



dr hab.
Urszula
Zajączkowska,
prof. SGGW

Pracuje w Samodzielnym Zakładzie Botaniki Leśnej SGGW w Warszawie. Bada wzrost, anatomię, aerodynamikę i biomechanikę roślin. Poetka i pisarka. Laureatka m.in. Nagrody Fundacji im. Kościelskich, a także filmowej Nagrody Głównej i Publiczności festiwalu Scinema w Melbourne i Light Festival w Miami.

urszula_zajaczkowska
@sggw.edu.pl

PUNKTY, LINIE, TRAJEKTORIE ROŚLIN

Dzięki obrazom rejestrowanym na filmie poklatkowym możemy w przyspieszonym tempie obserwować rozwój roślin. Na co dzień jest to dla nas niedostępne.

Urszula Zajączkowska

Samodzielny Zakład Botaniki Leśnej
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie

Przyglądam się roślinom inaczej dlatego, że żyją one w innym tempie niż my. Komórki ich ciała są sklejone blaszką środkową i są niemal zamknięte w ścianach komórkowych, całe zaś organizmy są zakorzenione albo inaczej – przymocowane

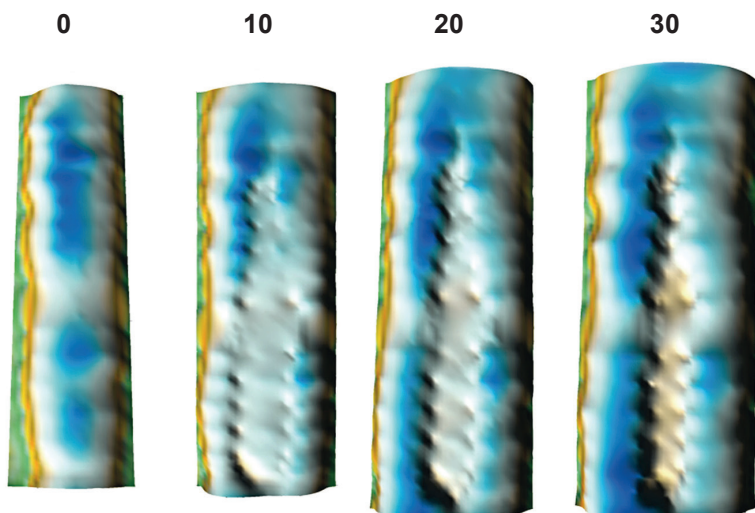
do podłoża, które przez to jest miejscem początku i końca ich życia. Potrzeba więc bardzo dużo czasu, by reakcja roślin stała się dla nas widoczna (nie mówię tu o *Arabidopsis*, lecz o drzewach). Drzewa rosnące na brzegu lasu, na obszarach wietrznych, przystosowują się do środowiska, ich korony reagują tak, że formują opływowe kształty, pochylone, zwężające się w kierunku lasu. Trwa to jednak kilkadziesiąt lat, a nie sekundę i na tym polega różnica między nami a roślinami.

