Partnerstwo na rzecz rozwoju standardów szkoleń diagnostów drzew w Europie środkowo-wschodniej.
2019-1-PL01-KA202-065670

TREE
ASSESSOR

# Podstawy biologii, ekologii i biomechaniki

## Podręcznik dla inspektorów drzew i arborystów

TREE
ASSESSOR

# Podstawy biologii, ekologii i biomechaniki

## Podręcznik dla inspektorów drzew i arborystów

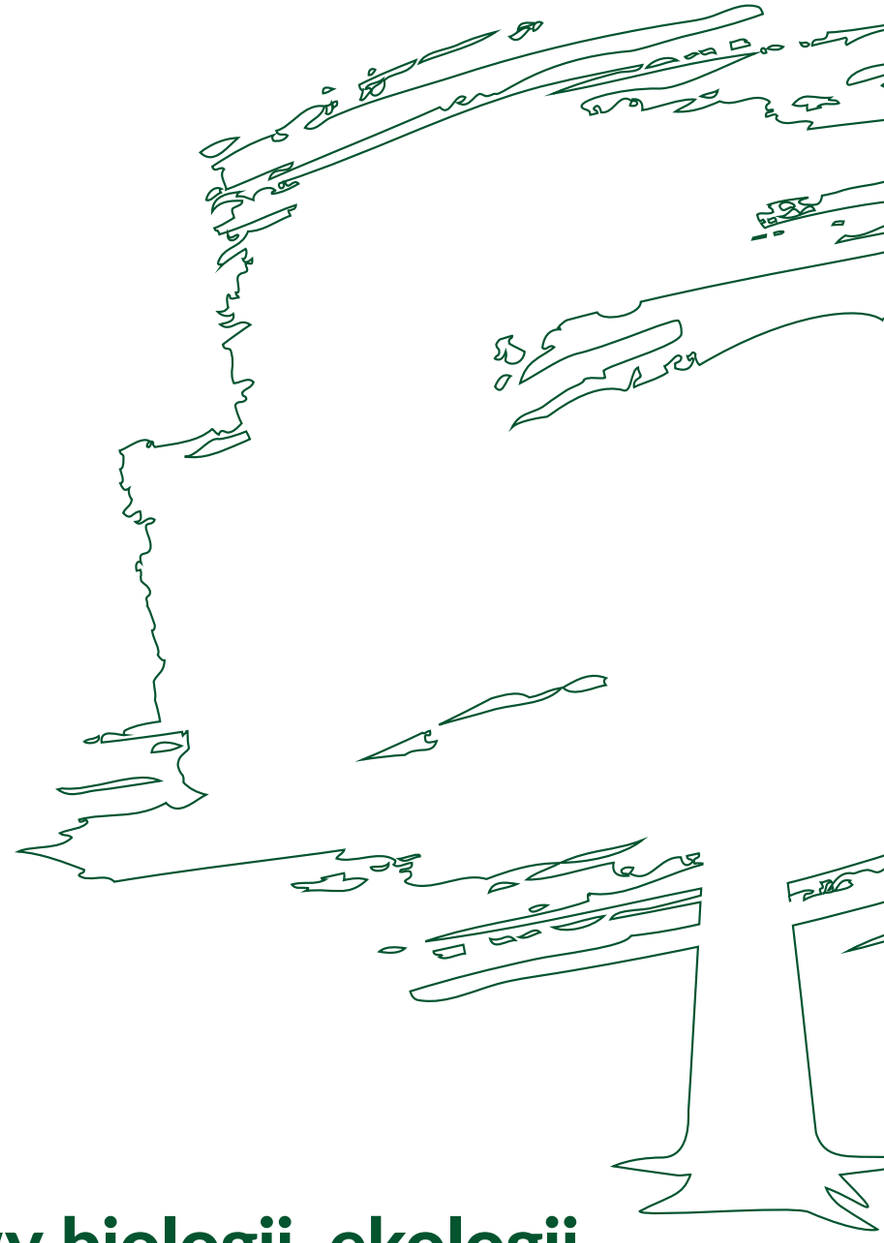
**Autor:** Piotr Tyszko-Chmielowiec
**Zdjęcia:** Jakub Józefczuk, Piotr Tyszko-Chmielowiec (PTCh)
**Grafika i skład:** Paulina Sanecka
**Koordynacja redakcyjna serii:** Beata Pachnowska
**Projekt graficzny serii:** Marta Płonka

**INFORMACJE O PROJEKCIE:**
**Nazwa projektu i numer:**
Partnerstwo na rzecz rozwoju standardów szkoleń diagnostów drzew w Europie środkowo - wschodniej 2019-1-PL01-KA202-065670
**Czas trwania Projektu:**
1.09.2019 – 31.12.2021
**Lider Projektu:**
Dobre Kadry Centrum badawczo-szkoleniowe Sp. z o.o. (Wrocław, Polska)
**Partnerzy Projektu:**
Instytut Drzewa sp. z o.o. (PL, zastąpiła Firma Ekorozwoju sp. z o.o.),
Latvian Arboriculture Society (LV),
FAKOPP Enterprise Bt. (HU).

Publikacja powstała w wyniku projektu zrealizowanego przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach programu Erasmus+.
Publikacja odzwierciedla jedynie stanowisko autorów. Komisja Europejska ani Narodowa Agencja nie ponoszą odpowiedzialności za umieszczoną w niej zawartość merytoryczną ani za sposób wykorzystania zawartych w niej informacji.

Creative Commons License
© Copyright Instytut Drzewa sp. z o.o.

Wrocław 2021



TREE
ASSESSOR

# Podstawy biologii, ekologii i biomechaniki

## Podręcznik dla inspektorów drzew i arborystów

Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

TREE ASSESSOR

# *Spis treści*

**WPROWADZENIE** ..... **7**
**I. JAK TO JEST BYĆ DRZEWEM?** ..... **9**
**II. STRUKTURA I FUNKCJONOWANIE DRZEWA** ..... **13**
1. Jak działa drzewo ..... 13
2. Anatomia drzewa ..... 19
3. Jak rośnie drzewo ..... 23
4. Jak drzewo radzi sobie z uszkodzeniami i wyzwaniami środowiska ..... 26
5. Podstawy architektury i biomechniki drzewa ..... 33
6. Rozkład drewna przez grzyby, a stabilność drzewa ..... 47
**III. DRZEWO JAKO ISTOTA SPOŁECZNA** ..... **51**
1. Powiązania między drzewami ..... 51
2. Jak drzewa uprawiają glebę, w której rosną ..... 53
3. Drzewa miejskie - trudne życie ..... 55
**LITERATURA** ..... **57**



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

# *Wprowadzenie*

Podręcznik ten jest przeznaczony przede wszystkim dla adeptów oceny drzew, choć skorzystają z niej także inne osoby zajmujące się drzewami i pragnące pogłębić swoją wiedzę. W ciągu ostatniego ćwierćwiecza nauka o drzewach poczyniła wielkie postępy, choć nadal pozostaje w tyle za wiedzą o zwierzętach (w tym zwłaszcza o człowieku). Stopniowo także nie tylko profesjonaliści, ale i amatorzy zapoznają się z nowymi faktami o roślinach, w tym o drzewach. Duże zasługi dla ich rozpowszechnienia położył niemiecki pisarz i leśnik Peter Wohlleben (2016 i 2019), który jako pierwszy popularny autor przedstawił drzewa jako istoty pod wieloma względami podobne ludziom. Trafił w ten sposób skutecznie nie tylko do głów, ale i do serc licznych czytelników i pozyskał ich do przyjaźni z drzewami. Zalecam jednak ostrożność względem niektórych podawanych przez niego interpretacji, jako niedostatecznie opartych na dostępnych wynikach badań.

Wśród innych znanych w Polsce autorów warto polecić Stefano Mancuso, fizjologa roślin, który osobiście przeprowadzał wiele z opisanych w swojej książce „Błyskotliwa zieleń” (Mancuso i Viola, 2017) eksperymentów (sam się określa mianem neurobiologa roślin, o czym niżej). Piszący te słowa wysoko ceni także książkę „Pochwała roślin” profesora Francisa Hallé, znawcy drzew lasów tropikalnych, napisaną jeszcze w końcu lat 90’ch (franc.: „Éloge de la Plante, pour une Nouvelle Biologie”, ang.: „In Praise of Plants”, Hallé, 2002). To dzieło, jak dotąd nie przetłumaczone na polski, wyjaśnia specyfikę roślin w świetle różnic między nimi, a zwierzętami. Moim znaczącym inspiratorem i nauczycielem stał się też Alex Shigo, amerykański leśnik i naukowiec, o którego wkładzie do współczesnej arborystyki przeczytacie więcej poniżej.

Unikam odsyłania do specjalistycznych wydawnictw naukowych, nieraz trudno dostępnych i nie zawsze przejrzystych dla czytelnika nie będącego badaczem. Rekomendowane źródła popularne, w tym internetowe, weryfikowałem pod kątem wiarygodności i w razie potrzeby opatrywałem komentarzem. Szukając informacji w Internecie trzeba zachować krytycyzm, a ze



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

źródeł popularnych najlepiej opierać się na tych firmowanych przez samych naukowców lub renomowane instytucje naukowe.

Podręcznik składa się z trzech części, różniących się charakterem. W pierwszej subiektywnie wyjaśniam „Jak to jest być drzewem". W drugiej omawiam systematycznie „Strukturę i funkcjonowanie drzewa", skupiając się na aspektach istotnych dla oceny i opieki nad drzewami. Trzecia część zamyka tekst znów subiektywną klamrą – omawiam w niej „Drzewo jako istotę społeczną". Zastrzegam, że niektóre moje wnioski i uogólnienia nie mają (jeszcze) potwierdzenia w twardych naukowych danych, chociaż można je wywieść z ogólnej wiedzy oraz obserwacji praktyków, w tym moich własnych.

Jestem wdzięczny osobom, które krytycznie przejrzały draft. Urszula Zajączkowska zidentyfikowała nieścisłości merytoryczne i zmobilizowała mnie do nadania tekstowi bardziej zdyscyplinowanej struktury. Nadal jednak różnimy się w ocenie, czy w zawodowym podręczniku jest miejsce dla rozważań o naturze drzew wykraczających poza naukę opartą na twardych danych. Dziękuję Beacie Pachnowskiej i Julii Kończak za wnikliwe przejrzenie tekstu polskiego, a Johnowi Parkerowi za uważną edycję językową wersji angielskiej.

*Dr inż. Piotr Tyszko-Chmielowiec*
*Fot. 1. Arkadiusz Wierzba*

Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



# *I.*

# *Jak to jest być drzewem?*

## Czy drzewa są takie jak my, czy całkiem odmienne?

A może - i jedno, i drugie? W pierwszym rozdziale spróbuję przybliżyć Czytelnikowi istotę drzewa, w niektórych punktach posługując się zarówno analogiami, jak i różnicami między nimi a nami - ludźmi. Ten sposób prezentacji pomaga przedstawić ważne aspekty zagadnienia, mające konsekwencje dla tego, jak drzewa diagnozujemy i jak się nimi opiekujemy.

**Jeszcze od czasów Arystotelesa pokutuje wśród ludzi przekonanie o niższości roślin jako form życia** (Mancuso i Viola 2017). Nie słychać, żeby się komunikowały, nie widać, żeby miały narządy ruchu, zmysłów czy zwłaszcza mózg. Czyż zwierzęta, z człowiekiem na czele, nie są bardziej doskonałe, ze swoją zdolnością do poruszania się, umiejętnościami komunikacji, życia społecznego i współpracy, z będącym majstersztykiem ewolucji ośrodkowym układem nerwowym? Dodatkowo, zwierzęta, do których przynależymy, łatwiej budzą w nas poczucie wspólnoty i solidarności niż tak odmienne od nas rośliny.

**Rośliny nie są jednak jakimiś gorszymi kuzynami zwierząt**. Istnieją na Ziemi dłużej, niż zwierzęta, a bez prowadzonej przez nich fotosyntezy nie powstałyby warunki umożliwiające życie zwierząt. I jak to nam mówią ostatnie odkrycia nauki, funkcjonalnie w niczym nam nie ustępują, dysponując nie tylko szeroką paletą zmysłów, ale i bogatym życiem społecznym (Mancuso 2017, Wohlleben 2016). Najstarsze drzewa znaleziono w warstwach geologicznych liczących sobie 380 milionów lat. Trudno przypuszczać, że organizmy filogenetycznie tak stare mogą być w czymkolwiek „gorsze", skoro dotrwały do dziś i prosperują. Drzewa są bowiem wyśmienicie przystosowane do swojego osiadłego sposobu życia, który stawia inne wymagania, niż nasza mobilność.

**Drzewa są szczególnymi roślinami – są długowieczne i osiągają ogromne rozmiary.** Większość gatunków żyje od kilkudziesięciu do kilkuset lat i osiąga wysokość do kilkudziesięciu metrów. Rekordziści przekraczają 100 metrów wysokości i żyją wiele tysięcy lat. Najstarsze drzewa, które w zasadzie zachowały swoją wykształconą od wykiełkowania formę, to osiągające około 5 tysięcy lat sosny ościste z Gór Białych



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

w Ameryce Północnej. Jednak jeśli dopuścimy do tej rywalizacji organizmy rozmnażające się i odradzające wegetatywnie, to znajdziemy w Górach Skalistych osikowy zagajnik (topola osikowa, *Populus tremuloides*) rosnący nieustannie od 80 tysięcy lat[1] . Przez ten czas kolejne drzewa wyrastały ze starszych korzeni, tworzyły własne systemy korzeniowe, a następnie same dawały początek następnym klonom. Zagajnik, a właściwie jedno drzewo, zajmuje 43 hektary i waży około 6 600 ton, co jest 33 razy więcej, niż masa największego zwierzęcia – płetwala błękitnego. W tej konkurencji najstarsze drzewo Europy to świerk pospolity zwany Stary Tjikko[2], rosnący w Szwecji i wegetatywnie odnawiający się od czasów, kiedy ustąpił lądolód, czyli od 11 tysięcy lat (Wohlleben 2019). Nie trzeba chyba dodawać, że tempo życia tak długowiecznych istot jest znacznie wolniejsze od naszego i toczy się ściśle w rytm pór roku (tam, gdzie takie pory występują).

**Osiąganie takich rozmiarów jest możliwe dzięki osiadłemu trybowi życia drzew, a ten z kolei wynika ze sposobu odżywiania się.** Pożywienie drzew to światło słoneczne, dwutlenek węgla i woda. Ponieważ dwa pierwsze są wszechobecne, drzewa rosną wszędzie tam, gdzie jest dostępna woda w stanie płynnym, choćby przez część roku. Dla maksymalizacji pochłaniania światła drzewo potrzebuje możliwie dużej powierzchni liści, najlepiej wyniesionych na wysokim pniu ponad konkurencję.

Dla efektywnego pobierania wody potrzeba rozbudowanych korzeni.

Czy można sobie wyobrazić codzienne zapuszczanie rozległych korzeni w nowym miejscu? To i dla człowieka jest trudne (oczywiście w sensie przenośnym).

Osiadły tryb życia ma wiele konsekwencji, na przykład taką, że nie sposób uciec przed drapieżnikiem (organizmy, które z punktu widzenia rośliny są drapieżnikami, my nazywamy roślinożercami). Temu mankamentowi rośliny zaradzają na dwa główne sposoby. Pierwszym z nich jest **produkcja substancji zniechęcających amatorów liści, pędów lub kory.** O ile nie są one stale obecne w tkankach, drzewo uruchamia ich produkcję bądź pod wpływem wykrycia ataku, bądź uprzedzone przez inne drzewa sygnałem chemicznym wysłanym drogą powietrzną, przez zrosty korzeni oraz przez sieć mikoryzową. Ta sieć łącząca drzewa w lesie została nazwana przez opisującą ją kanadyjską badaczkę Suzanne Simard wood-wide-web, w skrócie www (więcej o tym w części III). W internecie są dostępne liczne materiały na ten temat, w tym wykłady TED samej autorki tego ujęcia, np. Simard i Toomey 2016.

Po drugie, **drzewa wykształciły znaczną** (choć mającą swoje granice) **tolerancję dla utraty części swojego organizmu.** Najlepsze w tej konkurencji są trawy, u których tkanki twórcze są schowane w ziemi, poza zasięgiem pyska roślinożerców. Ale drzewa też potrafią znosić uszkodzenia przez inne organizmy. Jest to możliwe dzięki temu, że **drzewa mają budowę kolonijną**, to znaczy składają się z częściowo niezależnych, powtarzalnych modułów. Pozwala im to dalej realizować swoje funkcje życiowe także po utracie konaru czy korzenia.

Zwierzęta wykazują budowę unitarną, co oznacza między innymi to, że każdy organ czy kończyna ma swoją funkcję i jest trudny do zastąpienia.

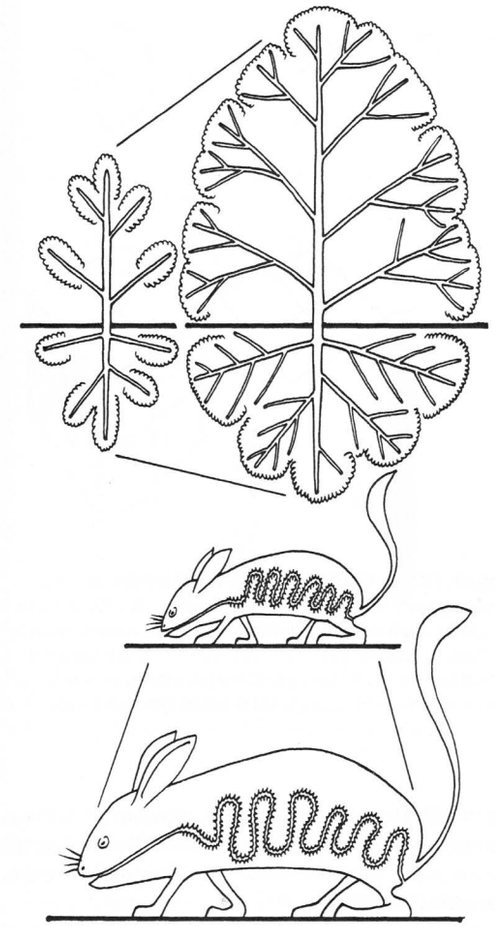
1. https://en.wikipedia.org/wiki/Pando_(tree), dostęp 05.04.2021

2. https://en.wikipedia.org/wiki/Old_Tjikko, dostęp 05.04.2021



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego





*Ryc. 1. Schemat autorstwa prof. Francisa Hallé (2002) kontrastuje modularność budowy drzew z unitarnością zwierząt kręgowych. Jednocześnie zwraca uwagę na to, że powierzchnia chłonąca pożywienie u tych zwierząt jest schowana wewnątrz organizmu, a u drzew i innych roślin wyeksponowana na zewnątrz. Wynika to z faktu, że rośliny są zanurzone w swoim pożywieniu – świetle słonecznym i dwutlenku węgla.*

Drugą cechą drzew zwiększającą ich tolerancję dla uszkodzeń jest posiadanie elastycznych rezerw energetycznych, umożliwiających im odtwarzanie objedzonych liści albo wyłamanych gałęzi oraz zaleczanie ran. Te rezerwy oczywiście nie są nieograniczone, a u drzew rosnących w niesprzyjających warunkach bądź w inny sposób zestresowanych są obniżone.

