

**Załącznik 3**

**AUTOREFERAT**

**Urszula Zofia Zajązkowska**

**Wydział Leśny**

**Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**

**Warszawa 2017**

**1. IMIĘ I NAZWISKO**

Urszula Zofia Zajączkowska

**2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE Z PODANIEM NAZWY, MIEJSCA I ROKU ICH UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

27.02.2002. **Magister inżynier leśnictwa**

Wydział Leśny Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

23.11.2004. **Doktor nauk leśnych w zakresie leśnictwa**

Wydział Leśny Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Promotor: dr hab. Jacek Zakrzewski

Tytuł rozprawy: Regeneracja pnia sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) po zranieniu

**Dodatkowe wykształcenie**

2004-2006 Akademia Filmu i Telewizji w Warszawie; ukończone studia na kierunku montaż

**3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH**

W latach 2002-2004 - realizacja pracy doktorskiej w ramach Stacjonarnych Studiów Doktoranckich, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Leśny, Katedra Botaniki Leśnej

Od grudnia 2004 roku jestem pracownikiem Wydziału Leśnego Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie:

2004-2005 asystent w Katedrze Botaniki Leśnej

2005-2010 adiunkt w Katedrze Botaniki Leśnej

od 2010 r. adiunkt w Samodzielnym Zakładzie Botaniki Leśnej

**4. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIE BĘDĄCE PODSTAWĄ UBIEGANIA SIĘ O STOPIEŃ DOKTORA HABILITOWANEGO WYNIKAJĄCE Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003 R. O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI (DZ. U. NR 65, POZ. 595 ZE ZM.)**

a) Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

**Tworzenie drewna reakcyjnego w czasie odpowiedzi grawitropicznej pni młodych drzew świerka pospolitego *Picea abies* (L.) Karst.**

b) (autorzy, tytuł publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa)

**Zajączkowska U., Lundqvist S-O., Bujalski M.**

**Reaction wood formation during stem gravitropic response of young *Picea abies* (L.) Karst. trees.**

**2016**

**Wydawnictwo SGGW**

**ss. 112**

### **c) Omówienie celu naukowego ww. pracy zgłoszonej do postępowania habilitacyjnego i osiągniętych wyników**

Drzewa, mają zdolność do zmiany orientacji przestrzennej pnia głównego i gałęzi bocznych dzięki możliwości tworzenia tzw. drewna reakcyjnego, które występuje zarówno u drzew iglastych jak i liściastych, a jego działanie polega na wytworzeniu specyficznej asymetrii wymiarów, geometrii i naprężeń w strukturach anatomicznych organu. Między drzewami iglastymi i liściastymi istnieje zasadnicza różnica zarówno w strukturze drewna reakcyjnego jak i w sposobie jego działania. Drzewa iglaste tworzą tzw. drewno kompresyjne, które generuje naprężenia ściskające wzdłuż osi organu i występuje zwykle po stronie spodniej pochylonego pnia lub gałęzi bocznych. Odwrotnie funkcjonuje, występujące u drzew liściastych tzw. drewno tensyjne, które wywołuje naprężenia rozciągające i tworzone jest po stronie górnej reorientującego się organu.

Problematyka tworzenia się drewna reakcyjnego od ponad 100 lat była przedmiotem szczególnego zainteresowania zarówno biologów, leśników jak i technologów drewna. Należy także podkreślić, że występujące w pniach drzew drewno wtórne, wraz tkanką kambialną oraz wtórnym floemem, stanowi również unikatowy model do badań podstawowych mechanizmów regulacji procesów wzrostu i różnicowania roślin. Dzięki dużym rozmiarom drzew i stosunkowo wysokiej jednorodności tych tkanek stwarzają one możliwość poznania mechanizmów przekazu sygnałów morfogenetycznych oraz procesów transportowych na duże odległości a także pozwalają na badanie efektów biomechanicznych związanych z dużą, sięgającą czasem wielu ton, masą organów. Szczegółowe studia tych aspektów biologii roślin w eksperymentach z roślinami zielnymi, w tym także na powszechnie przyjętym na świecie modelu *Arabidopsis*, są znacznie utrudnione a często praktycznie niemożliwe.

