowisko jako efekt wzrostu demograficznego i oddziaływania przez przeciętnego człowieka. Można to podejście uczynić bardziej złożonym, rozpatrując kilka aspektów owego oddziaływania. Z pomocą prostych przekształceń formalnych udaje się dostrzec zależności, które bez tego byłyby trudniejsze do zaobserwowania.

In search of convincing explanations

If the relationships between phenomena of interest are not linear and do not change proportionally, simple mechanisms that could explain the existing patterns are sought, since everything is typically expected to move in a way that is easy to interpret. For this reason, the famous IPAT formula was developed to explain pressure on the environment as the product of demographic growth and the impact of the average person. One can make this approach more complex by looking into several aspects of the relationship. Simple arithmetic transformations allow to capture relations that would otherwise be difficult to determine.

Arytmetyka utwierdza nas w przekonaniu, że każdą liczbę można podzielić i pomnożyć przez cokolwiek (byleby nie przez zero!) i nic się nie zmieni. Innymi słowy,

$$x = x * y / y.$$

W miejsce dowolnej liczby y wolno wstawić b/c, czyli najpierw pomnożyć przez b/c, a następnie przez to podzielić (czyli pomnożyć przez c/b). Można to jeszcze powtórzyć kilka razy, byleby każda dopisana liczba (różna od zera) raz pojawiła się w liczniku, a raz w mianowniku, czyli żeby wszystko dało się skrócić. Na przykład

$$x = (d/e) * (f/d) * (e/f) * x$$

i tak dalej.

Wykorzystanie wzoru IPAT

Po raz pierwszy podejście to rozpropagował w latach 1970-tych amerykański biolog, Paul Ehrlich. Posłużył się następującym wzorem:

$$I = P * A * T,$$

gdzie I (*Impact*) interpretuje się jako wpływ na środowisko, np. jako emisję jakiegoś zanieczyszczenia w tonach, P (*Population*) to liczba ludności w mieszkańcach, A (*Affluence*) to zamożność mierzona za pomocą PKB *per capita* i T (*Technology*) to technologia mierzona za pomocą emisji tegoż zanieczyszczenia przypadającą na jednostkę PKB. Ostatecznie więc, zgodnie z tym wzorem, emisja zależy od liczby

ludności, PKB i obciążenia owego PKB przez zanieczyszczenia. Paul Ehrlich bał się, że wzrost demograficzny jest najbardziej zabójczy dla środowiska, bo w połowie XX wieku myślano, że liczba ludności będzie wzrastała nieograniczenie. Obecnie, kiedy ta liczba osiągnęła 8 miliardów i według aktualnych prognoz nigdy nie przekroczy 11 miliardów, zmienna P w tym wzorze wzrośnie najwyżej o kilkadziesiąt procent. Tymczasem światowy PKB ma tendencję do wzrostu nieporównanie gwałtowniejszego; wystarczy porównać roczny PKB *per capita* w Szwecji, wynoszący około 70 000 USD, z PKB *per capita* w Indiach – około 11 000 USD. Znając uzasadnione aspiracje krajów słabo rozwiniętych, można się spodziewać presji na wzrost zamożności wielokrotnie przekraczającej presję demograficzną.

Podejście zastosowane we wzorze IPAT zostało wykorzystane przez japońskiego ekonomistę Yoichi Kaya i jest często opisywane jako tożsamość jego imienia (*Kaya Identity*). W tym ujęciu wzór ma postać:

$$F = P * G/P * E/G * F/E,$$

gdzie F oznacza emisję dwutlenku węgla, P – liczbę ludności, G – PKB, zaś E – zużycie energii.

W pewnym sensie wzory tego typu są tautologiami i relacjonują same oczywistości. Wiadomo przecież na przykład, że zbiory dowolnego produktu rolnego stanowią iloczyn powierzchni zasiewów i plonów z hektara. W Polsce powierzchnia zasiewów zbóż zbliża się do 7 mln ha, ich plony wynoszą przeciętnie 5 t/ha, więc produkcja osiąga 35 mln t. Gdyby plony się nie zmieniły, a powierzchnia zasiewów wzrosła 2 razy, to i produkcja wzrosłaby 2 razy, do 70 mln t. Albo gdyby powierzchnia zasiewów była wciąż taka sama, a plony wzrosły o 20%, czyli do 6 t/ha, to produkcja wzrosłaby też o 20%, czyli do 42 mln t. Są to oczywiste dywagacje, które wzór typu IPAT tylko powtarza. Można więc zawyrokować, że tego typu wzory niczego mądrego nie są w stanie wniesć.

Ale byłyby to opinie przedwczesne. Przede wszystkim wzory pozwalają na ocenę stopnia ważności różnych czynników. Np. klasyczny wzór IPAT sugeruje spojrzenie na presję na środowisko przez pryzmat wzrostu demograficznego, wzrostu zamożności i technologii. Skoro wzrost demograficzny okazał się ustabilizowany, a światowy wzrost zamożności bywa traktowany jako nieunikniony, to ograniczenie tej presji jest możliwe tylko przez odpowiednio skuteczną poprawę technologii. W ujęciu proponowanym w tożsamości Kaya, wybór dotyczy w zasadzie tylko czynników E/G i F/E, bo czynnik P jest ustabilizowany, a G/P musi rosnąć (światowy PKB *per capita* wynosi około 25 000 USD, a skoro trudno oczekiwać, żeby w krajach najbogatszych zmalał w sposób istotny, to trudno też oczekiwać, żeby w kilkudziesięciu krajach biedniejszych od Indii nie wzrósł kilkukrotnie, znacznie podnosząc tę średnią).