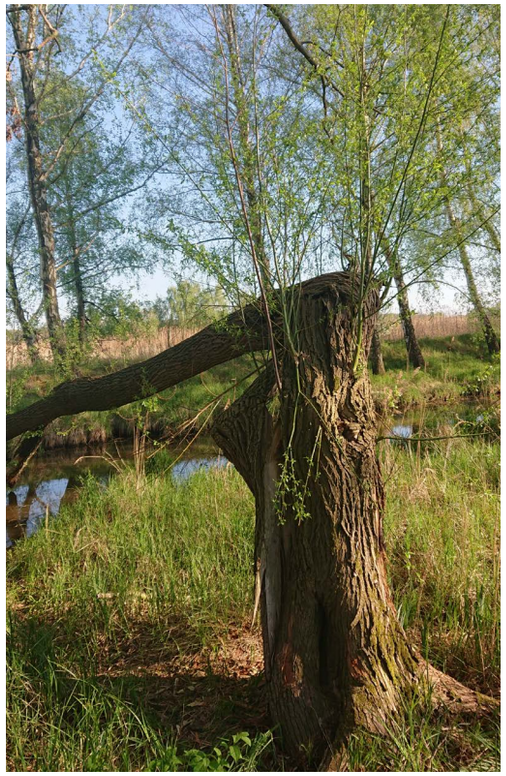
**Modularność-kolonijność-segmentowość** uwidacznia się w całym rozwoju osobniczym drzewa. O ile człowiek rodzi się jako miniatura dorosłego, to drzewo, kiełkując, wyraża określony schemat wzrostu, powielany przez następne dziesiątki, setki, a może tysiące lat życia. Przy czym u ludzi wzrost następuje w całym ciele, zwiększa się każdy organ. U drzew wzrost następuje tylko w wyspecjalizowanych tkankach twórczych, zwanych merystemami. Znajdują się one na czubkach pędów i korzeni (przyrost na długość) i w postaci walca pod powierzchnią pędów i korzeni (przyrost na grubość). Dlatego hak wbity w pień czereśni przez dziadka, żeby zawiesić hamak, wprawdzie już zarósł, ale znajduje się nadal na tej samej wysokości.

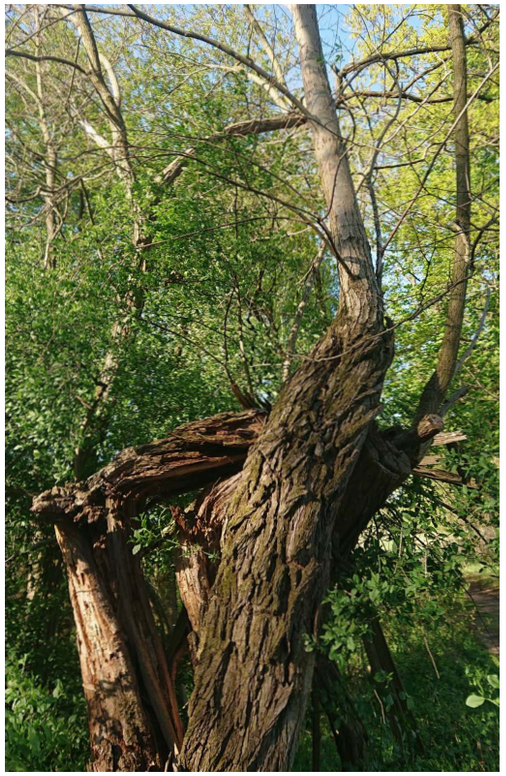


Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

**Rozmnażanie się** drzew następuje zarówno na drodze płciowej, jak i wegetatywnej. Niektóre osobniki są jednopienne, czyli kwiaty męskie i żeńskie są na jednym osobniku (np. buk, brzoza), a inne dwupienne, czyli występują osobniki męskie i żeńskie (np. topole, cis, miłorząb). Są też takie gatunki, jak np. jesion wyniosły, które bywają jednopienne, bądź dwupienne, a nawet potrafią w czasie swojego życia zmieniać płeć. Kwiaty drzew są zapylane wiatrem (np. sosna, topole), bądź przez zwierzęta (np. wierzby, jabłonie).
Szczególną zdolność do rozmnażania wegetatywnego mają topole i wierzby. Na przykład te pierwsze potrafią tworzyć całe zagajniki z odrośli korzeniowych, a te drugie potrafią zakorzeniać obłamane konary i wytwarzać z nich nowe osobniki. Wierzby, jako mało odporne na rozkład drewna przez grzyby, często tracą swoje pnie i konary. Niespeszone tą stratą, wypuszczają pędy odroślowe i kontynuują wzrost jako naturalne polardy (formy głowione). Nieraz złamany konar oparty o ziemię potrafi się w glebie zakorzenić i dać początek nowemu drzew. Takie umiejętności stanowią także ważny element mechanizmów regeneracyjnych, prowadzących w niektórych przypadkach do praktycznej nieśmiertelności drzewa (patrz niżej).

*Ryc. 2 i 3. Naturalnie ogłowione wierzby (naturalne polardy): po złamaniu osłabionego wypróchnieniem pnia (widać owocnik czyrenia) rolę dotychczasowej korony przejmują nowe gałęzie przybyszowe. (PTCh)*







Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



# II.

# *Struktura i funkcjonowanie drzewa*

## 1. JAK DZIAŁA DRZEWO

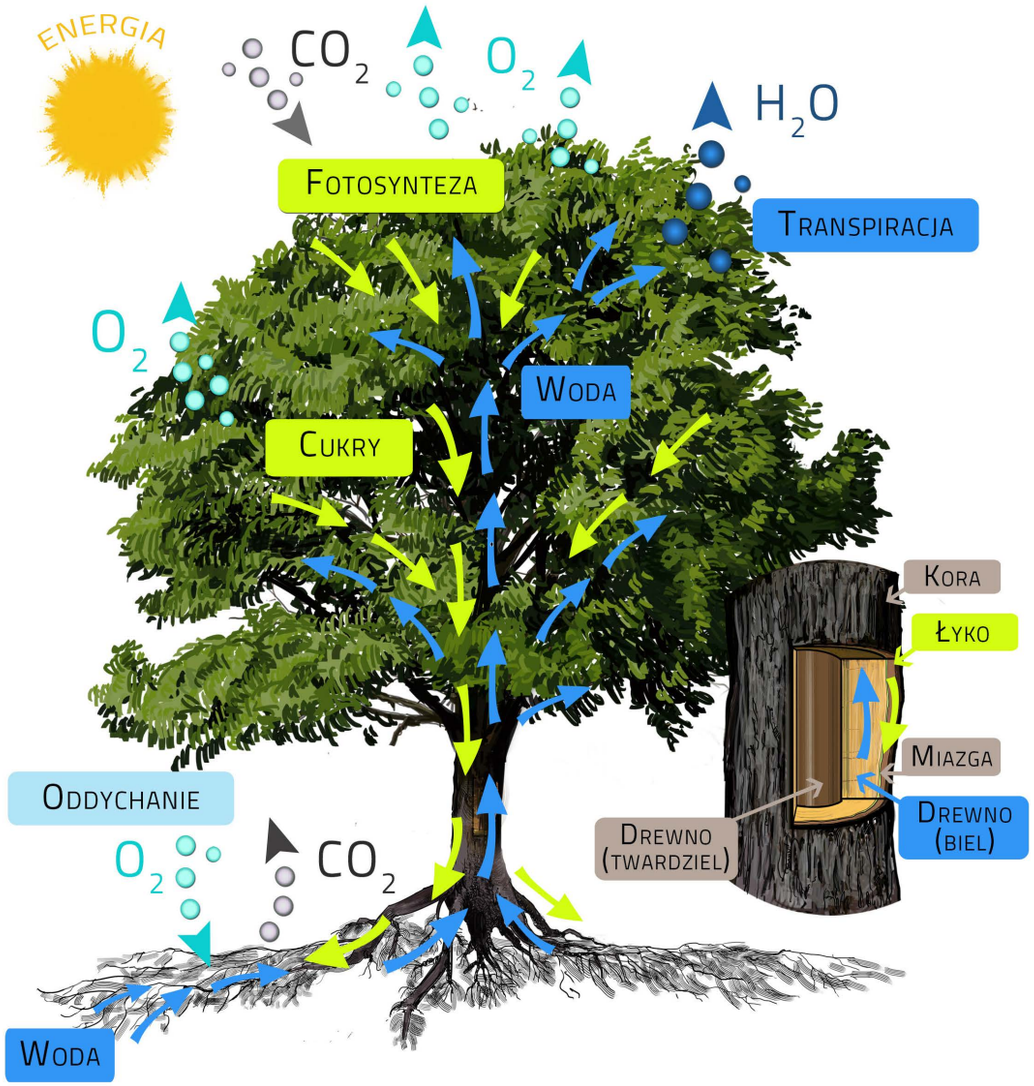
### KORONA I LIŚCIE

**Korona drzewa jest „fabryką" cukru,** składającą się z niezliczonych liści – biologicznych reaktorów pochłaniających energię światła słonecznego w procesie fotosyntezy (Ryc. 3). Z dwutlenku węgla pochłanianego z atmosfery oraz wodoru z wody pobieranej przez korzenie powstaje w pierwszym etapie glukoza – cukier prosty (patrz Ramka 1. Produkty fotosyntezy). Tlen wchodzący w skład wody jest wydzielany do atmosfery jako produkt uboczny fotosyntezy.

**Liść drzewa, tak jak innych roślin lądowych,** jest chroniony przed nadmierną utratą wody przez zaimpregnowaną skórkę (epidermę). Na spodniej jego stronie znajdują się liczne drobne otwory, zwane szparkami, przez które odbywa się wymiana gazowa. Sąsiadujące ze szparką komórki tworzą tzw. aparat szparkowy, który zamyka ją lub otwiera w zależności od potrzeby. Najczęściej szparka pozostaje zamknięta w nocy oraz w warunkach stresu wodnego, np. w upalne południe. Rośliny lądowe najwięcej przyrastają właśnie w nocy, kiedy zamknięcie szparek pozwala im wytworzyć odpowiednie ciśnienie wody w młodych zielonych tkankach.
Wnętrze liścia wypełnione jest komórkami zawierającymi chlorofil, zielony barwnik chwytający energię światła słonecznego, która napędza asymilację dwutlenku węgla. Luźne upakowanie komórek sprawia, że mają dobry kontakt z powietrzem wypełniającym przestwory liścia i gazy mogą swobodnie przenikać przez ich błony. Do wnętrza komórki



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego




*Ryc. 4. Schemat krążenia wody, energii i materii w drzewie. Rysował Jakub Józefczuk.*

fotosyntetyzującej wnika dwutlenek węgla, a na zewnątrz wydostaje się tlen i wyparowuje woda (patrz Ramka 2. Rola wody w życiu drzew).

Nocą, kiedy roślina musi oddychać dla utrzymania funkcji fizjologicznych, kierunki przepływu gazów się odwracają.



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



*Ramka 1.*

## PRODUKTY FOTOSYNTEZY

Cząsteczki glukozy roślina wykorzystuje do wytwarzania pozostałych jej potrzebnych związków, a są to przede wszytkim:

**CUKRY**

przenoszące energię do innych części rośliny, w szczególności sacharozę (słodzimy nią kawę i herbatę);

**WIELOCUKRY**

magazynujące energię w konarach, pniach, korzeniach i nasionach, takie, jak skrobię

**WIELOCUKRY BUDULCOWE**

celuloza i hemiceluloza, stanowiące „zbrojenie” ścian komórkowych;

**LIGNINĘ**

służącą do wypełnienia konstrukcji ścian komórkowych tkanek zdrewniałych (lignifikacja, zdrewnienie);

**LIPIDY (TŁUSZCZE) I BIAŁKA**

tworzące błony komórkowe i struktury wewnątrzkomórkowe;

**ENZYMY**

białka kluczowe w metabolizmie komórki;

**SUBSTANCJE ZAPASOWE**

w które są wyposażane nasiona – mogą to być wielocukry, białka, lub tłuszcze

**SUBSTANCJE SŁUŻĄCE KOMUNIKOWANIU SIĘ**

wewnątrz i z innymi organizmami – hormony i feromony

**SUBSTANCJE OBRONNE**

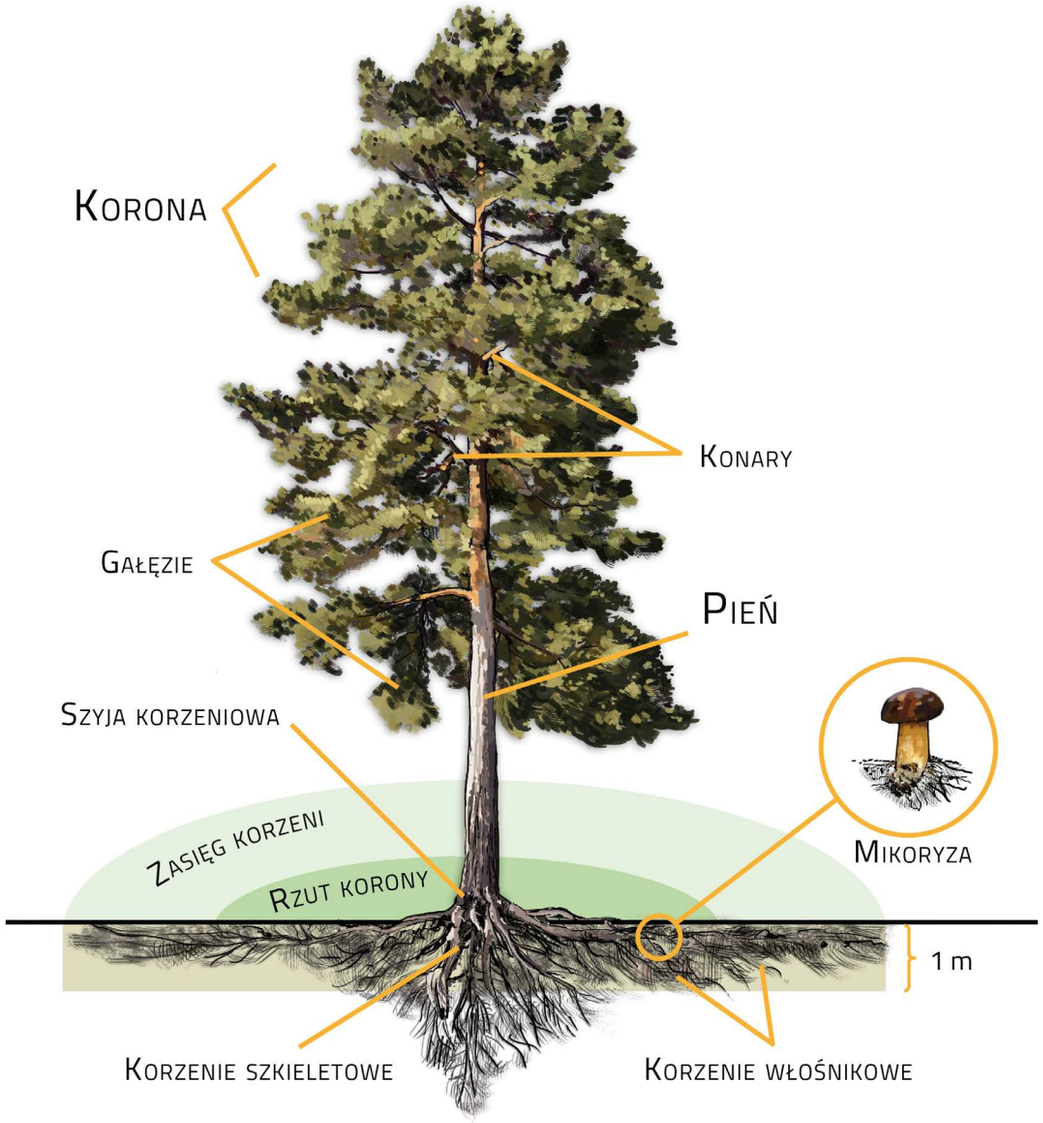
w tym zwłaszcza związki fenolowe służące powstrzymywaniu rozkładu przez grzyby

**GLUKOZA, SACHAROZA I SKROBIA**

są określane skrótowo mianem **asymilatów**



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego




*Ryc. 5. Drzewo i jego części w środowisku.*
*Rysował Jakub Józefczuk.*



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



## PIEŃ

**Pień** podtrzymuje koronę i od niego zależy pozycja w wyścigu z innymi drzewami o światło. Nie mniej ważna jest jego rola jako rurociągu dostarczającego wodę z korzeni do liści, a asymilaty z liści do korzeni. Z tymi nurtami przenoszą się także hormony i impulsy bioelektryczne zapewniające komunikację między częściami drzewa i koordynację wzrostu.