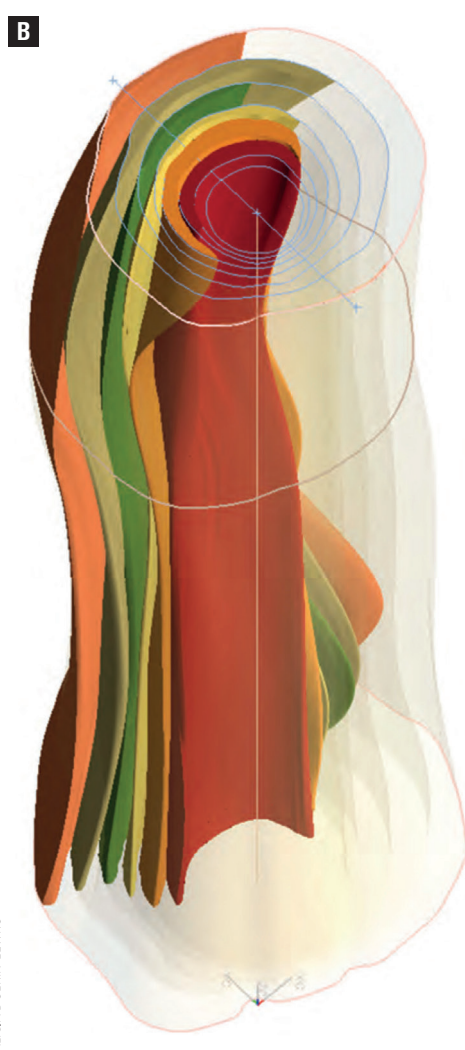
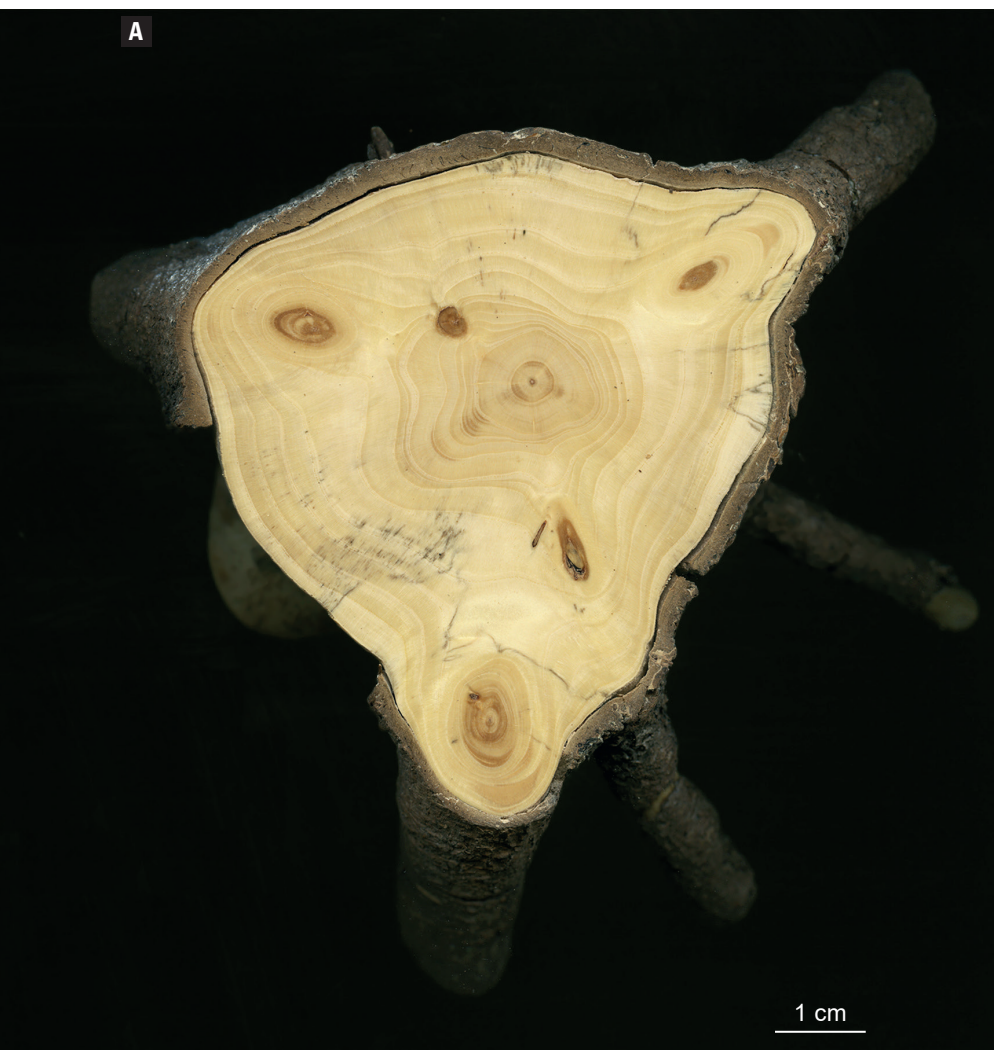
Zranione drzewa

Niektóre rośliny wytwarzają tzw. przyrosty drewna, które powstaje przez niemal całe ich życie. W pniu, konarach, korzeniach jest utrwalony zapis będący odzwierciedleniem ich fizjologii i warunków środowiska, w których się rozwijały. Są więc formą zapisu ich historii wyrysowaną w rysunku ciała.

