



Inwazja barbarzyńców

Na mój plecak, oparty w metrze na kolanach, wpelza biedronka. Musiała jakoś na mnie wylądować w drodze do podziemi. Strącam ją z niechęcią pomieszaną ze złością. Zabrano mi radość z widoku czerwonego chrząszcza w czarne kropki, od kiedy w Polsce rozpanoszyła się inwazyjna *Harmonia* z Azji.

Wielbiciele przyrody wystawieni są teraz na ciężkie próby. Nie da się już tak po prostu kochać wszystkiego, co żywe. Jedne się wielbi, z innymi zaciekle walczy najbardziej nieprzyjemnymi metodami. Wchodząc do wody w Zatoce Puckiej, czuję lekkie obrzydzenie na widok setek maleńkich rybek – przedstawicieli inwazyjnej babki byczej – gromadzących się wokół moich stóp. Krzywię się, widząc pod koniec lata piękne słonecznożółte łany nawłoci na łąkach. Ostatnio do listy dopisuję kolejną roślinę, która wyrasta w wielu miejscach miasta: wyniosłe i smukłe drzewo o równie górnolotnej nazwie: bożodrzew gruczołowaty (*Ailanthus altissima*).

A wszystko za sprawą francuskiego jezuitę i przyrodnika Pierre'a d'Incarville'a, który w połowie XVIII wieku przesłał z Chin do Francji nasiona, myśląc je z nasionami cennego drzewa lakowego. Przypadkowy przybysz szybko jednak trafił do ogrodów i parków w całej Europie, gdzie przez wiele lat był uznawany za egzotyczne drzewo ozdobne. W Anglii bożodrzew nazwano drzewem niebiańskim (*Tree of Heaven*) – zapewne z powodu nieprawdopodobnych możliwości tempa wzrostu. Początkowo pnie się do nieba z prędkością nawet dwóch metrów rocznie, dochodząc w ciągu 25 lat aż do 15 metrów. Do końca swojego stosunkowo krótkiego (jak na drzewo) życia – rzadko przekraczającego 50 lat – osiąga imponującą, dwukrotnie większą wysokość. Liście złożone bożodrzewu mogą dorastać do około 90 centymetrów.

Pnie dwóch takich drzew widzę z okien mieszkania na trzecim piętrze starej kamienicy, korona jest jeszcze wyżej. Skaczą po niej ptaki, w zagłębieniu między rozgałęzieniami ucina drzemkę wiewiórka. Gałęzie oceniają rozpalony letnim słońcem asfalt na podwórku. Skoro niebiańska roślina jest taka piękna i wyniosła – w czym problem?

Boskie drzewo od 2019 roku znajduje się na liście inwazyjnych gatunków obcych (IGO) w Europie. Jego głęboko sięgające korzenie rozsadzają podziemne struktury, w tym mury, rury, otuliny, instalacje, fundamenty i utwardzane powierzchnie. Bożodrzew znakomicie rośnie w środowisku przekształconym przez człowieka – na nieużytkach, gruzowiskach, ruinach, na dachach, w rynnach, terenach zdegradowanych przez przemysł. Lubi słońce i ciepło, jest odporny na zanieczyszczenie powietrza, zasolenie, niskie pH, wysokie stężenie metali ciężkich w glebie, a także okresy suszy. Cięcie, wycinanie całych osobników, usuwanie korzeni u roślin starszych niż pięć lat pobudza roślinę do gwałtowniejszego wzrostu. Zraniony korzeń produkuje masowo odrosty, czyli nowe pędy wyrastające nad ziemię. Do tego dochodzi działanie bożodrzewu na inne rośliny. W swoich tkankach wytwarza substancje hamujące kiełkowanie i wzrost innych roślin. Najsilniej działającym związkiem jest ailanton, należący do tak zwanych kwasinoidów – związków, które jako pierwsze wyizolowano z rośliny o wiele mówiącej nazwie gorzka właściwa (*Quassia amara*, stąd nazwa grupy związków).

Bożodrzew gromadzi ailanton w korze, liściach oraz aktywnie wydziela go korzeniami. Zrzucając jesienią liście,

zapewnia obecność trucizny w glebie także w okresie zimowego spoczynku i wybudzania się z niego na wiosnę. Niestety bezpośredni kontakt człowieka z rośliną może działać na skórę drażniaco i uczulająco, powodując m.in. zaczerwienienie, pieczenie, swędzenie lub stan zapalny, szczególnie po kontakcie z uszkodzonymi częściami rośliny. W połączeniu z niezwykle ekspansywnością bożodrzewu te niezbyt sympatyczne właściwości sprawiły, że angielskie *Tree of Heaven* bywa złośliwie przerabiane na *Tree of Hell*.