## KORZENIE

**Korzenie** przede wszystkim zakotwiczają drzewo w gruncie i dostarczają koronie wody z solami mineralnymi. Odżywiają się asymilatami, które „konsumują" w procesie oddychania, z użyciem tlenu. Jak to widać na ilustracji (Ryc. 5), korzenie dojrzałych drzew są zwykle płytko rozmieszczone, a większość ich masy znajduje się do głębokości kilkudziesięciu centymetrów. Na tej głębokości jest bowiem najłatwiej dostępna woda opadowa i powietrze atmosferyczne z niezbędnym tlenem, a w przypadku drzew wiążących azot (dzięki współżyciu z bakteriami – np. robinia, olcha) także azotem. Bywa, że drzewo zapuszcza w podglebie korzenie wgłębne, sięgające do kilku metrów do wody podskórnej. Kształt systemu korzeniowego jest wypadkową skłonności gatunkowej, osobniczej oraz warunków i ograniczeń w glebie. Korzeń centralny, jeśli występuje, u starych drzew z czasem zanika. Zasięg poziomy korzeni u swobodnie rosnącego drzewa może sięgać kilka razy dalej niż rzut korony. U drzew miejskich przebieg korzeni jest trudniejszy do przewidzenia ze względu na niejednorodne warunki w glebie i obfitość rozmaitych przeszkód.

## MIKORYZA I MIKROORGANIZMY GLEBOWE

Pobieraniu wody służą **włośniki** - drobniutkie wypustki najdrobniejszych korzeni. Te korzonki cały czas rosną i zamierają, a razem z nimi czynią to - jeszcze bardziej efemeryczne - włośniki. Drzewa i inne rośliny, żeby skuteczniej pobierać wodę i minerały, zatrudniają do współpracy grzyby mikoryzowe. Grzybnia obrasta mufką drobne korzenie i wrasta do ich wnętrza, podłączając się do systemów przewodzenia wody i asymilatów. Mikoryza zapewnia większą wydajność pobierania wody dzięki temu, że strzępki grzyba są wielokrotnie drobniejsze od najdrobniejszych korzonków i mogą spenetrować pory gleby dla korzeni niedostępne. Oprócz dostarczania wody z rozpuszczonymi minerałami, grzyby mikoryzowe służą drzewom jako leśny „internet" – do komunikowania się – oraz jako sieć transportowa – do przesyłania asymilatów innym drzewom, zwłaszcza potomstwu (więcej o tym w innych rozdziałach). Bywa, że jedno drzewo ma jednocześnie kilka różnych partnerów grzybowych, może też ich zmieniać na przestrzeni swojego życia. Okazało się także, że zarówno drzewa, jak i grzyby potrafią się targować ze swoimi partnerami o lepsze warunki współpracy.
Te usługi ze strony grzybów nie są za darmo: około 20-30% całej produkcji fotosyntetycznej drzewo przeznacza na wynagrodzenie dla partnerów mikoryzowych i innych glebowych mikroorganizmów, w tym bakterii glebowych, które wypełniają kluczową rolę w wietrzeniu minerałów i uwalnianiu biogenów w glebie.

*Ramka 2.*

## ROLA WODY W ŻYCIU DRZEW

jest wieloraka i nie ogranicza się do bycia składnikiem w fotosyntezie:

Woda jest **medium przenoszącym rozpuszczone w niej pierwiastki** konieczne dla utrzymania metabolizmu i syntezy przeróżnych związków, takie, jak azot, potas, fosfor, wapń, siarkę i magnez - stanowiący kluczowy składnik chlorofilu.

Woda służy drzewu także jako **czynnik chłodzący**, dzięki temu, że odparowuje przez szparki w skórce liścia (transpiracja) i z powierzchni liścia (ewaporacja), pochłaniając przy tym energię cieplną z otoczenia. Dzięki temu duże drzewo może chłodzić siebie i otaczające powietrze z mocą kilku dużych klimatyzatorów. Przy tym nie przenosi ciepła z jednego miejsca w drugie (jak klimatyzator), lecz zamienia je na energię napędzającą krążenie wody w atmosferze, która wraca jako opady.

Woda jest dla roślin **elementem konstrukcyjnym:** gromadzona pod ciśnieniem w komórkach niezdrewniałych organów – liści, zielonych pędów i wierzchołków korzeni - utrzymuje ich sztywność i pozwala na wzrost. Rośliny rosną głównie nocą, kiedy aparaty szparkowe są zamknięte i roślina może w swoich komórkach wytworzyć odpowiednie ciśnienie.

Intensywna utrata wody w procesie transpiracji jest kosztem pozyskiwania dwutlenku węgla. Po to, żeby go wchłonąć, aparaty szparkowe muszą być otwarte, żeby udostępnić atmosferze zdolne do wchłaniania komórki wnętrza liścia, nie chronione mało przepuszczalną skórką. W tym czasie z ich zewnętrznej powierzchni nieuchronnie odparowuje woda, którą drzewo musi uzupełniać, aby utrzymać turgor (odpowiednie ciśnienie) w liściu. Jeśli utrata wody jest szybsza, niż jej transport z korzeni, aparaty szparkowe się zamykają i transpiracja ustaje, a wraz z nią fotosynteza – z powodu braku przepływu gazów. Tak więc w pewnym sensie drzewa płacą środowisku wodą za dwutlenek węgla.



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

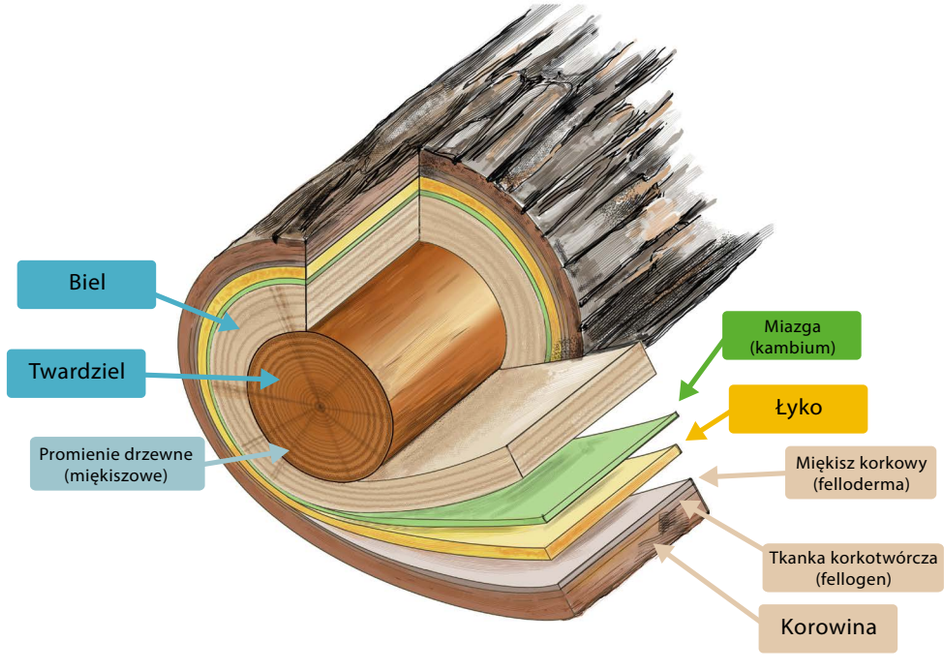


# 2. ANATOMIA DRZEWA

Na Rycinie 6 widzimy następujące elementy przekroju pnia lub gałęzi, poczynając od zewnątrz:

KORA
jest tkanką okrywającą, której zewnętrzna warstwa, złożona z martwych komórek (korowina, martwica korkowa), jest w zasadzie nieprzepuszczalna dla wody i powietrza. Pod korowiną leży tkanka korkotwórcza (merystem) zwana fellogenem, która co roku odkłada na zewnątrz nową warstwę programowo zamierających komórek korka, a do wewnątrz żywych komórek miękiszu korowego, zwanego fellodermą. Te trzy warstwy określa się łącznie mianem perydermy. Do kory botanicy zaliczają także łyko (omówione niżej), chociaż w potocznym rozumieniu pod terminem kora nierzadko rozumie się perydermę, z wyłączeniem łyka. Pień rośnie na grubość, więc zewnętrzne, starsze warstwy korowiny (z czasów, kiedy pień był cieńszy) muszą albo się rozciągnąć, albo popękać i ewentualnie złuszczyć. U buka cienka kora się rozciąga, pokrywając pień gładką, srebrzystą osłoną. U dębów czy wierzb stara kora pęka i pozostaje w postaci podłużnych grani. U jaworu i platana łuszczy się płatami, odsłaniając jaśniejszą młodą korę. U gatunków ze spękaną korą możemy zauważyć młodszą jaśniejszą korę w bruzdach

*Ryc. 6. Budowa wewnętrzna pnia lub gałęzi.*
*Rysował Jakub Józefczuk.*






Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

w miejscach intensywnego przyrostu, co jest objawem dobrej kondycji drzewa i wskazuje na te jego części, które aktywnie rosną.

## ŁYKO (FLOEM)

jest tkanką przewodzącą, którą wyprodukowane w liściach asymilaty są przesyłane w postaci cukrów do pnia i korzeni. Przepływ asymilatów przez floem może następować też w odwrotnym kierunku – jeśli jest to transport z magazynów energii do pączków albo poprzecznie – aby dostarczyć pożywienie do kambium, promieni drzewnych albo fellogenu. Głównym elementem łyka są rurki sitowe – żywe komórki ustawione jedna na drugiej i połączone pasmami cytoplazmy (plazmodesmami) przez dziurki w poziomych ścianach, stąd nazwa. Stare rurki są zgniatane w miarę, jak nowe są tworzone przez kambium, więc nie następuje akumulacja starych komórek, jak w przypadku drewna. W łyku spotykamy także komórki miękiszu i włókna wzmacniające – dzięki obecności tych ostatnich można było z łyka wyrabiać łapcie, torby i inne przedmioty codziennego użytku.

## MIAZGA (KAMBIUM)

to tkanka twórcza (merystem) odkładająca na zewnątrz komórki łyka, a do wewnątrz pnia – komórki drewna. Jest to najważniejsza i najbardziej delikatna tkanka wnętrza pnia lub gałęzi. Jest ona szczególnie narażona na uszkodzenie wiosną i latem, kiedy jest najbardziej aktywna produkując nowy przyrost. W razie zranienia, kambium wytwarza tkankę zarastającą ranę – kalus.

## KALUS

jest amorficzną (niezróżnicowaną) tkanką twórczą (merystemem) powstającą w miejscu uszkodzenia rośliny, z przyległych komórek miękiszowych lub kambialnych. Komórki kalusa są nieuporządkowane i luźno związane. Mają zdolność przekształcenia się w dowolną tkankę, w zależności od potrzeby, i pod wpływem środowiska. Na przykład przy oddarciu kory kalus powstaje z kambium i promieni drzewnych, a następnie odtwarza kambium, łyko i korę. W zranionym korzeniu, pozostając w ciemnym i wilgotnym środowisku, kalus różnicuje się w korzenie. Czasem kalus wytwarza korzenie także w koronie - w pęknięciu rozwidlenia, gdzie jest ciemno oraz gdzie gromadzą się szczątki organiczne, pył oraz ścieka woda.

**Dzięki rozwojowi i późniejszemu różnicowaniu się kalusa, drzewa są w stanie zabliźniać rany tkankami przyrannwymi. Trzeba jednak pamiętać, że uszkodzone tkanki nie są zaleczane, jak u zwierząt, lecz izolowane. Nowe tkanki narastają na nich i rosną dalej.**

## DREWNO (KSYLEM)

składa się w większości z nieżywych już komórek, z których najmłodsze (położone zewnętrznie na przekroju) przewodzą wodę z korzeni do liści. U drzew iglastych (i niektórych liściastych) są to cewki, u liściastych - naczynia. W strefie klimatu umiarkowanego drewno wytwarzane jest przez kambium w rytmie rocznym: na wiosnę tworzą się komórki przewodzące o dużym świetle, ponieważ ich głównym zadaniem jest pompowanie wody (drewno wczesne). Naczynia i cewki wyrastające latem (drewno późne) cechują się mniejszym światłem i grubszymi ściankami. W drewnie spotykamy także wzmacniające włókna oraz komórki miękiszowe, część z nich zgrupowana w promienie – zwane tu miękiszowymi (patrz Ryc. 6) - które zaczynają się w kambium i sięgają w głąb drewna. Promienie pierwotne, czyli powstałe w chwili wzrostu pędu, nazywa się promieniami rdzeniowymi, ponieważ sięgają do rdzenia. Naprzemienne warstwy wczesnego i późnego drewna tworzą pierścienie – słoje. Wśród drzew liściastych widzimy u niektórych gatunków na przekroju pnia wyraźne słoje roczne, dzięki temu, że duże naczynia są skoncentrowane



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



w pierścień - stąd określenie gatunek pierścieniowonaczyniowy (dąb, jesion, robinia). U drzew rozpierzchłonaczyniowych naczynia te są rozproszone wśród włókien i miękiszu i trudniej wyróżnić roczne przyrosty (klony, lipy, topole). Generalnie woda jest transportowana w kilku zewnętrznych słojach drewna, starsze drewno ulega wyłączeniu z przewodzenia i pełni już tylko funkcję mechaniczną. U dębów, posiadających naczynia o szczególnie dużej średnicy, widoczne gołym okiem, zaopatrzenie w wodę odbywa się w zasadzie w ostatnim przyroście. U niektórych gatunków wewnętrzna część przekroju pnia, już nieczynna w transporcie wody, jest wysycana substancjami konserwującymi – nazywa się ją twardzielą (ta twardziel). Zewnętrzny, czynny fizjologicznie pas drewna zwie się bielem (ten biel).

Twardzielowanie jest metodą biernej ochrony przed rozkładem drewna przez grzyby, chociaż istnieją takie gatunki grzybów, które wyspecjalizowały się w rozkładzie twardzieli (jak ozorek dębowy, czy żółciak siarkowy). Twardziel u różnych gatunków drzew może mieć rozmaitą odporność na działanie grzybów, dębowa słynie z trwałości, jesionowa wydaje się być słabsza, a co do występowania twardzieli u wierzb są duże wątpliwości. Wierzby bowiem stosunkowo łatwo ulegają grzybom. Termin „twardziel fałszywa" pochodzi z nauki o surowcu drzewnym i odnosi się do gatunków które nie wytwarzają właściwej twardzieli, np. buka. Jest to przebarwienie drewna, zwykle w odpowiedzi na uszkodzenie pnia lub zamarcie konaru. Twardziel fałszywa może być więc objawem reakcji obronnej, ale twardzielą w ścisłym tego słowa znaczeniu nie jest.

## KOMÓRKA ROŚLINNA

tym między innymi różni się od komórki zwierzęcej, że jest otoczona ścianą komórkową. Szkielet ściany stanowi **celuloza**, która spełnia w niej rolę analogiczną do stalowych prętów w żelbecie. Łańcuchy celulozy są posplatane, niczym wielosplotowe liny okrętowe, w sploty coraz wyższego rzędu, kolejno: fibryle elementarne,

mikrofibryle i makrofibryle. Dzięki temu są wytrzymałe i elastyczne.
U rosnących komórek występuje ściana komórkowa pierwotna, która może się rozciągać. Jej włókna celulozowe są zanurzone w macierzy składającej się głównie z pektyn i hemiceluloz, z dodatkiem białek. Kiedy komórka kończy wzrost, odkłada od wewnątrz ściany pierwotnej ścianę wtórną. Rośnie w niej zawartość celulozy, a w macierzy pojawią się nowe składniki, w szczególności **lignina** w komórkach drewniejących. Takie ściany komórkowe sztywnieją i komórka nie może już dalej rosnąć. Lignina jest związkiem bardzo skomplikowanym i trwałym, nadaje ścianie komórkowej wytrzymałość na ściskanie i wodoodporność (dostępna w aptekach wata celulozowa, potocznie nazywana ligniną, nie składa się z ligniny, lecz z celulozy). Ściany komórkowe kory są wysycane suberyną, która daje im nieprzepuszczalność dla wody i powietrza oraz odporność na czynniki atmosferyczne. Rozkład ligniny w ekosystemach lądowych jest prowadzony głównie przez grzyby rozkładu białego, takie, jak hubiak pospolity (*Fomes fomentarius*), czy czyrenie (*Phellinus sp.*). Białe próchno zawdzięcza swój kolor jaśniejszej celulozie pozostałej po rozkładzie ligniny. Grzyby rozkładu brunatnego, takie, jak żółciak siarkowy, czy pniarek (białoporek) brzozowy rozkładające celulozę, z kolei produkują mursz brunatny, składający się głównie z pozostałej ciemniejszej ligniny. Celuloza łatwiej niż lignina ulega rozkładowi przez mikroorganizmy, w tym bakterie lub pierwotniaki żyjące w przewodzie pokarmowym przeżuwaczy i termitów.

**W suchej masie drewna celuloza stanowi orientacyjnie 35-50%, lignina 25-30%, a hemicelulozy 20-30%.**

Drewno gatunków iglastych ma skłonność do wyższej zawartości celulozy i ligniny, niż drewno gatunków liściastych.



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



# 3. JAK ROŚNIE DRZEWO

U drzew wzrost następuje w określonych miejscach – tkankach twórczych (merystemach). Są to stożki wzrostu na końcach gałęzi i korzeni (przyrost na długość) oraz tkanki twórcze na obwodzie (przyrost na grubość). Nowo wytworzone komórki zastępują w funkcji stare, które ostatecznie zamierają i są odrzucane – tak, jak liście, łuszcząca się kora, czy drobniejsze korzenie i gałęzie – lub magazynowane – tak, jak drewno we wnętrzu pnia. Liście drzew iglastych, choć najczęściej zimozielone, też opadają najdalej po kilku latach. Nieżywe tkanki mogą nadal, przynajmniej częściowo, spełniać niektóre swoje funkcje, jak to jest w przypadku kory i drewna.