Przyglądając się narośłom powstałym na ranach starych drzew, obfitym fałdom okalającym dawną bliznę, można przestudiować cały proces gojenia się drzewa. Drzewo goi się, zarasta, tworzy nowe narośla. Żeby to zobaczyć, można do tego zaangażować oprogramowanie do wizualizowania danych przestrzennych i tworzenia map, np. ArcGIS. Poharata na 50-letnia sosna przez kilkadziesiąt lat nie zdołała zamknąć swojego pnia. Zranione drzewo, o zdewastowanym kambium, tkance odpowiedzialnej za całe tworzenie wtórnego przyrostu drewna, nie formuje cyklicznych, uporządkowanych przyrostów, lecz tworzy struktury chaotyczne. Drewno przyranne jest inne niż normalne, tak jak strup na ciele zwierzęcia nie

30 lat zarastania rany
pnia sosny





ALICJA DOBKIN-LEWKO

przypomina skóry. Wynika to głównie z zaburzonego wektora transportu hormonu wzrostu – auksyny. Auksyna tworzy się w młodych liściach i pędach, jest transportowana z wierzchołka do korzeni przez żywe kambium. To ona stymuluje je do podziałów komórek. Ona jest sygnalizatorem przestrzennym polarności tkanek i całego organizmu, więc niezależnie od tego, jak drzewo będzie umieszczone w przestrzeni, jego poszczególne części morfologiczne zachowują swoją odrębność. Ale przecięte kambium traci tego informatora, przepływ auksyny jest zaburzony, od tej pory jego pochodne nie przypominają już równomiernych ciągów komórek, lecz supły.

Jak można opisać skalę takiego bałaganu komórek u roślin? Kiedy można powiedzieć, że drzewo zaczyna porządkować układ i się goi? Do zbadania włókien kolagenu zastosowano metodę analizy obrazu cyfrowego 3D, która jest przystosowana do odtworzenia układu komórek widzianych na prostych preparatach gojącego się pnia drewna. Metoda opiera się na tzw. tensorze struktury i jego wizualizacji w kolorze. Dzięki

temu możliwe jest skwantyfikowanie poziomu uporządkowania komórkowego, a więc liczbowego wyrażenia stopnia regeneracji pnia.

Przywracanie struktury zniszczonej rośliny – albo inaczej: analiza gojenia się ran – jest więc niezwykle ciekawym poszukiwaniem podstaw fizjologii i różnicowania się roślin. Wydaje się, że rośliny charakteryzuje bardzo ścisły pęk równań, opisujący ich symetrie oraz zależności przestrzenne, więc załamanie tych osi i przemieszanie równań na początku wyraża się chaotyczną formą tkanek. Potem, powoli – czasem nawet za naszego życia – wszystko się zmienia. Nauka pozwala więc zbadać poszczególne etapy tego procesu i przedstawić w szerszym kontekście – środowiskowym, ewolucyjnym, morfogenetycznym.

W swojej pracy badawczej wykorzystuję bardzo proste narzędzia: mikrotom, mikroskop, glicerynę i komputer. Takie wyposażenie jest wystarczające, by wyjaśnić przyczynę tworzenia się swoistych kołtunów w koronie drzew, zwanych czarcią miotłą. Zwykle spowodowana jest infekcją grzybową lub wirusową.

Ryc. A
Przekrój poprzeczny przez główny pień czarnej miotły świerka

Ryc. B
Warstwy drewna kompresyjnego w pniu postępującego się świerka. (ryc. z A)

ACADEMIA PREZENTACJE Botanika

Trajektoria wierzchołka
mięty widziana znad rośliny.
Ruchy trwały trzy dni



Wtedy na bardzo małej przestrzeni korony przyrosty na długość pędów są ograniczone do minimum przy ogromnej aktywności pąków bocznych. Czarcia miotła jest widziana w koronie jako jej zagęszczenie, ciemna postać zawieszona wysoko między konarami. Wewnątrz jej osi przyrosty drewna nie tworzą okręgów, lecz ponownie nieregularne formy, obejmujące swoją granicą wielość gałęzi bocznych.