Nie wiemy jeszcze dokładnie, jaki jest molekularny mechanizm hamowania wzrostu i kiełkowania przez ailanton. Badania laboratoryjne wykazują w komórkach gwałtowny wzrost tzw. reaktywnych form tlenu (ang. ROS), wolnych rodników, a zatem stres oksydacyjny. To sytuacja alarmowa dla komórki – ROS uszkadzają wszystkie cząsteczki kluczowe dla życia, począwszy od DNA, RNA, poprzez lipidy budujące błony komórkowe oraz te tworzące mitochondria i chloroplasty, na białkach skończywszy. Dlatego działanie ailantonu w konsekwencji powoduje aktywację wielkiej liczby genów, które kodują białka służące naprawie i „czyszczeniu” komórki z cząsteczek uszkodzonych. Niejednokrotnie kończy się to jednak śmiercią komórki, kiedy poziom zniszczeń przekracza możliwości naprawy.

Sam bożodrzew unika tego niebezpieczeństwa na kilka sposobów. Po pierwsze, produkuje truciznę z dezaktywującym łańcuchem reszty cukrowej. Jest on odcinany w momencie wydzielania substancji na zewnątrz komórek korzeni. Po drugie, ailanton jest gromadzony w wydzielonych częściach komórki, przez co nie ma dostępu do tych procesów, które zaburza u innych roślin. Po trzecie, białka, z którymi ailanton wchodzi w interakcję w procesie ewolucji, przeszły mutacje, które zmieniły ich strukturę. To sprawia, że jego wpływ na fizjologię bożodrzewu jest znacznie słabszy. W Polsce zmiany środowiska sprzyjają ekspansji bożodrzewu. Susze, pożary i inne zaburzenia tworzą w lasach otwarte miejsca, w których światłoludne drzewo może szybko się zadomowić. Odporność na suszę i zanieczyszczenia daje mu przewagę tam, gdzie jest dużo słońca. Mimo że gatunek występuje przede wszystkim w siedliskach przekształconych przez człowieka, odnotowano też jego obecność poza nimi. Szczególnie podatne na jego ekspansję są lasy łęgowe, ciągnące się wzdłuż dolin rzecznych.

Skuteczny podbój nowych terenów jest związany z tzw. „ucieczką przed wrogiem”. W swojej ojczyźnie – Azji

Wschodniej – bożodrzew gruczołowaty nie zachowuje się jak niekontrolowany „najeźdźca”, ponieważ przez tysiące pokoleń współistniał z miejscową przyrodą. Jego populację ograniczają tam roślinożercy i patogeny, które przystosowały się do wykorzystywania tego gatunku, a część rodzimych roślin nie jest wrażliwa na wydzielane przez drzewo związki. W Europie bożodrzew uciekł spod tej naturalnej kontroli i znalazł się w środowisku, w którym jego szybki wzrost, skuteczne rozmnażanie i tolerancja trudnych warunków dają mu dużą przewagę.

W Azji bożodrzew wykorzystuje się jako surowiec dla przemysłu drzewnego, hoduje się na nim także jedwabnika. Wreszcie, od wieków kora z korzeni stosowana była przeciw bieguncce, krwawieniu, infekcjom i niektórym chorobom skóry.

Dlatego od wielu lat bada się, jak wykorzystać ailanton we współczesnej medycynie. Najwięcej nadziei budzi jego potencjalne działanie przeciwnowotworowe. W doświadczeniach na zwierzętach hamuje namnażanie komórek wielu rodzajów nowotworów i może uruchamiać tzw. apoptozę, zaprogramowaną śmierć komórki. Wygląda na to, że ailanton może działać na komórki nowotworowe, które stały się odporne na leczenie – badano jego działanie m.in. wobec komórek opornych na cisplatynę. Wciąż

jednak sporo wyzwań przed badaczami. Najnowsze prace wskazują możliwe kierunki, które pozwolą ominąć istotny problem – toksyczność związku dla zdrowych komórek. Poszukuje się takich metod, aby ailanton zabijał nowotwór, zarazem nie szkodząc tym zdrowym komórkom.