W pełni funkcjonalne drewno (biel) składa się z nieżywych naczyń lub cewek oraz włókien drzewnych, a także pełniącego różne funkcje żywego miękiszu. Kiedy drzewo przyrasta na grubość, zwiększa się odległość wnętrza pnia lub konaru od życiodajnych tkanek – łyka i kambium. Z upływem czasu słabnie zasilanie komórek miękiszu znajdujących się wśród nieżywych naczyń w asymilaty i one też stopniowo zamierają. U niektórych gatunków drzew (np. dąb, robinia, jesion, sosna) wnętrze pnia lub konaru ulega dodatkowo impregnacji przez substancje zabezpieczające przed rozkładem przez grzyby – żywicę albo związki

*Ryc. 7. Przekrój przez dziuplastą wierzbę, widać żywy biel, z częścią opanowaną przez grzyba (nie przyrasta, widać owocnik grzyba na korze), wnętrze pnia rozkładane przez grzyby oraz rozdzielające je bariery. Korzeń przybyszowy (strzałka) czerpie biogeny z próchnowiska. (PTCh)*

fenolowe – tworząc w ten sposób twardziel. Nieżywe drewno wewnątrz pnia nadal pełni funkcje mechaniczne (podtrzymanie korony), ale z czasem jest rozkładane przez grzyby i jego składniki są uwalniane. Dodatkowe biogeny drzewo otrzymuje z odchodami gnieżdżących się w jego dziuplach i na konarach zwierząt, głównie ptaków i nietoperzy. Korzenie drzewa następnie pobierają udostępnione w tej sposób biogeny, domykając ich obieg. Temu zadaniu służą w szczególności przybyszowe korzenie wyrastające wewnątrz dziupli i sięgające do próchnowiska (Ryc. 7).

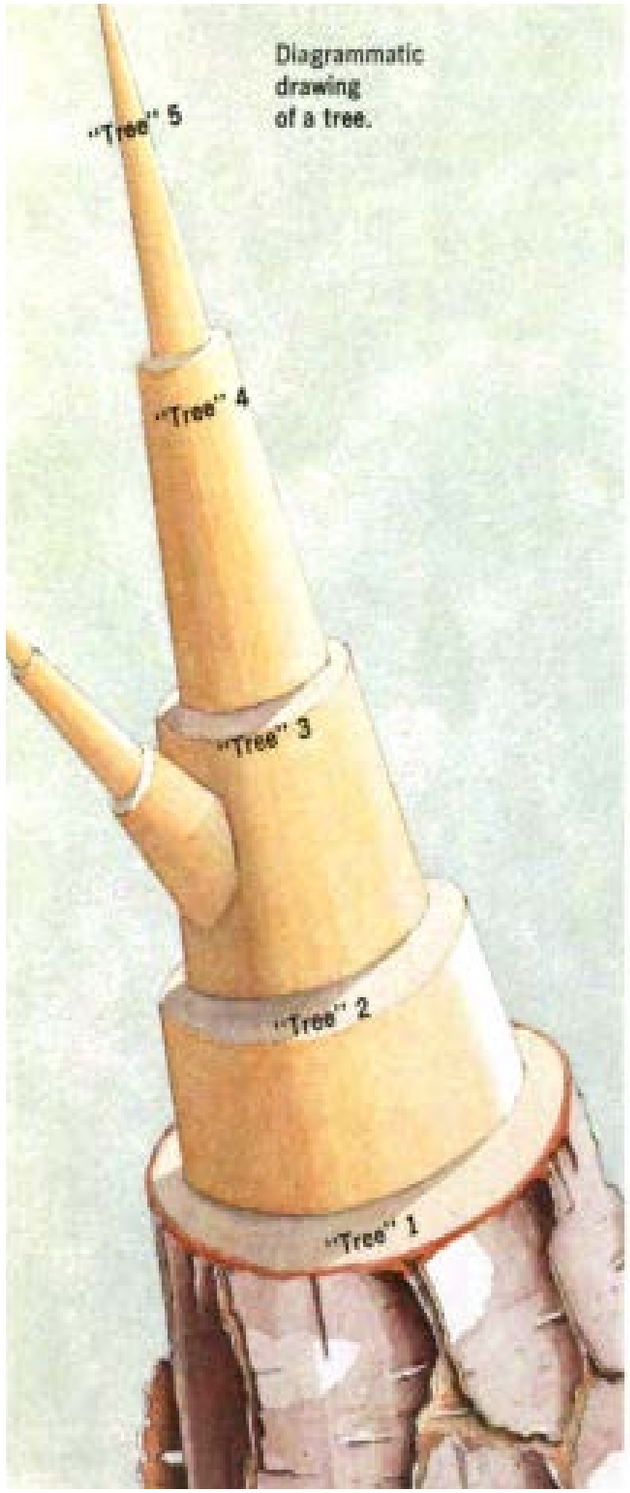
Każdego roku powstaje na drzewie (na korzeniach, pniu i gałęziach) płaszcz nowych tkanek przewodzących. Nierzadko jest on fizjologicznie samowystarczalny i może korzystać ze starszych tkanek tylko jako podpory, funkcjonując niczym nowe drzewo (Ryc. 8). Coś takiego zachodzi zwłaszcza wtedy, kiedy uszkodzenie pnia spowoduje wytworzenie po wewnętrznej stronie nowego przyrostu drewna grodzi - ochronnej bariery. Tak więc drzewo potrafi w przypadku uszkodzeń oddzielać je i rosnąć dalej. Należy uwzględnić, że dla utrzymania stabilności drzewa drewno we wnętrzu pnia nie jest niezbędne. Przekrój rury dobrze temu celowi służy, jako najbardziej efektywny wytrzymałościowo, pod warunkiem, że grubość ścianki jest wystarczająca (patrz II.6). Widuje się też drzewa, u których podstawy wypróchnienie wnętrza pnia pozostawiło tylko nabiegi korzeniowe. Takie drzewo przypomina konstrukcyjnie wieżę Eiffel'a i jego stabilność zależy od solidności korzeni i nabiegów. Więcej o wpływie grzybów rozkładających drewno na stabilność drzew oraz mechanizmów obrony przed nimi znajdziecie niżej.

Główna trudność z określeniem wieku drzew sędziwych, wypróchniałych w środku, wynika z faktu, że ich zachowane ciało pochodzi z czasów znacznie późniejszych od roku wykiełkowania nasiona. Najstarsze korzenie, gałęzie oraz wnętrze pnia (nie mówiąc już o opadających corocznie liściach) już dawno zamarły i zostały rozłożone z udziałem grzybów, bakterii, owadów, nicieni i innych stworzeń zamieszkujących próchno i glebę. Uwolnione z nich biogeny zostały wbudowane w nowe liście, gałęzie i korzenie oraz w nowe słoje przyrostu pnia i konarów. Istniejące dzisiaj tkanki mogą być stosunkowo młode, podobnie, jak młode są poszczególne topole osikowe rosnące w liczącym sobie 80 tysięcy lat zagajniku-drzewie Pando w Górach Skalistych. Zdolność do recyklingu własnego ciała i użyźniania w ten sposób swojego siedliska jest jednym z mechanizmów umożliwiających długowieczność drzew.



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego






*Ryc. 8. Co roku na starym drzewie powstaje jakby nowe drzewo (Shigo i Marx 1977).*



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

# 4. JAK DRZEWO RADZI SOBIE Z USZKODZENIAMI I WYZWANIAMI ŚRODOWISKA

Wspomniana wyżej modularność budowy drzewa wyraża się także na poziomie anatomicznym. Tkanki żywe i aktywne są oddzielone od tkanek martwych lub uszkodzonych. Drzewo potrafi wytworzyć bariery zapewniające funkcjonowanie zdrowych obszarów organizmu, na przykład po uszkodzeniu mechanicznym części pnia lub zasiedleniu przez agresywnego grzyba rozkładającego drewno. Zjawisko to jest zwane kompartmentalizacją (od compartment – wydzielona przestrzeń, przedział w wagonie) lub – jak wprowadziliśmy to w Polsce - grodziowaniem. Uszkodzone tkanki są izolowane, zamierają i zwykle są rozkładane przez grzyby.

„Gojenie" rany polega na zarastaniu jej przez kalus (merystem przyranny), sama uszkodzona tkanka pozostaje wyizolowana i nieraz podlega rozkładowi. Następuje wprawdzie regeneracja, ale nie polega na odtwarzaniu uszkodzonych części ciała 1:1, jak to do pewnego stopnia dzieje się z ogonem jaszczurki, albo takiego zabliźniania jak w przypadku ran u człowieka. Odtwarzaniu podlega natomiast ich funkcja, np. złamany konar jest zastępowany przez wiechę gałęzi przybyszowych i sęk po nim może zarosnąć, a w miejsce obtartej kory narasta nowa.

## 4.1. ALEX SHIGO I GRODZIOWANIE

Jeszcze do ok. 40 lat temu dominowało wśród arborystów, zwanych wówczas powszechnie chirurgami drzew, przekonanie, że drzewa są bezbronne wobec inwazji grzybów. Pogląd ten prowadził do przyjęcia w pielęgnacji drzew praktyk wzorowanych na stomatologii. Otóż – podobnie, jak w przypadku zepsutego zęba – wnętrze wypróchniałego pnia („ubytek") było czyszczone z murszu, a nadpróchniałe i przebarwione ścianki dziupli frezowane do „zdrowego" drewna i maksymalnie osuszane. W tym procesie oczywiście ponosiły śmierć wszelkie stworzenia żyjące w dziupli, w tym chronione obecnie owady próchnojady, takie, jak pachnica dębowa (*Osmoderma eremita*). Te praktyki były oparte na ówczesnej wiedzy o funkcjonowaniu drzew. W latach 80. nastąpiła jednak rewolucja w rozumieniu relacji między grzybami a drzewem-gospodarzem. Inicjatorem jej był amerykański leśnik i znawca drzew dr Alex Shigo (czytaj „Szajgo"). Shigo wierzył w to, że najwięcej o drzewach mogą nam powiedzieć one same, a jego motto brzmiało: "dotykaj drzew" (*touch trees*). W latach 1960-1985, pracując jako naukowiec

w lasach państwowych USA, przekroił niezliczone pnie i konary, przeprowadził rozmaite eksperymenty. Na ich podstawie sformułował i opublikował, w wielu artykułach i książkach, swoją wizję funkcjonowania drzewa (patrz przypisy końcowe).

*„Trzeba wiedzieć, że drzewa są organizmami generującymi, a nie regenerującymi, jak ludzie. Drzewa generują swoje własne pożywienie z dwutlenku węgla, światła słonecznego i wody, podczas, gdy ludzie muszą pobierać pożywienie skądinąd. (...) Podczas, gdy człowiek przez całe życie zastępuje stare komórki nowymi, drzewo umieszcza nowe komórki w nowych miejscach. I podobnie: drzewo nie goi ran, ponieważ nie zastępuje uszkodzonych komórek nowymi."*[1]

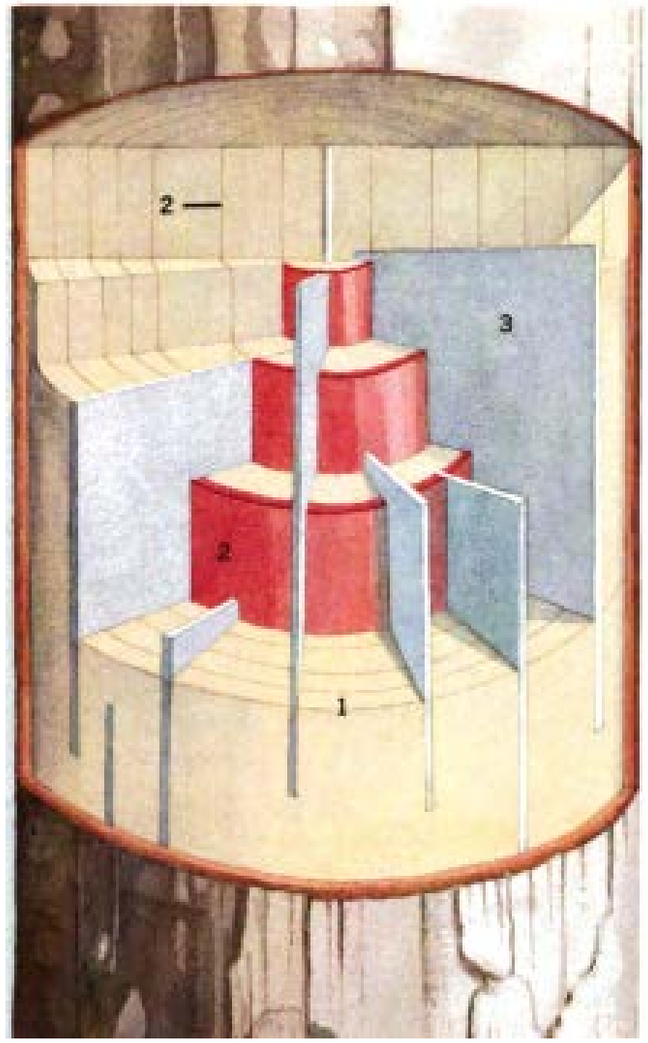
Centralną koncepcją szajgowej wizji drzewa jest ***CODIT – Compartmentalization of Decay in Trees*** (oddzielanie rozkładu u drzew), która wyjaśnia mechanizmy obrony przed rozkładem powodowanym przez grzyby. Otóż Shigo odkrył, że drzewa nie są biernymi ofiarami grzybów, wręcz przeciwnie – potrafią stawiać rozkładowi bariery i powstrzymywać go. Obecnie zamiast słowa „rozkład" (*decay*) używa się coraz częściej pojęcia „uszkodzenie" (*damage, defect*), ponieważ uważa się, że już samo uszkodzenie tkanek wywołuje reakcję drzewa. Przypuszcza się, że może ją zainicjować wywołana uszkodzeniem dekompresja naczyń przewodzących wodę. W modelu CODIT drzewo tworzy bariery, nazwane przez Shigo ścianami (*walls*), a w tej publikacji grodziami, zamykające rozkład w wydzielonych obszarach (*compartments*) i powstrzymujące jego rozszerzanie się na zdrowe tkanki. W tej książce tłumaczymy termin *compartmentalization* jako „grodziowanie"

przez analogię z budową okrętów. Statek posiada wodoszczelne ściany, zwane grodziami, które oddzielają od siebie wodoszczelne przedziały. W razie uszkodzenia kadłuba grodzie są zamykane, co zapobiega zalaniu całego kadłuba i zwiększa szanse na utrzymanie statku na powierzchni (u „Titanica" góra lodowa uszkodziła zbyt wiele grodzi, które zresztą okazały się zbyt niskie i woda się przez nie przelała). Podobnie drzewo tworzy „grodzie", które powstrzymują rozkład przez grzyby i pozwalają pozostałej części organizmu funkcjonować.

1 shigoandtrees.com/about-alex-shigo/, dostęp 18.04.2020, tłum. własne).



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



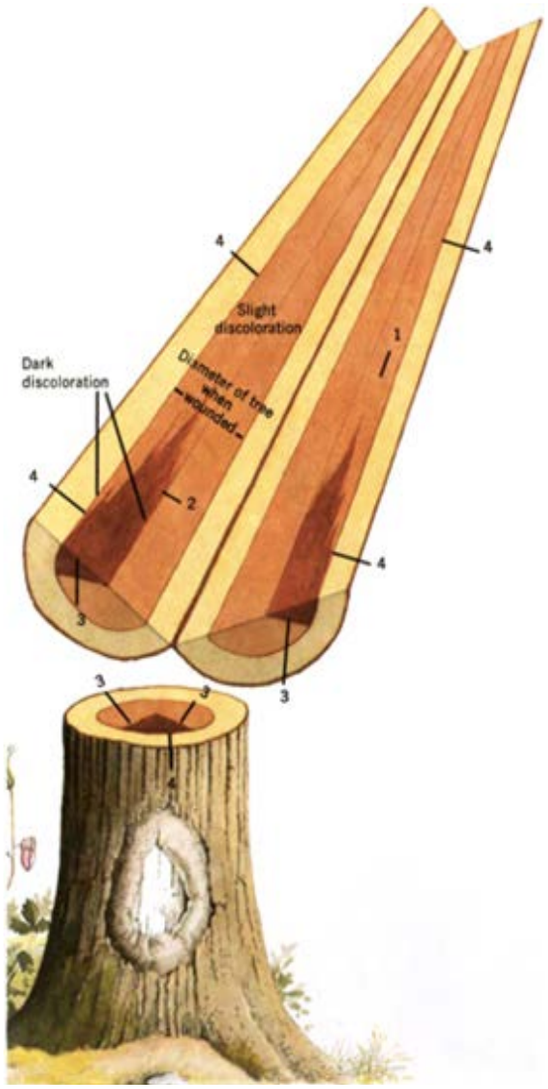

*Ryc. 9. Warstwy graniczne - ściany 1, 2 i 3 wg Alexa Shigo (Shigo & Marx 1977).*

Shigo wyróżnił dwie kategorie „ścian": pierwsza to „warstwy graniczne" (*boundary layers*), tworzone na drodze wysycania komórek substancjami fenolowymi, nieprzyjaznymi dla strzępek grzyba, które są wytwarzane i transportowane w miękiszu, w tym zwłaszcza w miękiszowych promieniach drzewnych. Oznaczył je numerami 1, 2, 3 – w zależności od lokalizacji i funkcji (Ryc. 9). Ograniczają one rozprzestrzenianie się rozkładu: ściana nr 1 w kierunku wzdłuż pnia, ściana nr 2 do wnętrza pnia, a ściana nr 3 po obwodzie (stycznie).



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego






*Ryc. 10. Reakcja drzewa na zranienie poprzez tworzenie warstw granicznych (ściany 1-3) oraz strefy barierowej, czyli ściany 4 (Shigo & Marx 1977).*

Do drugiej kategorii Shigo zaliczył ścianę nr 4, nazywając ją „strefą barierową" (*barrier zone*, Ryc. 10). W odróżnieniu od ścian 1-3, ta ostatnia jest nie tylko bogata w substancje ochronne, ale i zmodyfikowana anatomicznie. Powstaje w kolejnym po uszkodzeniu przyroście drewna i oddziela „grubą kreską" drewno powstałe po uszkodzeniu od starszych tkanek. Jest to najbardziej odporny na inwazję grzybową rodzaj grodzi – często bywa tak, że rozkładowi ulega całe wnętrze pnia, a obszar na zewnątrz pozostaje nienaruszony (Ryc. 11).