Wedle grawitacji

Niezwykle frapujące są wszelkie aberracje, zakłócenia we wzroście roślin. Rośliny żyją rozpięte na trajek-

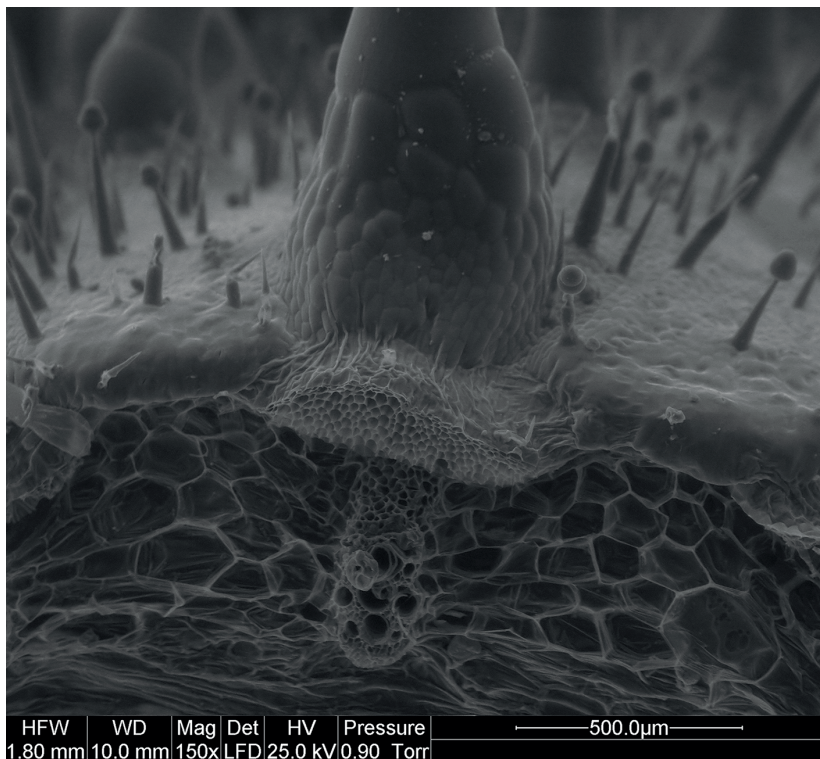
toriach głównych kierunków sił i naprężeń nie tylko w obrębie własnego ciała, lecz także środowiska, z którym pozostają w stałej relacji. Jedną z najważniejszych sił jest pole grawitacyjne. Grawitacja jest niezależna od kierunku wiatru, od strefy nasłonecznienia i cienia. To autonomiczny i niezależny system informacji przestrzennej, który rośliny od dawna rozpoznały i na który reagują. Poszukiwanie wektora grawitacji przez główną oś rośliny – u drzew: przez pień – jest jednym z najważniejszych czynników organizujących jego wzrost. Pień drzewa posadzonego skośnie do wektora grawitacji wytworzy całą serię przyrostów specjalnego drewna, zwanego reakcyjnym (kompresyjnym lub napięciowym), by przywrócić oś do pozycji, która będzie drzewo kosztować najmniej energii w utrzymaniu, czyli do pozycji zgodnej z grawitacją. Trwa to często wiele lat i nie zawsze się udaje. Drewno reakcyjne jest innym drewnem niż to, które spotykamy, dotykając stołów czy chodząc po drewnianej podłodze. Rozkłady naprężeń w drewnie reakcyjnym służą do tego, by reorientować pnie, konary drzew, więc nigdy nie dadzą się ujarzmić w obróbce. Taka deska będzie zawsze krzywa, będzie się odkształcać i ciągle pracować.

W ramach eksperymentu nad tego rodzaju drewnem posadzono skośnie świerki w Arboretum SGGW w Rogowie. Po trzech latach drzewa rosły prosto. Po badaniach kąta mikrofibrilli ścian komórkowych opracowano przestrzenny model drewna kompresyjnego, który działał w pniu, co umożliwiło prześledzenie zmian w ścianach komórkowych. Cały proces jest czystą mechaniką i biologią, jest prawdziwie piękny.