To my sami sobie ściągamy nieszczęścia na głowę. Inwazyjne gatunki nawłoci pochodzą z Ameryki Północnej; do Europy sprowadzone zostały jako rośliny ozdobne i miododajne. Z czasem wymknęły się z upraw i zaczęły szybko kolonizować siedliska poza nimi. Babka bycza do Bałtyku przedostała się wraz z wodami balastowymi statków, a biedronkę *Harmonię* sprowadzono do Niemiec jako biologiczną broń przeciwko mszycom. Lista gatunków inwazyjnych jest bardzo długa. Z pewnością w dalszej perspektywie przyroda dzięki ewolucji poradzi sobie z kolonizatorami. Zapewne kosztem obecnie różnorodnych (wciąż) ekosystemów. Z drugiej strony, kiedy myślę o degradacji środowiska spowodowanej przez najbardziej inwazyjny gatunek na świecie, nas samych, może to takie właśnie organizmy są naszą nadzieją. Te, które przeżyją w skrajnie niekorzystnych dla większości warunkach, gdy reszta nie da rady?

Marta FIKUS-KRYŃSKA



Łat otwarty 20°: Zbieżny czy rozbieżny?

Bartłomiej PAWLIK*

*Politechnika Śląska

Istnieją szeregi, które wyglądają jak ćwiczenie z pierwszego kursu analizy, a w rzeczywistości dotyczą jednego z trudnych pytań o liczbę π . Ale zacznijmy delikatnie, od najistotniejszych definicji i faktów. Jeżeli a_n jest nieskończonym ciągiem liczbowym, to wyrażenie

$$\sum_{i=1}^{\infty} a_i = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n + \dots$$

nazywamy szeregiem o wyrazie ogólnym a_n . Jeżeli istnieje skończona granica ciągu sum częściowych

$$g = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n a_i,$$

to mówimy, że dany szereg jest zbieżny do g . Szeregi, które nie są zbieżne, nazywamy rozbieżnymi. Sztandarowym przykładem szeregu zbieżnego jest suma odwrotności potęg liczby 2, natomiast przykładem rozbieżnego – suma odwrotności liczb naturalnych (tzw. szereg harmoniczny)

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2^n} = 1, \quad \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} = \infty.$$

Podstawowe metody określania zbieżności szeregów są jednymi z pierwszych zagadnień, z którymi studenci się zapoznają na podstawowym kursie analizy matematycznej – należą do nich kryteria: porównawcze, Cauchy’ego oraz d’Alemberta. Czasami zdarza mi się prowadzić ćwiczenia z analizy dla studentów informatyki na Politechnice Śląskiej – zawsze pod koniec zajęć na temat szeregów proponuję im zbadanie zbieżności jednego z nich

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3 \sin^2 n}.$$

Próby rozwiązania tego zadania często okazują się dla studentów pouczające, lecz jeszcze nikomu nie udało się tej zbieżności rozstrzygnąć. Zawsze po kilku nieudanych (i nierzadko pomysłowych!) podejściach na pocieszenie oznajmiam, że ja również nie potrafię tego rozwiązać i, z tego co mi wiadomo, w zasadzie nikt nie potrafi.

Rzeczona suma znana jest jako szereg Flint Hills i została przedstawiona w 2002 roku przez Clifforda A. Pickovera w książce *The Mathematics of Oz. Mental Gymnastics from Beyond the Edge*. Dziewięć lat później okazało się, że określenie zbieżności tego szeregu pozwoliłoby nam trochę lepiej zrozumieć naturę liczby π . Max Alekseyev wykazał, że gdyby szereg Flint Hills był zbieżny, to liczby wymierne nie mogłyby przybliżać π „zbyt dobrze”: wyjątkowo dokładne przybliżenia musiałyby pojawiać się dostatecznie rzadko. Poglądowo można to uzasadnić następująco:

Zauważmy, że wartości ułamka $1/(n^3 \sin^2 n)$ są „duże” tylko wtedy, gdy mianownik jest bliski 0 – zdarza się to, gdy n znajduje się blisko miejsc zerowych funkcji sinus, którymi są (jak wiemy ze szkoły średniej) wielokrotności liczby π . Zatem elementy szeregu przyjmują duże wartości dla takich par liczb naturalnych n i k , dla których $n \approx k\pi$, co jest równoważne z $n/k \approx \pi$. Zbieżność szeregu zależy więc od tego, czy takie wyjątkowo dobre przybliżenia liczby π pojawiają się dostatecznie rzadko.

Określenie zbieżności szeregu Flint Hills zostawiam moim studentom – oraz Czytelnikom – jako zadanie domowe. Wszak Paul R. Halmos w przedmowie do podręcznika *A Hilbert Space Problem Book* sformułował bardzo przydatną zasadę dydaktyczną: *The only way to learn mathematics is to do mathematics.*