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

Preferowane środowisko życia grzyba jest wilgotne – ani za suche, ani zbyt mokre. Nadmiar wody bowiem ogranicza grzybom dostępność tlenu, a brak – uniemożliwia rozwój. To dlatego drewno tradycyjnie przechowuje się albo po wysuszeniu, albo zanurzone w wodzie lub wodą spryskiwane. Znajdujący się tuż pod korą żywego drzewa biel jest stosunkowo odporny na zasiedlenie przez grzyby nie tylko dlatego, że opisane wyżej mechanizmy obronne są w nim bardzo aktywne i dobrze zasilane w energię przez pobliskie łyko. Wysoka zawartość wody w bielu (90%, Shigo 1986) także zniechęca grzyby. Przypuszcza się, że spotykane u drzew zjawisko zwiększonego nasycenia drewna wodą może być objawem reakcji obronnej wobec patogenów (Shigo 1986).

Nauki Alexa Shigo podważyły główne praktyki ówczesnej chirurgii drzew, w tym zwłaszcza oczyszczanie dziupli „do żywego drewna". Podczas takiej operacji usuwano przecież wytworzone przez drzewo grodzie i otwierano szeroko bramę do dalszego zasiedlenia przez grzyby, czemu nie była w stanie zapobiec impregnacja fungicydami. Nic więc dziwnego, że jego propozycje spotkały się początkowo z silnym oporem środowiska. Dzisiaj nauka potwierdza większość jego obserwacji i intuicji, niektóre rozwija dalej i modyfikuje. Wiemy dziś, że nie da się „leczyć" zasiedlenia drzewa przez grzyby, że drzewo musi i może poradzić sobie samo. To, co możemy zrobić dla drzewa, to poprawić jego warunki wzrostu, inaczej mówiąc - dobrostan. Dla mnie Shigo był kimś w rodzaju Kopernika arborystyki - w oparciu o zebraną przez siebie solidną wiedzę zakwestionował i zmienił obowiązujący paradygmat.

*Ryc. 11. Wypróchniały koncentrycznie (wzdłuż słoja przyrostu rocznego pień starej lipy drobnolistnej. (PTCh)*



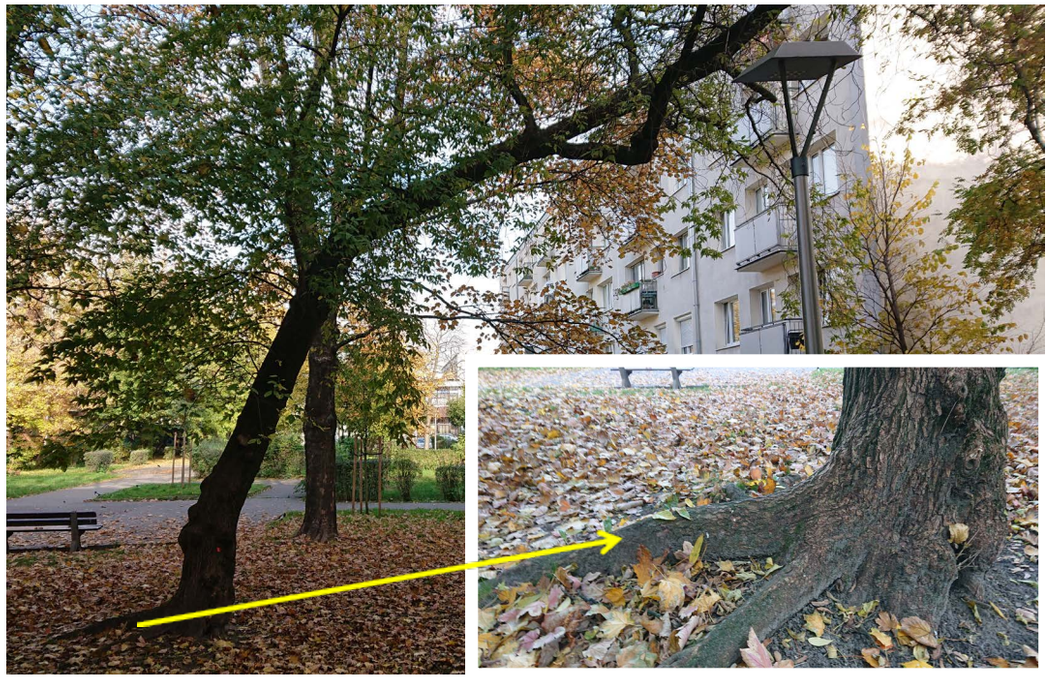
Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



## 4.2. JAK DRZEWA SIĘ ADAPTUJĄ?

Zwierzęta adaptują się do zmiennych warunków środowiska głównie dzięki zdolności do poruszania się. Jeśli jest gorąco – chowamy się do cienia, jeśli jest chłodno – grzejemy się na słońcu, jeśli jest głodno – szukamy pożywienia. Drzewa nie wędrują, lecz rosną i w ten sposób dostosowują się do otoczenia. Jeśli drzewo jest zacieniane przez sąsiada – rozbudowuje koronę w stronę światła, jeśli korzeniom brakuje wody, rosną one w kierunku, gdzie jest jej więcej. Z kolei zbywające części organizmu „zostają w tyle" i zamierają: zacienione przez koronę starsze gałęzie usychają, to samo się dzieje z niepotrzebnymi korzeniami.

Drzewa często są zmuszone odchylać się od preferowanego przez nie pionu, żeby zawalczyć z sąsiadami o światło. Konary z definicji rosną mniej-więcej poziomo, więc też muszą posiadać mechanizmy kierujące ich rozwojem. Na kierunek wzrostu ma mocny wpływ dominacja wierzchołkowa, o czym niżej. O ile rosnący pionowo pień jest zwykle doskonale kolisty w przekroju, o tyle elementy drzewa pozostające pod naprężeniem przybierają przekrój owalny, przy czym dłuższa średnica pokrywa się z kierunkiem działania sił. Dodatkowo drzewo wytwarza w tym miejscu drewno reakcyjne – tensyjne od strony rozciąganej (drzewa liściaste) lub kompresyjne od strony ściskanej (drzewa iglaste i czasem liściaste, patrz niżej). Szczególnie wyraźnie widać zjawisko wzmacniania się części drzewa, jeśli przyjrzymy się nabiegom korzeniowym drzew rosnących pochyło. Nabieg, a więc także korzeń, od strony przeciwnej do pochylenia (bądź od



*Ryc. 12. Klon jesionolistny wyrosły pochyło w poszukiwaniu światła ma korzenie wzmocnione od strony przeciwnej do ciążenia, znaczenie dla stabilności drzewa ma także korzeń podpierający (Warszawa-Muranów). (PTCh)*

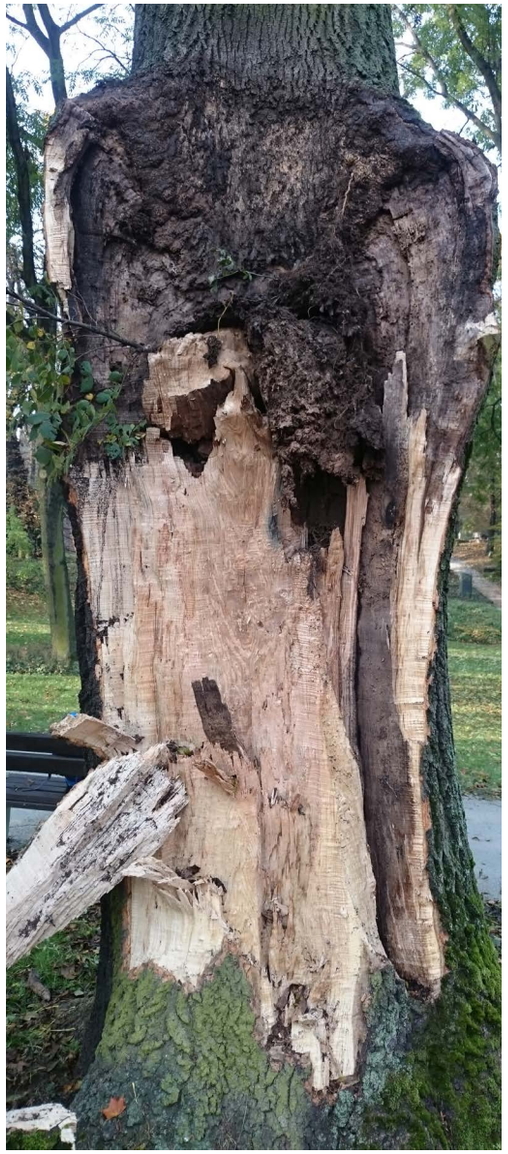


Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

strony, z której wieją przeważające silne wiatry) jest wyraźnie masywniejszy od pozostałych i pełni główną rolę w utrzymaniu statyki drzewa (Ryc. 12). Znaczenie ma też główny korzeń od strony pochylonej, podpierający drzewo, on także się wzmacnia. **Nie należy więc mylić drzew pochyłych (pochyło wyrośniętych) od przechylających się wskutek zerwania korzeni przez wiatr, uszkodzenia przez prace budowlane lub upłynnienia gleby w wyniku nasycenia wodą.**

Podobnie też drzewo wzmacnia części swojego ciała osłabione przez rozkład lub pęknięcia – najwyraźniej posiada zmysł identyfikujący obszary nadmiernie pracujące. Na przykład odziomkowy rozkład jest kompensowany „butelkowatym" pokrojem odziomka – drzewo odkłada więcej drewna tam, gdzie rozkład jest silniej posunięty. Jest to także drewno o zwiększonej wytrzymałości na dane naprężenia. Na pękniętych rozwidleniach nadbudowywane są wzmacniające je „uszy" (Ryc. 13).

Adaptacja przez wzrost jest oczywiście wolniejsza niż adaptacja przez ruch. Drzewo do pewnego stopnia może się dostosować do stopniowych zmian takich, jak obniżenie czy podniesienie poziomu wód gruntowych – przez przebudowę systemu korzeniowego. Jest to jednak możliwe tylko przy powolnym tempie zmian. **Gwałtowne osuszenie gruntu, które ma miejsce w sąsiedztwie wykopu pod budowę parkingu podziemnego, wielokrotnie przekracza zdolność adaptacyjną drzew.** Ale też w ewolucyjnej historii drzew podobnej skali kataklizmy były na tyle rzadkie, że nie miały one potrzeby rozwijania odpowiednich mechanizmów adaptacyjnych.



*Ryc. 13. Drzewo próbowało naprawić pęknięcie w rozwidleniu nadbudowując drewno po obu stronach zakorka („uszy"), co się ostatecznie nie powiodło. (PTCh)*



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



# 5. PODSTAWY ARCHITEKTURY I BIOMECHANIKI DRZEWA

Jak już wspomniano powyżej, od chwili wykiełkowania ciało drzewa jest kształtowane według określonego schematu wzrostu, który jest następnie powielany, z pewnymi modyfikacjami, na przestrzeni jego życia. Każdy gatunek ma swój specyficzny schemat rozgałęzień. Rozmiar drzewa, aczkolwiek w swoim maksimum determinowany genetycznie, ostatecznie jest wynikiem współgrania genów i warunków środowiska.

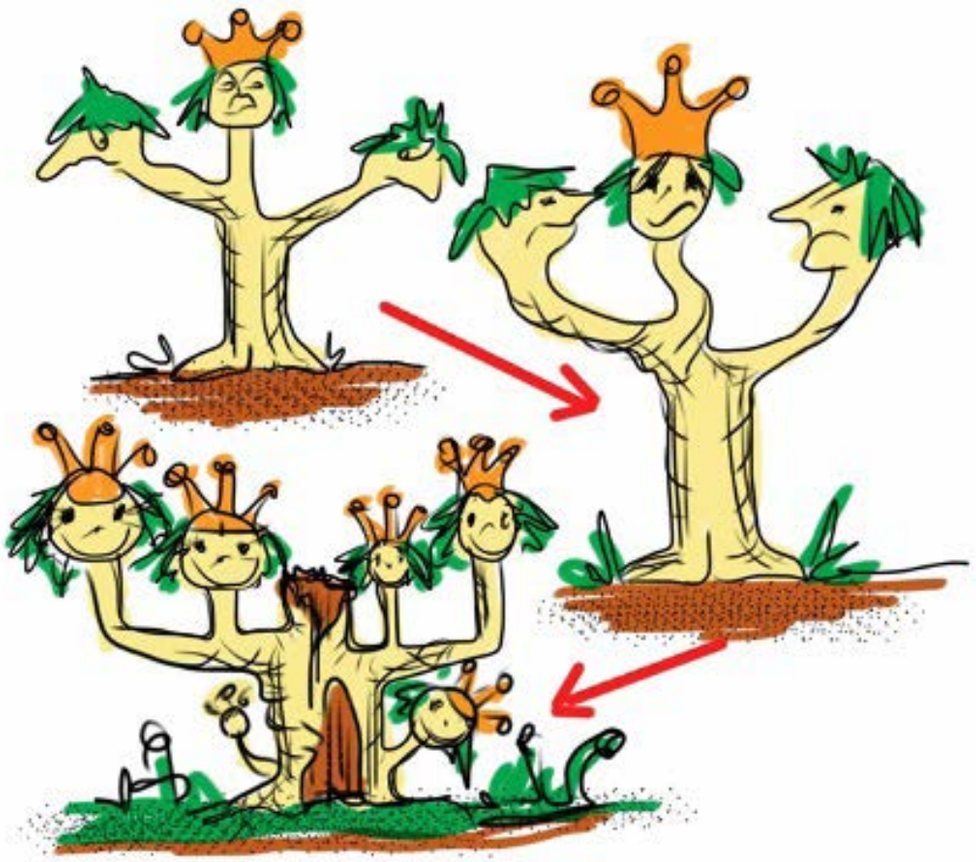
**Drzewo jest strukturą samooptymalizującą** się i dążącą do równowagi mechanicznej i fizjologicznej. Dzięki - słabo jeszcze poznanemu - mechanizmowi rozdysponowywania asymilatów tak steruje wzrostem poszczególnych organów, żeby tworzyły one harmonijną i zrównoważoną całość. Stworzony przez nie system korzeniowy jest adekwatny dla potrzeb rozwiniętej przez drzewo korony i odpowiednio do jej potrzeb zaopatruje ją w wodę. Z kolei korona jest na tyle rozwinięta, żeby móc żywić siebie i resztę organizmu – a zwłaszcza korzenie i współpracujące organizmy glebowe. Pień budowany jest w odpowiedzi na potrzeby skutecznego konkurowania o światło oraz stabilnego utrzymania korony. Jak każda inna część drzewa, wzmacnia się w miejscach, gdzie jest obciążany. Drewno w pniu i konarach jest niejednolite pod względem budowy, gęstości i wytrzymałości. Najbardziej wytrzymałe jest tam, gdzie następują największe naprężenia, a więc u podstawy pnia i konarów. Dodatkowo te miejsca wzmacniają się przez intensywniejszy przyrost, co uwidacznia się powstaniem nabiegów korzeniowych i zgrubienia konaru u jego podstawy. Jak już wspomniałem wyżej, drzewo także wzmacnia dodatkowym wzrostem miejsca osłabione rozkładem przez grzyby lub mechanicznym uszkodzeniem. Na Ryc. 13 widać rozłamane rozwidlenie, w którym zakorek uniemożliwił powstanie drewna pachwinowego (patrz niżej).

Drewno jest *anizotropowe*, co oznacza, że ma różne właściwości fizyczne w różnych kierunkach. Badaniem prawidłowości rządzących wytrzymałością drzewa i jego części, a także jego stabilnością w gruncie, zajmuje się **biomechanika** (Buza 2021).

**Dominacja wierzchołkowa,** zwana także kontrolą wierzchołkową, polega na ograniczaniu aktywności wierzchołków wzrostu gałęzi bocznych przez wierzchołek pędu głównego. Wydzielany przez merystem wierzchołkowy hormon pędu głównego zwany auksyną sprawia, że gałęzie boczne rosną poziomo i nie mają skłonności do konkurowania z nim. Auksyna także hamuje rozwój pączków śpiących. W przypadku uszkodzenia wierzchołka głównego pędu to hormonalne hamowanie zanika i boczne gałęzie, przynajmniej niektóre, zaczynają rosnąć do góry, aktywizują się też pączki śpiące. Rozproszenie dominacji wierzchołkowej może być skutkiem uszkodzenia głównego pędu przez wiatr, zwierzęta, chorobę bądź osłabienia lub zamierania jego wskutek stresu, zwłaszcza kłopotów z zaopatrzeniem w wodę (opadnięcie poziomu wody gruntowej, uszkodzenie korzeni podczas prac budowlanych). Charakteryzuje też drzewa sędziwe (patrz niżej).



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



*Ryc. 14. Zjawisko utraty przez drzewo dominacji wierzchołkowej zostało żartobliwie zilustrowane przez Clausa Matthecka, jednego z klasyków diagnostyki drzew (materiały szkoleniowe kursu VETree, www.vetree.eu). Wierzchołek, niczym feudalny suweren, dominuje nad podległymi mu wasalami. Ale jeśli tylko osłabnie jego władza, udzielni książęta podnoszą głowy i przejmują kontrolę nad drzewem.*



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

*Ryc. 15. Skutek osłabionej dominacji wierzchołkowej: poszczególne konary przyjmują wertykalny kierunek wzrostu i zaczynają rywalizować między sobą o światło niczym odrębne drzewa. W ten sposób tworzą się wygonione konary. (PTCh)*

## 5.1. MODYFIKACJE ANATOMICZNE DREWNA

**Drewno reakcyjne** występuje w miejscach poddanych naprężeniom. Jego zadaniem jest przeciwdziałać tym naprężeniom i zapewniać wzrost części drzewa zgodny z genetycznie uwarunkowanym schematem wzrostu oraz uwarunkowaniami środowiskowymi, zwłaszcza dostępem do światła. Wyróżnia się dwa rodzaje drewna reakcyjnego: kompresyjne występujące u iglastych, rzadziej u liściastych, oraz tensyjne - występujące tylko u liściastych.

**Drewno kompresyjne (twardzica)** tworzone jest po ściskanej stronie pnia lub konaru. Ściany wtórne komórek są silnie wysycone ligniną, przy niższej zawartości celulozy niż w zwyczajnym drewnie, a makrofibryle (włókna - wiązki łańcuchów celulozy) są ułożone pod kątem do 45 stopni względem osi cewek (im większe naprężenie, tym większy kąt). Drewno kompresyjne, dzięki zdolności rozprężania się, wpływa na kierunek wzrostu pnia (pionowo lub w stronę światła) i gałęzi, poglądowo mówiąc: podpiera je i unosi.