Rośliny tańczą

Inną metodą badania roślin jest ich obserwacja przez pewien czas, by zobaczyć dynamikę ich wzrostu. Pozwala na to metoda filmu poklatkowego. Na Wydziale Leśnym SGGW badamy ruchy nutacyjne, fototro-

Włosek ogonka liściowego
dyni leżący na paśmie
kolenchymy – żywej tkanki
wzmacniającej



HFW 1.80 mm WD 10.0 mm Mag 150x Det LFD HV 25.0 kV Pressure 0.90 Torr

500.0µm



Ryc. A
Przekrój promieniowy przez
narośl przyraną sosny.
Po lewej: chaotyczne
struktury drewna,
po prawej: drewno przed
zranieniem

Ryc. B
Analiza orientacji struktur
przedstawionych
na zdjęciu A

piczne, wspinaczkowe, sposoby zaczepiania się wąsów czepnych, drgania liści, zjawiska towarzyszące zamieraniu roślin.

Dzięki filmowi możemy skondensować czas obserwacji. Można nagrywać rośliny przez kilka miesięcy, a film pokazać w minutę, by zmiany zostały zauważone. W laboratorium powstał m.in. film *Metamorphosis of Plants* na podstawie dzieła Goethego. Na filmie „tańczy” roślina. Film został nagrany w szklarni SGGW.

W tym filmie podnoszą się wielkie liście dyni. Ogonek liściowy jest pusty, sam liść jest ogromny i niesamowicie wrażliwy na kierunek światła.

Ogonek liściowy jest pełen włosków, które leżą w równych rzędach. Po zgoleniu włosków liść nie był w stanie reagować na kierunek padającego światła. Żeby zbadać przyczynę problemu, za pomocą indenteru w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN były testowane naprężenia tkanek, a na Wydziale Żywności Człowieka SGGW na maszynie wytrzymałościowej – przerywane włókna. Rozwiązanie jest zaskakujące, włoski dyni są rezerwuarem ciśnienia turgorowego, dzięki czemu ogonek liściowy jest w fazie wysokich naprężeń wstępnych, przez co wcale się nie wysyła, by w kilka godzin przenieść swój liść ze wschodu na południe.

Rośliny poruszają się nie tylko w rytmie dnia i nocy, nie orientują się jedynie według wektora padającego światła, lecz także według pozycji Księżyca i wpływu jego masy na zmiany grawitacji Ziemi. Rośliny, kiedy rosną, wykonują ruchy nutacyjne, których drogi przypominają na rysunku elipsy. Ich prędkości nie są stałe i silnie zależą nie tylko od vitalności rośliny, lecz także od otoczenia, w tym tego bardzo odległego, m.in. od okresowej zmiany geometrii układu Ziemia – Księżyc – Słońce. Każda roślina, również mięta (badana na SGGW), będzie wrażliwa na zmiany pozycji ciał niebieskich: Księżyca i Słońca. Pokazuje to jej ruch, a dokładnie cykliczne zmiany prędkości ruchów wierzchołka i drgania liści.

Rośliny są więc wrażliwe na niezwykle złożoną, przestrzenno-czasową siatkę oddziaływań. Jak napisał w swoim notatniku Karol Darwin: „W żywym świecie przyrody nie zachodzi nic, co by nie stało w związku z jej całokształtem i jeżeli wydaje się nam, że doświadczenia są czymś wyodrębnionym, jeżeli mielibyśmy się przypatrywać eksperymentom jako faktom izolowanym – nie znaczy to bynajmniej, że są one izolowane”.

Zarówno rdzenna ludność Kanady, jak i pradawni Słowianie wiedzieli o tym dzięki swojemu głębokiemu zanurzeniu w działaniach przyrody. Nam pozostaje nauka i szeroko otwarte oczy. ■

Chcesz wiedzieć
więcej?

Zajączkowska U., *Regeneration of Scots pine stem after wounding*, „IAWA Journal” 2014.

Zajączkowska U., *Overgrowth of Douglas fir (Pseudotsuga menziesii Franco) stumps with regenerative tissue as an example of cell ordering and tissue reorganization*, „Planta” 2014.

Zajączkowska U., *Ordering of the cellular arrangement and xylogenesis in wounded shoots of willow*, „IAWA Journal” 2015.