Praktyczne wskazówki dla polityki

Próby obniżenia czynnika E/G sprowadzają się do obniżenia energochłonności PKB. W Polsce, po odejściu od systemu socjalistycznego, udało się tę energochłonność obniżyć z niemal 4 kWh/\$ w 1991 r. do 1 kWh/\$ w 2023 r. (szacowaną w tzw. dolarach międzynarodowych z 2011 r.). Tendencję malejącą zaobserwowano również w innych krajach, więc można się spodziewać pewnej poprawy na świecie pod tym względem.

Obniżka F/E powszechnie jest kojarzona z dekarbonizacją energii (*Aura* 7/2022). Radykalna poprawa w tym zakresie musi polegać na wyeliminowaniu paliw kopalnych, takich jak węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny. Jest to proces długotrwały, ale w sumie możliwy do realizacji. Obfite zużycie tych paliw – znikome przed XIX wiekiem – pozwoliło na bezprecedensowy wzrost PKB w ciągu ostatnich dwóch stuleci. Dekarbonizacja energii przez zastępowanie paliw kopalnych źródłami odnawialnymi postępuje dość szybko, choć wolniej, niżby sobie życzyły osoby, którym zależy na ochronie klimatu albo zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego. Nawet w gospodarce polskiej, która w wyjątkowym (jak na Europę) stopniu uzależniona jest od spalania węgla, w 1990 r. na 1 kWh elektryczności przypadała emisja dwutlenku węgla w wysokości 1,3 t, a w 2023 r. wskaźnik ten wynosił już tylko 0,6 t. W wielu regionach planuje się osiągnięcie wskaźnika F/E w wysokości 0, choć można mieć obawę, że faktyczna emisja dwutlenku węgla zostanie nie tyle wyeliminowana, co raczej ukryta gdzie indziej (*Aura* 3/2023).

Analizy ekonomiczne

Wzory typu IPAT pozwalają więc na pewne uporządkowanie analiz polityki ochrony środowiska. Ale pozwalają również na analizę innych ciekawych zjawisk, włącznie z tzw. ekologiczną krzywą Kuznetsa (*Aura* 3/2013). Pod tą nazwą kryje się proces polegający na tym, że dewastacja środowiska zazwyczaj rośnie wraz ze wzrostem zamożności, choć tylko do pewnego poziomu. Wraz z dalszym jego wzrostem nie tylko nie rośnie, ale się wręcz obniża. Np. w USA – gdzie najłatwiej można znaleźć wiarygodne statystyki długookresowe – roczna emisja dwutlenku siarki w przeliczeniu na jednego mieszkańca wynosiła około 100 kg w początku XX wieku. Maksimum – które odnotowano w roku 1973 – wyniosło około 150 kg. Obecnie emisja przypadająca na jednego mieszkańca spadła niemal do zera (wynosi poniżej 5 kg).

Taki proces może dziwić osoby, które oczekują, że jeśli coś rośnie, to rośnie zawsze, a jeśli spada, to spada zawsze. Z pomocą przychodzi dekompozycja badanego zjawiska według wspomnianej na wstępie zasady. Przypuśćmy, że chcemy w prosty sposób wyjaśnić, dlaczego DEW/P (gdzie DEW jest jakimś wskaźnikiem dewastacji środowiska, np. emisją zanieczyszczenia, a P – jak zwykle – liczbą ludności) ma taki dziwny nieliniowy przebieg. Jeśli PKB/P (czyli PKB *per capita*, poziom zamożności) pomnożyć i podzielić przez tę samą liczbę, to wynik się nie zmienia. Niech PKB/STR (gdzie STR charakteryzuje strukturę gospodarczą – np. udział przemysłu w gospodarce) będzie tą liczbą. Wtedy

$$\text{DEW/P} = \text{DEW/P} * \text{PKB/STR} * \text{STR/PKB},$$

a po oczywistych przekształceniach arytmetycznych:

$$\text{DEW/P} = \text{DEW/STR} * \text{STR/PKB} * \text{PKB/P}.$$

Badany wskaźnik – DEW/P – zostaje zatem wyjaśniony przez poziom zamożności (PKB/P) pomnożony przez dwa czynniki: DEW/STR oraz STR/PKB. A jeśli owe czynniki rosną albo spadają nawet stale, lecz w różnych tempach – jak to często bywa – to DEW/P właśnie może najpierw rosnąć, a potem spadać.

Tak więc wzory typu IPAT nie powinny być dyskredytowane jako tautologiczne i zbędne. Pozwalają na ustalenie ważności różnych aspektów presji na środowisko. Np.

presja demograficzna – stanowiąca przedmiot szczególnej troski w drugiej połowie XX wieku – nie wydaje się być obecnie kluczowa dla przyszłości ochrony środowiska. Natomiast presja na wzrost zamożności ma znaczenie bardziej istotne, bo nie można przecież wyperswadować ubogim, żeby pozbyli się swoich aspiracji materialnych.

Niby to wszystko jest oczywiste, ale arytmetyka pomaga racjonalnie wyjaśnić zjawiska obserwowane na świecie.