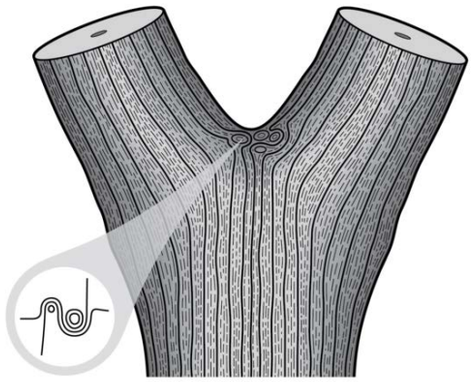


Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

**Drewno tensyjne (ciągliwe)** występuje po stronie rozciąganej pnia lub konaru. Ściany komórek zawierają więcej celulozy, niż w zwyczajnym drewnie, a włókna celulozowe są zorientowane w zasadzie wzdłuż dłuższej osi komórek. Dzięki zdolności kurczenia się, koryguje wzrost pnia lub gałęzi stosownie do potrzeb drzewa.

**Drewno pachwinowe (ang. *axillary wood*)** występuje wewnątrz rozwidleń (Ryc. 16). Wyróżnia je splątany i pozaplatany przebieg elementów przewodzących i włókien drewna, co zwiększa odporność rozwidlenia na rozłamanie. Jest to zapewne najbardziej wytrzymałe miejsce drzewa, o czym można się przekonać próbując przerąbać od góry nienaruszone rozwidlenie. Wytworzenie się mocnego rozwidlenia może uniemożliwić zakorek, czyli „przyszczypany" między jego elementami płat kory. Jeśli nie uda się drzewu skompensować zakorka dodatkowym wzrostem (patrz wyżej „uszy") to rozwidlenie staje się ryzykowne.

Drewno pachwinowe, podobnie, jak inne modyfikacje drewna, powstaje pod wpływem naprężeń generowanych przez pracujące niezależnie elementy rozwidlenia. Zewnętrznym objawem obecności drewna pachwinowego jest brewka (bruzda) korowa (Ryc. 17). Jeśli jednak ruch elementów rozwidlenia jest ograniczony, np. przez zrost gałęzi powyżej (naturalne wiązanie w koronie), nie nastąpi wzmocnienie rozwidlenia i rośnie prawdopodobieństwo wystąpienia zakorka, który je osłabia (Ryc. 18). **Nie zaleca się więc usuwania naturalnego wiązania, gdyż rozwidlenie poniżej może być zbyt słabe i wzrasta ryzyko jego rozłamania.**



*Ryc. 16. Drewno pachwinowe. Ilustracje pochodzą z artykułu na angielskiej Wikipedii autorstwa Duncana Slatera (en.wikipedia.org/wiki/Tree_fork).*



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

*Ryc. 17. Występowanie brewki w rozwidleniu wskazuje na prawidłowe uformowanie tkanki pachwinowej i adekwatną wytrzymałość rozwidlenia. (PTCh)*

*Ryc. 18. Rozwidlenie przewodników o swobodzie ruchu ograniczonej przez opierającą się o pień gałąź: tworzy się zakorek, a w dolnej części widać objawy wzmacniania rozwidlenia przez nakładanie z jego boków dodatkowego drewna („uszy"). Na prawym zdjęciu widok z drugiej strony. (PTCh)*

Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

*Ramka 3.*

## BIOMECHANIKA A INSPEKCJA I DIAGNOSTYKA INSTRUMENTALNA DRZEW

Wyżej opisane modyfikacje tkanek nie wyczerpują tematu. Należy mieć świadomość, że drewno jest bardzo niejednorodnym materiałem. Modele mechaniczne używane np. do obliczania wyników prób obciążeniowych są przybliżone. Nie jest łatwo przewidzieć czy i w którym miejscu złamie się drzewo nie wykazujące widocznych oznak osłabienia. Wzrokowe rozpoznawanie symptomów wskazujących na zwiększone prawdopodobieństwo upadku drzewa lub jego części jest zadaniem inspekcji drzew, czyli diagnostyki podstawowej. Bardziej wnikliwe badanie, w tym z użyciem specjalnych instrumentów, jest domeną zaawansowanej diagnostyki drzew.



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

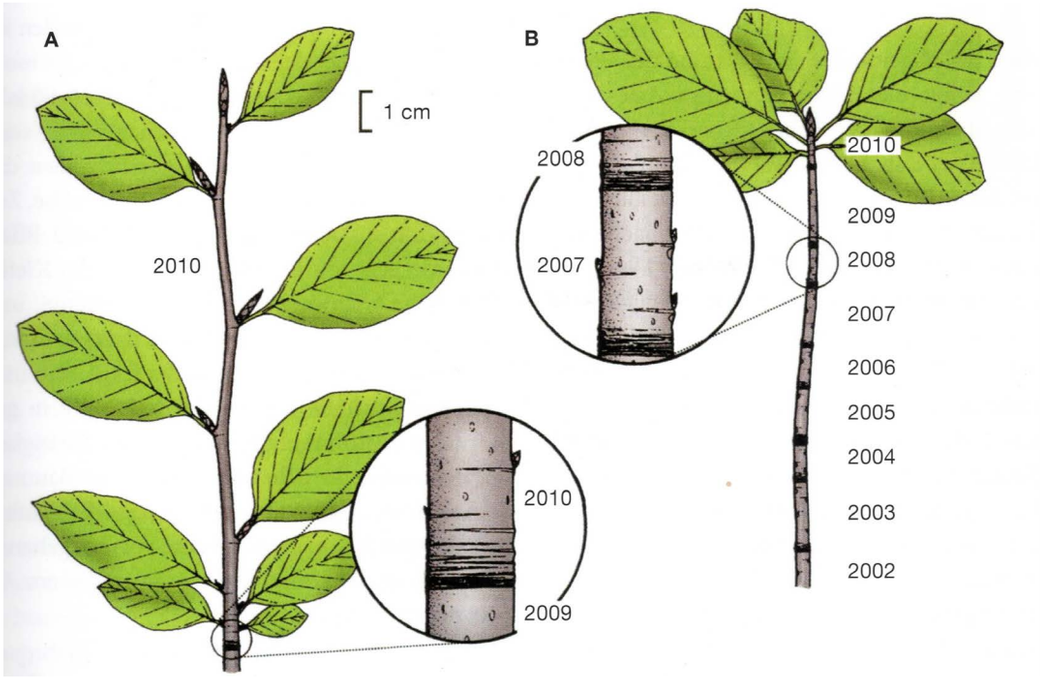


## 5.2. CO PĘDY NAM MÓWIĄ O DRZEWIE

Drzewa rozwijają dwa zasadnicze rodzaje pędów, których rozpoznanie jest przydatne w określeniu, gdzie w rozwoju osobniczym drzewo się znajduje i jaką oznacza się witalnością. Granica między kolejnymi rocznymi przyrostami na długość jest naznaczona bliznami i zwykle możliwa do identyfikacji. Mylące mogą być dodatkowe blizny oddzielające pędy świętojańskie, które u niektórych gatunków, np. dębów, są podobnie wyraźne, jak blizny oddzielające roczne przyrosty. Wtedy określenie długości i wieku poszczególnych przyrostów może być trudniejsze. Jednak i tak ocena wzrokowa witalności opiera się na widocznym gołym okiem, ewentualnie wspieranym przez lornetkę, ogólnym schemacie rozgałęzień, o czym niżej.

**Długopędy,** jak nazwa sugeruje, są długie, przynajmniej kilkucentymetrowe. Posiadają w pełni ukształtowane pączki boczne, z których rozwijają się w kolejnym roku nowe pędy.

**Krótkopędy** mają długość od kilku milimetrów do kilku centymetrów. Poza pączkiem szczytowym, wykształcają jedynie pączki śpiące, z których nowe pędy wyrastają jedynie w przypadku potrzeby regeneracji korony. W normalnych warunkach więc krótkopędy nie rozgałęziają się w kolejnym roku.




*Ryc. 19. Po lewej gałązka z jednym długopędem, po prawej gałązka z serią krótkopędów buka zwyczajnego, wyróżnione blizny oddzielające kolejne przyrosty (Roloff 2018).*



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

Długopędy i krótkopędy mają w życiu drzewa odmienne funkcje. Długopędy służą ekspansji drzewa, spotyka się więc je zwłaszcza u osobników młodych, dojrzewających. Występują również u drzew regenerujących się, niezależnie od wieku, jako budulec gałęzi przybyszowych. Krótkopędy służą utrzymaniu zawojowanej przestrzeni i - w granicach tej przestrzeni - utrzymaniu funkcji drzewa. Są więc charakterystyczne dla drzew dojrzałych i sędziwych. U niektórych gatunków na krótkopędach wyrastają kwiaty albo liście, ale w kontekście oceny drzew tych przypadków nie bierzemy pod uwagę. Na jednym drzewie mogą występować zarówno długopędy, jak i krótkopędy, w różnej proporcji w różnych częściach drzewa.

## WITALNOŚĆ

**Witalność** jest terminem powszechnie zrozumiałym, ale jeśli próbujemy stosować go do opisu drzew, sprawa okazuje się bardziej złożona[1] . Według „Słownika wyrazów obcych" (PWN 1995) „witalny" to „dotyczący życia i jego procesów, pełen sił żywotnych, żywotny, życiowy". Shigo (1986, s. 120) definiuje witalność jako „zdolność organizmu do wzrastania w warunkach, w których się znajduje" i odróżnia ją od wigoru, który definiuje jako „genetycznie określony potencjał radzenia sobie ze stresem".

FLL[2], niemieckie stowarzyszenie tworzące wytyczne dla branży zielonej, określa witalność jako „...siłę życiową organizmu, na którą wpływa wiek, genetyka, jak też czynniki środowiskowe. Witalność wyraża się w stanie zdrowotnym, w szczególności w:

- wzroście, strukturze korony i stanie ulistnienia,
- zdolności do adaptacji do warunków środowiska,
- odporności na choroby i szkodniki,
- zdolności do regeneracji

W leśnictwie i w arborystyce witalność określa się najczęściej na podstawie struktury korony i/lub stanu ulistnienia (gęstość, wielkość liści, ubarwienie)." (FLL 2011).

Do powyższej definicji można dodać, że na tak zdefiniowaną witalność wpływa także faza życia drzewa, która jest skorelowana z wiekiem, ale nie jest identyczna z nim (patrz niżej).

1. Na marginesie, uważam, że lepiej byłoby używać polskiego odpowiednika „żywotność", ale w branżach oceny drzew i w leśnictwie witalność tak się rozpowszechniła, że pozostaje postarać się ją jak najprecyzyjniej zdefiniować

2. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., www.fll.de



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

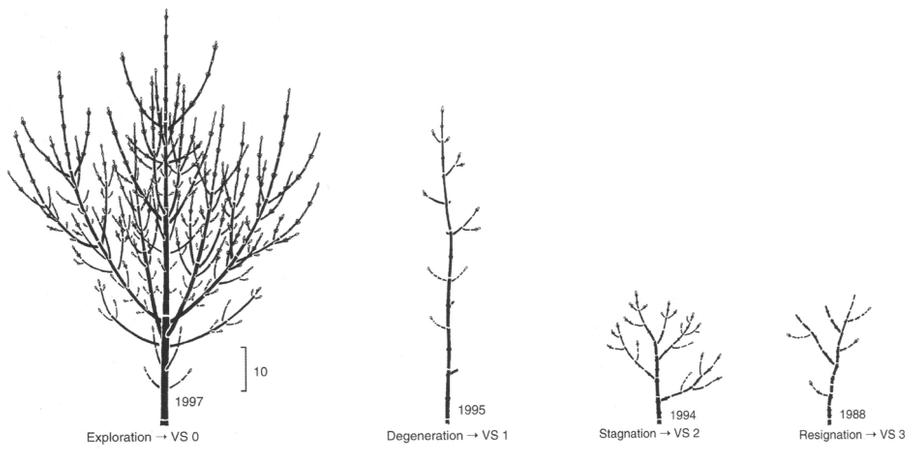


## 5.3. STOPNIE (FAZY) WITALNOŚCI ROLOFFA

Andreas Roloff, profesor wydziału leśnego Politechniki Drezdeńskiej, opracował dla potrzeb inwentaryzacji stanu zdrowotnego lasu skalę witalności drzew opartą na schemacie wzrostu pędów. Uznał, że metody oparte o ocenę ulistnienia są zbyt zawodne, m.in. zależą od bieżących warunków pogodowych (np. suszy), czy żerów owadów. Ocena relacji między krótkopędami a długopędami pozwala na wgląd w przynajmniej kilkuletni schemat wzrostu, zapisany w rysunku gałęzi (Ryc. 20, 21). Z biegiem lat Roloff dostosował swoją skalę dla potrzeb oceny drzew w różnych fazach rozwoju, rosnących na terenach zurbanizowanych (Roloff 2018). Faza „eksploracji" (VS 0) charakteryzuje się całkowitą dominacją długopędów. W fazie „degeneracji" (VS 1) pędy osiowe są długopędami, natomiast boczne się skracają. W fazie „stagnacji" (VS 2) wszystkie pędy są krótkopędami, a w fazie „rezygnacji" (VS 3) poszczególne pędy zaczynają zamierać.

Przez wzgląd na szacunek dla profesora Roloffa chętnie zaadaptowałbym tę oryginalną terminologię, ale moje zastrzeżenia budzi termin „degeneracja" ze względu na jego negatywną konotację. Jak to wyjaśniam poniżej, każdy stopień witalności ma swoje miejsce w cyklu rozwojowym drzewa i nie jest właściwe nazywać je w sposób wartościujący. Akurat faza „degeneracji" nie ma z potocznym rozumieniem tego słowa wiele wspólnego, bowiem wykazują je drzewa dynamicznie rosnące lub regenerujące się.

Roloff zaleca określać stopień witalności dla całego drzewa na podstawie obserwacji górnej 1/3 korony. Trzeba jednak zastrzec, że w przypadku drzew sędziwych oraz z innych powodów przebudowujących koronę (uszkodzenie korzeni, susza...) górna jej część może odpowiadać -3 stopniowi, a dolna 1 stopniowi skali Roloffa). W przypadku szczegółowego opisu takich drzew zasadne i przydatne jest określanie stopnia witalności odrębnie dla wyróżniających się fragmentów korony.




*Ryc. 20. Gałązki jesionu wyniosłego w różnych fazach rozwoju (Roloff 2015).*



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

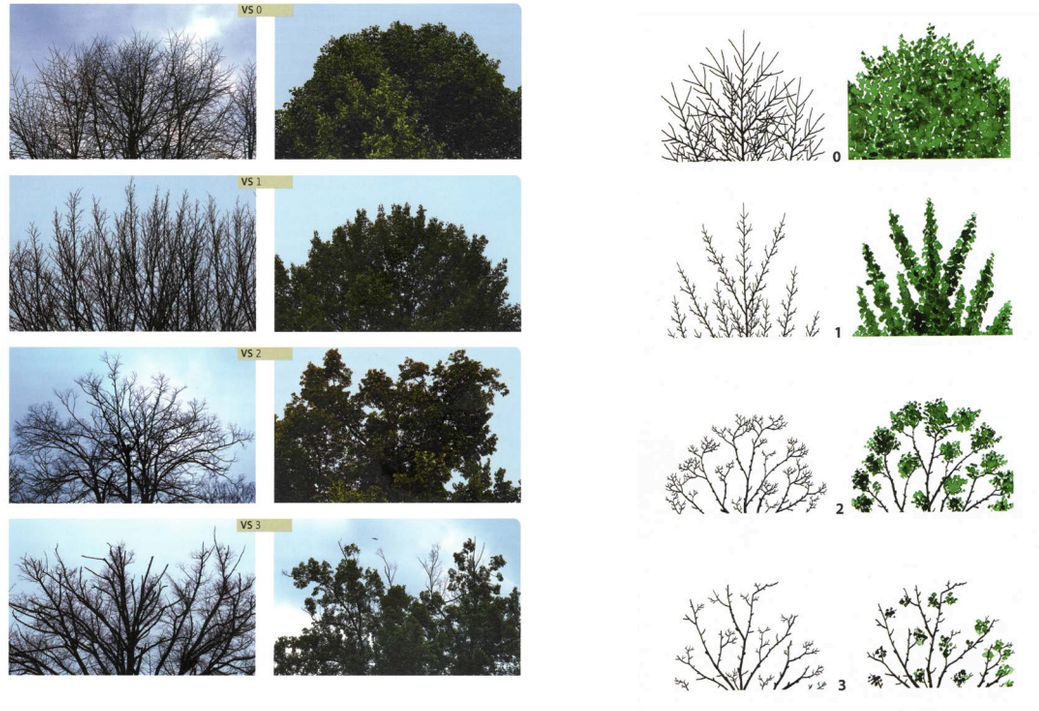
*Tabela 1. Stopnie witalności oparte na fazach Roloffa, jak zdefiniowane w „Standardzie inspekcji i diagnostyki drzew" opracowanym przez Fundację EkoRozwoju (Witkoś-Gnach, Krynicki 2021). Oznaczenie cyfrowe zostało dostosowane do jednolitej skali oceny drzew zaczynającej się od „1", dlatego różni się od skali Roloffa zaczynającej się od „0".*

| OZNACZENIE CYFROWE | STOPIEŃ WITALNOŚCI WG ROLOFFA | OPIS |
|---|---|---|
| 1 | 0 | Drzewo w fazie silnego przyrostu pędów na długość; zarówno wierzchołkowe, jak i boczne pędy rosną dynamicznie i równomiernie, wytwarzając głównie długopędy. Latem drzewo wytwarza gęste, równomierne listowie. |
| 2 | 1 | Drzewo o lekko zahamowanym przyroście pędów, pędy boczne mocniej skrócone niż wierzchołkowe, przez co gałęzie mają włóczniowaty pokrój, a między nimi pojawiają się wolne przestrzenie w koronie, także w stanie ulistnionym. |
| 3 | 2 | Drzewo o wyraźnie zahamowanym przyroście wszystkich pędów (występują tylko krótkopędy), wzrost drzewa na wysokość stagnuje, w stanie ulistnionym widać wyraźne luki w koronie. |
| 4 | 3 | Drzewo o zamierających fragmentach korony bądź obumierające. |
| 5 | (4) | Drzewo martwe. |



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego






*Ryc. 21. Na kolejnej ilustracji Roloffa (2015) widzimy schemat obrazu koron oraz fotografie koron lipy holenderskiej (Tilia x europaea) typowe dla poszczególnych stopni witalności.*

## 5.4. JAK ARCHITEKTURA DRZEWA SIĘ ZMIENIA W CZASIE JEGO ŻYCIA

Koncepcja faz Roloffa będzie nam przydatna przy omówieniu faz rozwoju życia drzewa. Jest wiele klasyfikacji etapów życia drzewa, wraz z przejściami między nimi. W największym uproszczeniu możemy wyróżnić trzy główne okresy w życiu drzewa: młodość, dojrzałość i (dla nielicznych drzew) sędziwość (Dujesiefken i in. 2016).

### DRZEWO MŁODE

Drzewo młode charakteryzuje się silną dominacją wierzchołkową i przeważającym wzrostem na wysokość. Zazwyczaj faza ta obejmuje okres do ok. 20 lat po posadzeniu. Prawidłowo rozwijające się drzewo młode charakteryzuje się najpierw pierwszym stopniem witalności (0 wg Roloffa) – czyli wszystkie pędy wykształcają się jako długopędy. W miarę wzrostu zaczyna się zaznaczać drugi stopień witalności (1 wg Roloffa). W tej fazie prowadzi się – o ile to jest potrzebne – cięcia formujące koronę. Przedwczesne osłabienie witalności może wskazywać na chorobę drzewa lub kłopoty z siedliskiem.

### DRZEWO DOJRZEWAJĄCE

Jest to etap przejściowy między młodością i dojrzałością , kiedy drzewo wyhamowuje wzrost na wysokość, ale jeszcze ma skłonność do rozrostu korony.

### DRZEWO DOJRZAŁE

Drzewo dojrzałe odznacza się stabilną wysokością i objętością korony przy osłabionej



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

dominacji wierzchołkowej. Drzewo osiągnęło lub jest bliskie osiągnięcia maksymalnych rozmiarów korony dla możliwości gatunku, lokalizacji i siedliska. Typowe drzewo dojrzałe wytwarza tylko krótkopędy, czyli wykazuje trzeci stopień witalności (2 w skali Roloffa). Jedynie reiteracje i inne pędy przybyszowe odznaczają się zwykle drugim stopniem (1 wg Roloffa).

*Ramka 4.*

## REITERACJE

Pęd przybyszowy (wtórny), wyrastający na pniu lub gałęzi z pąku śpiącego lub przybyszowego, wyrażający schemat dorosłego drzewa. Reiteracja posiada główny pęd (pień) i gałęzie boczne. Z czasem może rozwinąć autonomiczny układ korzeniowy, do którego sięga wyodrębnionym pasmem tkanek przewodzących. Jest to więc jakby młode drzewo rosnące na starym drzewie. O ile zwyczajne pierwotne rozgałęzienie jest przewidziane w modelu rozwoju drzewa, reiteracja powstaje w sposób przypadkowy, jako efekt uszkodzenia lub wysiłek drzewa na rzecz lepszego wykorzystania światła. Niektórzy utożsamiają reiteracje z gałęziami przybyszowymi, inni zawężają termin do gałęzi, które mają postać miniatury dorosłego drzewa.

*Ryc. 22. Sosna rumelijska (Pinus peuce) w parku w Lądku Zdroju, której korona została odtworzona przez reiteracje po obłamaniu przez wiatr pnia i obłamania konarów. (PTCh)*

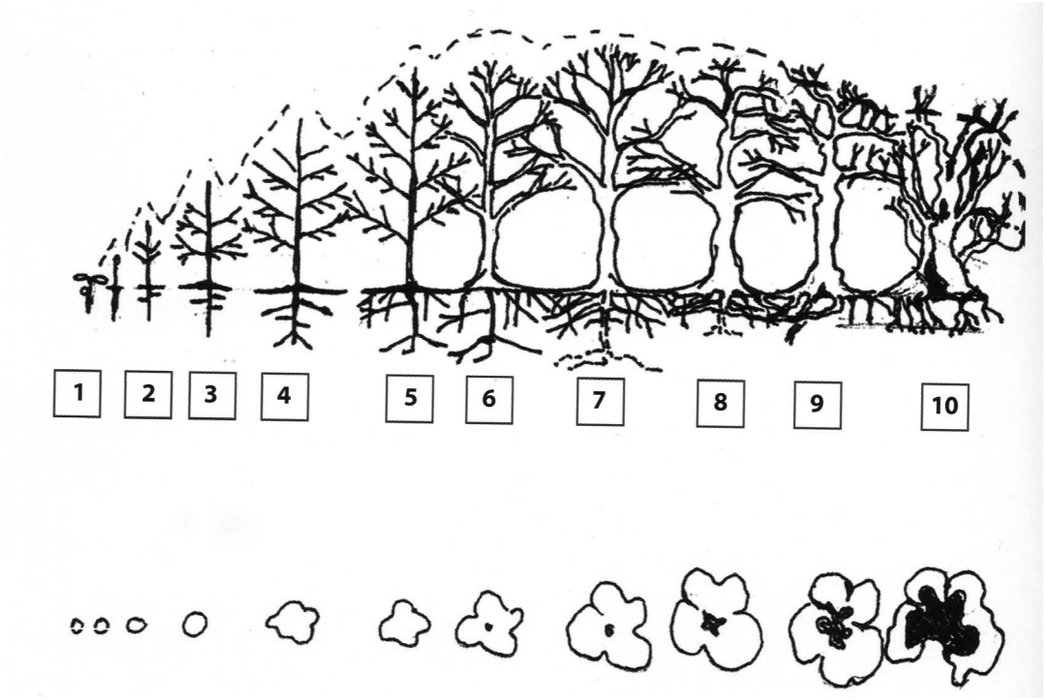


Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



### DRZEWO SĘDZIWE

Drzewo sędziwe osiągnęło wyjątkowy wiek jako reprezentant swojego gatunku i często charakteryzuje się także wyjątkową grubością pnia. W przypadku gatunków długowiecznych faza ta może być najdłuższą fazą życia drzewa. Możliwe jest obumieranie peryferyjnych części korony i powstawanie wtórnej korony poniżej (wycofywanie korony). Drzewo sędziwe zwykle posiada wysoką wartość przyrodniczą i kulturową. W fazie tej wnętrze pnia wykazuje rozległe ubytki, tworząc mikrosiedliska. Górna część korony wykazuje zwykle czwarty stopień witalności (3 w skali Roloffa) - poszczególne gałęzie, zwłaszcza wierzchołek, zamierają. Korona wtórna (dolna), często utworzona przez pędy przybyszowe, może odznaczać się trzecim, a nawet drugim stopniem witalności (odpowiednio 2 lub 1 w skali Roloffa).




*Ryc. 23. Na ilustracjach Nevilla Faya, inspirowanych pracami Lonsdale i Raimbault, widać schemat rozwijania się korony w młodości, stabilności w wieku dojrzałym i „zwijania się" w wieku sędziwym. Towarzyszy tej sekwencji analogiczny rozwój systemu korzeniowego i postępujące wypróchnienie coraz grubszego pnia (Dujesiefken i in. 2016).*

Cykl życia drzewa nie musi się zakończyć w fazie sędziwej. Drzewa posiadają mechanizmy pozwalające im na „zmartwychpowstanie" i rozpoczęcie nowego życia. Sędziwe lipy i wierzby często rozpoczynają nowe życie dzięki odrostom z podstawy pnia, a topole potrafią wypuszczać całe zagajniki nowych drzewek z korzeni. Nowe pnie budują sobie także nowe systemy korzeniowe.

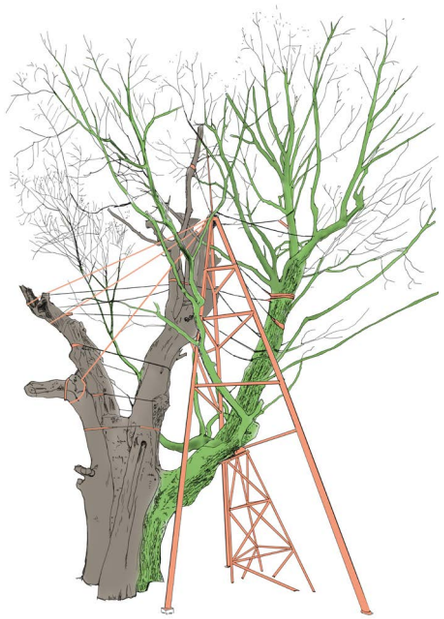


Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

*Ramka 5.*

## DĄB MIESZKO: DRZEWO-FENIKS

Dobrym przykładem drzewa sędziwego, które się odrodziło, jest dąb Mieszko I rosnący w podwarszawskim Natolinie przy starym trakcie do Czerska. Budowa wielkiego osiedla mieszkaniowego odcięła go od zaopatrzenia w wodę i drzewo w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku niemal całkowicie zamarło - żywą pozostała jedynie boczna gałąź. Z tej jednej gałęzi Mieszko odtworzył zupełnie nową koronę, obecnie niewiele ustępującą objętością koronie pierwotnej. Martwe części zostały zakonserwowane i ulegają bardzo powolnemu rozpadowi. Naruszył je pożar z czerwca 2019 roku, jednak nie obniżył żywotności żywej korony. Mieszko to Feniks, który powstał z popiołów.



*Ryc. 24. Dąb Mieszko I w warszawskim Natolinie: na zdjęciu z września 2020 nie widać, żeby pożar z czerwca 2019 roku zaszkodził temu żywotnemu staruszkowi. Na rysunku żywe części drzewa są zaznaczone na zielono, martwe – na szaro, a na łososiowo – podpory i wiązania. (PTCh)*
*Rys. Jakub Józefczuk.*



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



# 6. ROZKŁAD DREWNA PRZEZ GRZYBY, A STABILNOŚĆ DRZEWA

Każdy rozkład przez grzyby osłabia drewno mechanicznie, nawet w fazie inicjalnej, kiedy jeszcze nie widzimy gołym okiem jego oznak. Utraciło ono już bowiem część swoich konstrukcyjnych komponentów. W białym rozkładzie grzyby rozkładają równomiernie wszystkie komponenty, a że ligniny jest najmniej, więc jej najszybciej ubywa. Dlatego w tym przypadku drewno początkowo mięknie choć jakiś jeszcze czas zachowuje wytrzymałość na rozciąganie. W brunatnym rozkładzie rozkładana jest celuloza i hemicelulozy, więc drewno staje się kruche i ostatecznie zamienia w brunatny proszek składający się głównie z ligniny.

Z drugiej jednak strony, drzewa na przestrzeni swojej historii nauczyły się żyć z zasiedlającymi je grzybami (i odwrotnie). Mają bowiem mechanizmy pozwalające utrzymać grzyba w ryzach. Jednocześnie, dekompozycja martwego drewna jest nieodzownym ogniwem w krążeniu pierwiastków w ekosystemie.

**Jak to więc jest, że niektóre drzewa żyją z grzybami przez setki, a nawet tysiące lat, a inne im ulegają po dłuższej, a czasem całkiem krótkiej walce?**

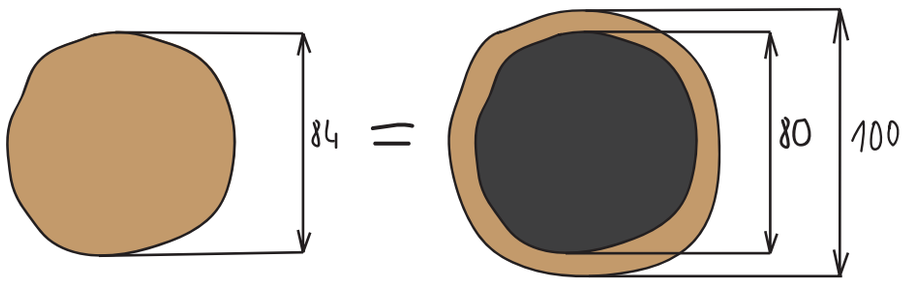
**O wyniku starcia decyduje dynamika stosunków między drzewem a grzybem.** Zdrowe i mocne drzewo, zwłaszcza gatunku długowiecznego i o mocnych mechanizmach obronnych, jest w stanie trzymać grzyba na dystans, wygradzając obszar drewna przez niego opanowany. Tym łatwiej to przychodzi drzewu, im łagodniejsze jest działanie grzyba. Nie ma problemu z saprotrofami, takimi, jak wrośniaki, czy rozszczepka – te zajmują się martwym drewnem, do żywych tkanek nie wchodząc. Może jednak być tak, że grzyb z trybu saprotroficznego przejdzie płynnie

Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

do pasożytniczego, jeśli pojawi się ku temu okazja. Taką okazją jest osłabienie mechanizmów obronnych drzewa, będące zwykle skutkiem stresu. Drzewo cierpiące od suszy, soli, zagęszczonej gleby walczy o przetrwanie i ma mało zasobów pozostawionych na potrzeby grodziowania. Grzyb, nawet mało agresywnego gatunku, może wtedy przełamać kolejne grodzie i wkroczyć na obszary drewna niezbędne dla utrzymania funkcji organizmu i/lub zapewnienia stabilności.

Z drugiej strony mamy agresywne pasożyty - takie, jak hubiak, czy opieńka – które są w stanie pokonać nawet zdrowe drzewo, a tym łatwiej i szybciej ulega im drzewo osłabione. Tu także siła mechanizmów obronnych u różnych gatunków ma znaczenie. Na dębach szypułkowych obserwuje się przez dziesięciolecia niewielkie „kopyta" hubiaka, podczas, gdy kasztanowiec, lipa, czy topola może temu groźnemu pasożytowi ulec w kilka lat od pojawienia się pierwszego owocnika. Przy tym hubiak, zanim osłabi kondycję drzewa, zwykle wpierw pozbawi je stabilności, natomiast opieńka najpierw je zabija, a potem rozkłada. Po zabiciu żywych tkanek grzyby pasożytnicze przechodzą w tryb saprotroficzny i przynajmniej przez kilka lat żywią się martwym już drewnem.

Jak już wspomniano wyżej, wypróchniałe wewnątrz drzewo może stać stabilnie dzięki temu, że przekrój rury jest optymalny z punktu widzenia mechaniki. Z powodzeniem wykorzystują go latarnie, słupy anten telefonii komórkowej, czy kolumny turbin wiatrowych. Wytrzymałość belki o przekroju kołowym zależy od trzeciej potęgi średnicy, więc im grubsze wypróchniałe drzewo, tym mniejsza grubość ścianki wystarczy, żeby je utrzymać. Jeden zaledwie słój przyrostu rocznego o grubości 0,5 cm na drzewie o średnicy 1 m przenosi takie same obciążenie, jak pełny przekrój drzewa o średnicy 31 cm (Wessolly, Erb 2016, patrz też Ryc. 25). Znane są grube sędziwe drzewa, które stoją stabilnie na ściance grubości kilku cm (Siewniak i in. 2020).




*Ryc. 25. Pień wypróchniałego drzewa o średnicy 100 cm i grubości zdrowej ścianki 10 cm ma taką samą wytrzymałość na zginanie jak nienaruszony pień o średnicy 84 cm.*
*Rysunek Pauliny Saneckiej wg. Wessolly, Erb (2016).*



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



*Ramka 6.*

## GDZIE DRZEWO MYŚLI?

**Skąd drzewo wie jak rosnąć? Jak przekłada odbierane bodźce środowiskowe na decyzje o rozmieszczeniu produkowanych w liściach asymilatów? Skąd wie ile inwestować w korzenie, a ile w pędy – i które korzenie i pędy? Gdzie zapadają decyzje dotyczące relacji z innymi organizmami, zwłaszcza sąsiednimi drzewami i grzybami mikoryzowymi?**

Drzewa mózgu nie mają, co było przez tysiąclecia jednym z koronnych dowodów na ich niższość względem zwierząt. Ale uważna obserwacja życia drzewa, uzupełniona o wyniki najnowszych badań nad ich fizjologią i ekologią, skłania do przekonania, że gdzieś muszą zachodzić procesy analogiczne do dziejących się w naszym mózgu.

Więc gdzie? Stwierdzono, że impulsy bioelektryczne pełnią ważną rolę w przekazywaniu informacji wewnątrz rośliny. Procesy bioelektryczne podobne do zachodzących w naszym układzie nerwowym wykryto w sąsiedztwie stożków wzrostu w korzeniach i pędach. Pojawiła się teoria mówiąca, że procesy decyzyjne u roślin odbywają się w chmurze złożonej z tych miejsc. Przypuszczam, że inspiracją dla takiego wyjaśnienia jest wynalazek chmury obliczeniowej, tworzonej przez liczne komputery połączone internetem – wynalazek stosunkowo niedawny.

Badaniem procesów komunikacyjnych wewnątrz roślin i z ich otoczeniem z wykorzystaniem analogii do zwierząt zajmuje się nauka nazywana przez jej praktyków neurobiologią roślin. Zalicza się do nich wspomniany we wstępie Stefano Mancuso. Są jednak naukowcy, którzy uważają tę nazwę za nadużycie. Uważają oni, że o neurobiologii można mówić jedynie w odniesieniu do organizmów posiadających wyodrębniony układ nerwowy. Z drugiej strony, według słów jednej z czołowych przedstawicieli neurobiologii roślin, Moniki Gagliano, zastosowanie dorobku zwierzęcej neurobiologii i behawioryzmu do badań roślin pozwoliło na wielki postęp zrozumienia jak one funkcjonują.



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

# *III.*

## *Drzewo jako istota społeczna*

### 1. POWIĄZANIA MIĘDZY DRZEWAMI

W prawdziwym lesie drzewo żyje połączone z innymi organizmami rozlicznymi więziami. Od dawna wiadomo, że sąsiednie drzewa zrastają się korzeniami. Często widuje się pieńki po drzewach ściętych przed dziesięcioleciami, które nadal żyją (Ryc. 26). Wohlleben interpretuje to zjawisko jako dowód na altruizm drzew (2016). Moim zdaniem sprawa jest znacznie prostsza: sąsiedzi ściętego drzewa, połączeni z nim zrostami korzeniowymi i siecią mikoryzową, dokonują po prostu przejęcia „wolnego" systemu korzeniowego i adaptują go do swoich potrzeb. Inny przykład, także przytoczony przez Wohllebena, może być mocniejszym argumentem za altruizmem u drzew.

*Ryc. 26. Pieniek po ściętej kilkadziesiąt lat temu daglezji nadal żyje dzięki sąsiadom (arboretum SGGW w Rogowie koło Koluszek). (PTCh)*



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

Otóż odkryto, że stare buki dożywiają swoje potomstwo, które bez tego nie przetrwałoby pozostając w głębokim cieniu rzucanym przez koronę matki.

**Chociaż tu pojawia się pytanie natury filozoficznej: co to jest altruizm? Czy rodzic, który opiekuje się dzieckiem stanowiącym przedłużeniem jego istnienia, nie postępuje ze wszech miar egoistycznie?**

Taki dylemat wykracza jednak poza ramy tej zwięzłej opowieści o drzewach. Inny przykład wzajemnego wspierania się drzew różnych gatunków udokumentowała wspomniana wcześniej Suzanne Simard (Simard, Toomey 2016). Brzoza papierowa i daglezja wzajemnie wspierają się asymilatami w zależności od potrzeb. Na przykład, kiedy brzoza zrzuci liście, a daglezja jeszcze fotosyntetyzuje, ta ostatnia dzieli się swoją produkcją – a latem kierunek przepływu cukrów się odwraca. Badaczka przypuszcza, że za tą wymianą może stać partner mikoryzowy obu drzew, w którego interesie jest utrzymanie obu wspólników w dobrej kondycji.

Obecnie, dzięki badaniom m.in. Suzanne Simard, zdajemy sobie sprawę z roli sieci mikoryzowych w tworzeniu sieci powiązań między drzewami. Simard obrazowo nazwała tę sieć WWW – *wood-wide web* (wszech-leśna sieć), przez analogię do *world-wide web* (wszech-światowa sieć), zwanej też internetem. Sieć ta umożliwia komunikowanie się roślin, np. ostrzeganie przed niebezpieczeństwem. Jeśli las zaczyna atakować kornik, drzewa na drugim jego końcu wkrótce już o tym wiedzą i zaczynają się przygotowywać do obrony, wytwarzając substancje obronne oraz przywabiając na pomoc „wrogów" kornika, czyli drapieżników w nim gustujących. Tego typu wiadomości są przenoszone między drzewami także drogą powietrzną, przez emisję feromonów, czyli substancji lotnych przenoszących informacje. Jak wspomniane wyżej, rola WWW nie kończy się na komunikacji – jest to także sieć transportowa, przenosząca asymilaty pomiędzy jej członkami, głównie drzewami i grzybami. Przy czym wprawdzie stwierdzono transfery pomiędzy drzewami różnych gatunków, ale jednak preferowane jest wysyłanie asymilatów swojemu potomstwu. Ciekawym zjawiskiem potwierdzającym więzi pomiędzy drzewami jest znane leśnikom od dawna, skoordynowane kwitnienie egzemplarzy jednego gatunku na dużych obszarach, którego mechanizm, jak dotąd, pozostaje nieznany. Przy czym coraz liczniejsze przykłady kooperacji pomiędzy drzewami nie powinny nam przesłaniać znaczenia konkurencji w kształtowaniu zbiorowisk roślinnych. Może jest tak, jak w ludzkim świecie: niektóre osobniki i ich grupy współpracują, inne rywalizują – bądź wchodzą w relacje innego typu.
Zwierzęta też mają swoje powiązania między osobnikami, ze względu jednak na ich mobilność, mają one najczęściej inny charakter, niż fizyczny. Łączą nas niematerialne więzi społeczne oparte na mechanizmach psychologicznych, coś jakby „software". Drzewa, jako istoty osiadłe, w większym stopniu polegają na „hardware".



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



# 2. JAK DRZEWA UPRAWIAJĄ GLEBĘ, W KTÓREJ ROSNĄ

Jak to jest, że drzewa potrafią żyć na jednym miejscu przez setki i tysiące lat i nie wyjałowią gleby do tego stopnia, że same zamrą? Ta sztuka nie zawsze się udawała ludzkim cywilizacjom, z których wiele upadło z powodu wyczerpania uprawianych przez nie gleb. Drzewa mają na to sposób: uprawiają i użyźniają swoje siedlisko.

Będąca naturalnym środowiskiem życia drzew leśna gleba nie jest bynajmniej sterylnym medium, takim, jak dostępna w markecie wysterylizowana gleba ogrodowa. Jest to złożony ekosystem, którego struktura kształtuje się przez dziesięciolecia i stulecia, a niektóre właściwości wymagają tysięcy lat, aby się ukształtować. Leśna gleba jest stale uprawiana przez zamieszkujące ją organizmy, a kluczową rolę w tej pracy odgrywają drzewa. Wiążą węgiel i inne biogeny w swoim ciele, a kiedy jego części zamierają, przekazują je do przetworzenia sztafecie innych organizmów. Część tej materii krąży w ciałach rozlicznych żyjątek, część uwalnia się ostatecznie z powrotem do atmosfery, a reszta wzbogaca glebę tworząc próchnicę.

Nie tylko grzyby mikoryzowe są beneficjentami współpracy z drzewami. Korzenie wydzielają związki chemiczne stymulujące rozwój bakterii glebowych, które nie tylko biorą udział w rozkładzie martwej materii, ale też przyczyniają się do wietrzenia glebowych minerałów. Uwolnione z frakcji mineralnej dodatkowe biogeny są pobierane przez korzenie i wchodzą do lokalnego obiegu. **Skutecznym trickiem jest pokrywanie gleby zrzuconymi liśćmi: „kołderka" ze ściółki sprzyja optymalnemu rozwojowi glebowego ekosystemu, zwłaszcza dzięki zachowaniu wilgoci i odcięciu dostępu światła.** Jego członkowie, od najmniejszej bakterii po dżdżownice i drobne ssaki, przyczyniają się do wzbogacenia gleby w biogeny, tworzenia jej optymalnej struktury, napowietrzenia i wymieszania.

Jak opisano powyżej, drzewo „porzuca" stare, niepotrzebne tkanki, np. te znajdujące się wewnątrz pnia, czy zawarte w odrzucanych liściach, gałęziach i korzeniach. Są one na bieżąco rozkładane przez organizmy saprotroficzne, a uwalniane z nich biogeny są na nowo wbudowywane w ciało drzewa. Dodatkowe biogeny, zwłaszcza azot i fosfor, pochodzą od gnieżdżących się w dziuplach i gniazdach ptaków, nietoperzy i innych drobnych ssaków, które żywią się gdzie indziej, w drzewie lub koło niego defekują. Drzewu opłaca się być dziuplastym i rosochatym oraz zamieszkałym przez owady, bo to przyciąga dostawców użyźniających odchodów. Badając

Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

*Ramka 7.*

## GARŚĆ ZDROWEJ GLEBY

zawiera m.in.:

- **JEDEN BILION (1 000 000 000 000) BAKTERII**
- **10 TYSIĘCY PIERWOTNIAKÓW**
- **10 TYSIĘCY NICIENI**
- **25 KM STRZĘPEK GRZYBNI**

*(Sala, 2020)*

dziuplę sondą zachowajmy ostrożność, żeby nie zrobić krzywdy jej mieszkańcom – sojusznikom drzewa. . Warto najpierw pod tym kątem zbadać wnętrze dziupli endoskopem.

Procesy glebotwórcze to długodystansowcy. Wykształcenie się optymalnej struktury gleby i składu ekosystemu glebowego trwa setki lat, a pewne procesy wymagają nawet przejścia przez epokę lodową. Gleby antropogeniczne są zwykle zagęszczone przez nacisk oraz wibracje związane z ruchem pojazdów - ta degradacja sięga głęboko i jest w zasadzie nieodwracalna w perspektywie życia ludzkiego. Pewną poprawę można uzyskać poprzez ściółkowanie gleby, co pomaga odrodzić się życiu glebowemu i sprzyja regeneracji jej struktury. W drzewach sędziwych, zwłaszcza tych rosnących w lasach naturalnych, cenne jest więc nie tylko drzewo, ale i gleba, w której ono rośnie, ponieważ miała ona dużo czasu na kształtowanie się, w symbiozie z drzewem.

W tym miejscu pojawiają się pytania natury filozoficznej: gdzie kończy się jedno drzewo a zaczyna drugie? gdzie kończy się drzewo, a zaczyna grzyb? może w ogóle nie można mówić o wyraźnych granicach między osobnikami? Może nie ma osobników, a las to jeden wielki superorganizm, złożony z roślin, grzybów, śluzowców, bakterii, z którymi żyją w symbiozie owady, roztocza, nicienie, kręgowce … Jak by nie odpowiadać na te pytania, dla uważnego obserwatora jest oczywiste, że drzewa są mocno osadzone w społecznościach, w których żyją.



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego

TREE ASSESSOR

# 3. DRZEWA MIEJSKIE – TRUDNE ŻYCIE

W lesie naturalnym drzewa tworzą sobie zespołowo sprzyjające warunki życia - specyficzny mikroklimat wnętrza lasu oraz użyźnioną glebę. Wspierają się wzajemnie informacją i asymilatami. Korzystają także ze wsparcia innych organizmów, zwłaszcza grzybów mikoryzowych.

Co innego drzewa przyuliczne, które rosną samotnie w tych swoich ciasnych kwadratach ubitej gleby. Odmawiamy im wody, trujemy solą i spalinami, wystawiamy na ekstremalne upały. Dodatkowo, robimy wiele, żeby im utrudnić radzenie sobie w tych trudnych warunkach. Usuwamy ulistnione gałęzie – jedyne źródło pożywienia drzew – żeby kształtować skrajnię, a nieraz bez istotnego powodu. Niszczymy ich korzenie rozbudowując ulice, infrastrukturę podziemną i budując ścieżki rowerowe (miasto ma być przecież ekologiczne). Nic dziwnego, że drzewa miejskie żyją krótko i nędznie.

Jeśli chcemy mieć drzewa w mieście, musimy dołożyć szczególnych starań, aby stworzyć im możliwie najlepsze warunki w tym wrogim dla nich środowisku. W szczególności trzeba zadbać o glebę i sprawić, żeby było jej możliwie jak najwięcej do dyspozycji drzewa i żeby była jak najbliższa ideałowi gleby leśnej. Przyzwoite minimum obejmuje wygrodzenie tak dużego terenu wokół drzewa, jak to jest możliwe – niechby to był chociaż ten nieszczęsny kwadrat wykrojony z chodnika. Drzewa, podobnie, jak kury, lubią ściółkę, więc nie wygrabiajmy liści, bo to jest nawóz, który drzewo dla siebie wytwarza. Jeśli warunki miejskie nie pozwalają drzewu samemu uprawiać swojego siedliska, naśladujmy naturalne procesy, np. wysypując jego otoczenie mulczem (ściółką).

## LITERATURA


**Boddy, L.** 2021. Fungi and Trees. Their Complex Relationships. Arboricultural Association, Stonehouse

**Buza, A.**, ed. 2021. Zaawansowana diagnostyka drzew - podręcznik dla profesjonalistów. Dobre Kadry, Wrocław

**Dujesiefken, D., Liese, W**. 2015. The CODIT Principle. ISA, Champaign, IL

**FER 2021.** Standard inspekcji i diagnostyki drzew. Fundacja EkoRozwoju, Wrocław

**FER 2021a.** Standard cięć i pielęgnacji drzew. Fundacja EkoRozwoju, Wrocław

**FLL 2011.** Baumkontrollrichtlinien – Richtlinien für Regelkontrollen zur Überprüfung der Verkehrsicherheit von Bäumen, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., Bonn

**Hallé, F.** 2002. In Praise of Plants. Timber Press, Portland, Oregon

**Lonsdale, D. (ed.)** 2013. Ancient and other veteran trees: further guidance on management. Ancient Tree Forum, London; ancienttreeforum.co.uk/wp-content/uploads/2015/02/ATF_book.pdf

**Mancuso, S. i Viola, A.** 2017. Błyskotliwa zieleń. Wydawnictwo Bukowy Las, Wrocław

**Roloff, A.** 2018. Vitalitätsbeurteilung von Bäumen. Aktueller Stand und Weiterentwicklung. Haymarket Media, Braunschweig

**Roloff, A.** 2015. Handbuch Baumdiagnostik. Baum-Korpersprache and Baum-Beurteilung. Ulmer, Stuttgart

**Sala, E.** 2020. Natura Natury. Dlaczego potrzebujemy dziczy. National Geographic, Warszawa

**Shigo, A.** 1991 (2013). Modern Arboriculture: a System Approach to the Care of Trees and their Associates. Shigo and Trees, Snohomish, WA

**Shigo, A.** 1986 (2008). A New Tree Biology: Facts, Photos, and Philosophies on Trees and their Problems and Proper Care. Shigo and Trees, Snohomish, WA

**Shigo, A., Marx, H.** 1977. Compartmentalization of Decay in Trees. USDA Forest Service, Washington, DC (Google Books)

**Siewniak, M., Wessolly, L., Bobek, W., Siewniak, M.** 2020. Statyka drzew. Analiza zawodności. Poradnik profesjonalisty. Centrum Dendrologiczne, Wolica.

**Simard, S. and Toomey, D.** 2016. Exploring How and Why Trees “Talk” to Each Other. **YaleEnvironment360** (e360.yale.edu/features/exploring_how_and_why_trees_talk_to_each_other)

**Wessolly, L., Erb, M**. 2016. Manual of Tree Statics and Tree Inspection. Patzer, Berlin

**Witkoś-Gnach, K., Krynicki, M**. 2021. Standard inspekcji i diagnostyki drzew, Fundacja EkoRozwoju, Wrocław

**Witkoś-Gnach, K., Tyszko-Chmielowiec, P.,** red. 2016. Drzewa w cyklu życia. Fundacja EkoRozwoju, Wrocław

**Wohlleben, P.** 2016. Sekretne życie drzew. Wydawnictwo Otwarte, Kraków

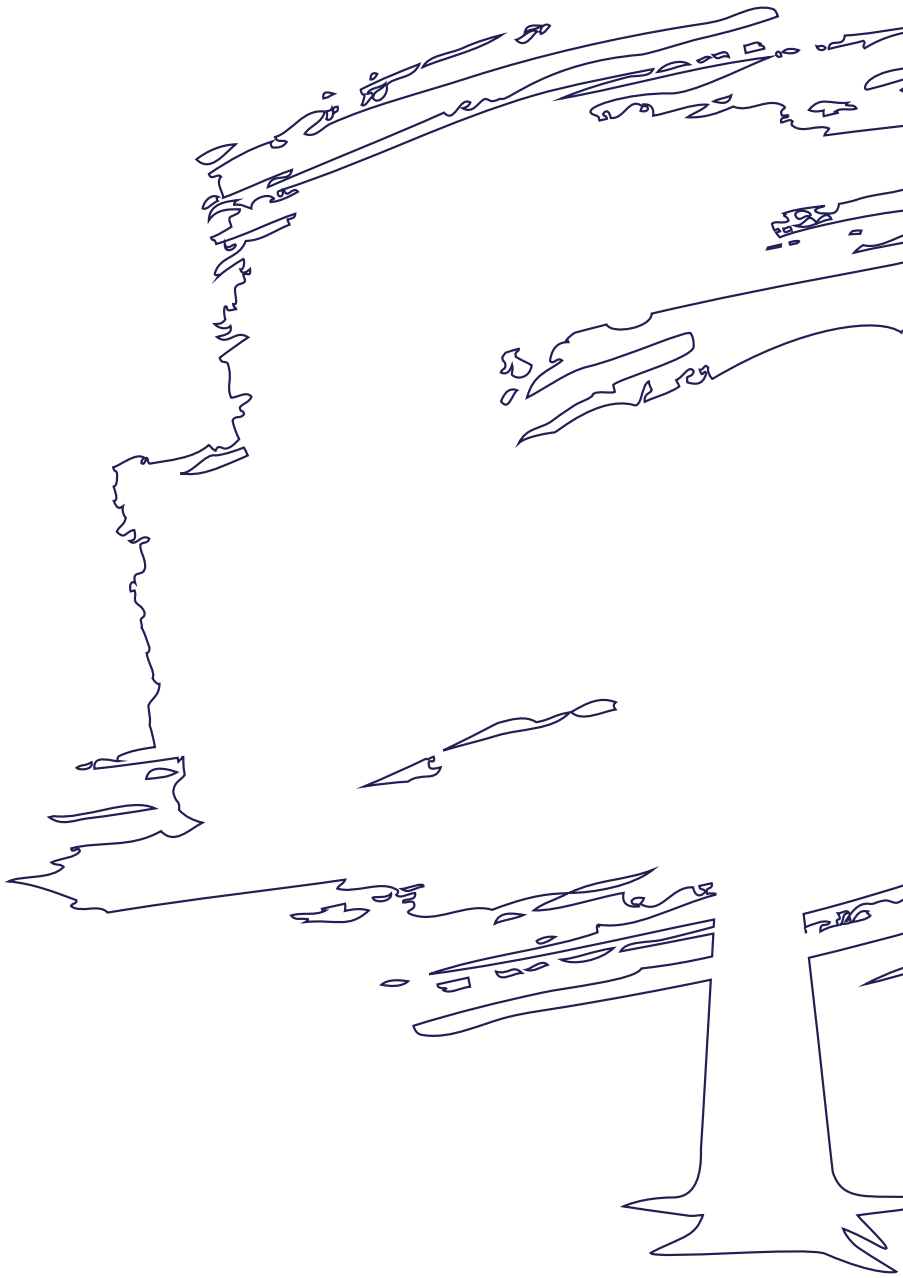
**Wohlleben, P.** 2019. Dotknij, poczuj, zobacz. Wydawnictwo Otwarte, Kraków




Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego



Instytut Drzewa Sp. z o.o.
www.instytut-drzewa.pl
tel.: 789-032-424, e-mail: biuro@instytut-drzewa.pl

© Copyright Instytut Drzewa Sp. z o.o.
Wrocław 2021

Projekt realizowany przy wsparciu finansowym Komisji Europejskiej w ramach Programu Erasmus+:
Partnerstwa strategiczne w obszarze edukacji i kształcenia zawodowego