Na temat struktury tego typu drewna kompresyjnego oraz fizjologicznych i biofizycznych mechanizmów kontrolujących proces tworzenia się tej tkanki istnieje bardzo obszerna literatura, w tym obok prac oryginalnych również liczne monografie i artykuły przeglądowe. Literatura przedmiotu dostarcza wielu danych wskazujących, że drewno kompresyjne różni się od drewna normalnego różnymi parametrami elementów strukturalnych. Jest jednak powszechnie wiadomo, że zmiany szeregu parametrów cewek zachodzą także w drewnie normalnym podczas ontogenezy drzewa i są one szczególnie wyraźne we wczesnym okresie życia w czasie tworzenia tzw. drewna juwenilnego. Dotyczą ona zarówno cech morfologicznych jak np. średnica cewek czy grubość ściany komórkowej a także parametrów fizycznych jak np. gęstość drewna czy jego cechy związane z wytrzymałością materiału. Cechy drewna juwenilnego wskazują, że jest ono tkanką o znacznej zmienności cech ściany komórkowej oraz geometrii słoików. Mimo to istnieje szereg nowych teorii dotyczących drewna reakcyjnego u drzew dojrzałych, powstałych na podstawie eksperymentów na jednorocznych siewkach lub kilkuletnich gałęziach bocznych.

Celem pracy było zbadanie zmian w strukturze anatomicznej drewna podczas reorientacji pnia głównego w eksperymencie z pochylonymi młodymi drzewami świerka pospolitego, z wykorzystaniem unikatowej aparatury SilviScan, znajdującej się w Innventia, Wood and Fibre Measurement Centre, Stockholm. Aparatura ta pozwala na równoczesny pomiar następujących parametrów: średnica i grubość ścian komórkowych kolejno tworzonych w

kierunku promieniowym cewek, gęstość drewna, kąt mikrofibryli celulozy (MFA) oraz moduł elastyczności (MOE).

Badania terenowe wykonano w Arboretum SGGW w Rogowie, gdzie założono doświadczenie na siedmioletnich drzewach świerka pospolitego [*Picea abies* (L) Karst.], posadzonymi ukośnie (pod kątem ok. 45 stopni) dla zaindukowania tworzenia drewna kompresyjnego, w procesie reakcji grawitropicznej, prowadzącej do reorientacji pnia głównego do pozycji pionowej. Po upływie 5-letniego okresu doświadczenia, górne partie pnia przyjęły orientację pionową, a pochylona pozostała jedynie dolna część pnia znajdująca się u podstawy w pobliżu gleby. Do analiz struktury drewna pobrano próbki w postaci dysków wyciętych z trzech regionów pnia: (a) z pochylonej części dolnej, (b) ze strefy przejściowej oraz (c) z części górnej, która po 5 latach przyjęła pozycję pionową. W badaniach analizowano strukturę drewna, na podstawie pomiarów przy użyciu aparatury SilviScan (Innventia) oraz wykonanych w laboratorium Samodzielnego Zakładu Botaniki Leśnej SGGW w Warszawie, pomiarów pod mikroskopem optycznym, które analizowano standardowymi technikami przy zastosowaniu programów WinDENDRO i WinCELL

Obserwacje mikroskopowe wykazały, że reakcja grawitropiczna pnia i procesie reorientacji młodych drzew świerka pospolitego wiąże się z tworzeniem drewna o charakterze drewna reakcyjnego, które jednak nie zawsze przejawia się typową dla drewna kompresyjnego wyraźną asymetrią słoju i ciemniejszą barwą drewna po spodniej stronie pnia i charakterystycznymi dla drewna reakcyjnego szerokimi warstwami grubościennych cewek o okrągłych kształtach na przekroju poprzecznym. W szeregu przypadkach drewno to występuje w postaci stycznych warstw o szerokości kilku komórek, którym może też towarzyszyć tworzenie traumatycznych przewodów żywicznych a także występowanie pojedynczych cewek o dużym świetle.

Zastosowanie techniki SilviScan do pomiarów parametrów drewna badanych drzew pozwoliło na zaprezentowanie unikatowego materiału empirycznego, dotyczącego zmian parametrów anatomicznych i biofizycznych komórek drewna tworzonych kolejno w rocznych słojach w okresie 5-lat reorientacji pochylonych pni świerka. Uzyskane dane dotyczyły parametrów jak: średnica cewek, grubość ścian komórkowych, MFA, MOE i gęstość drewna. W przypadku trzech ostatnich parametrów jest to pierwszy tak szczegółowy zapis ich podczas reakcji grawitropicznej drzewa. Równoległe badanie parametrów anatomicznych i biofizycznych kolejno tworzonych cewek pozwoliło również na określenie współczynników korelacji między mierzonymi cechami. Stwierdzono, że największe wartości dodatnie współczynnika korelacji wystąpiły między grubością ściany a MOE (od 0,615 do 0,952) oraz między gęstością drewna a MOE (od 0,470 do 0,932). Współczynniki korelacji między grubością ściany komórkowej i średnicą promieniową cewek przyjmowały wartości ujemne i zawierały się w przedziale od -0,436 do -0,806. Ujemne wartości współczynników korelacji zanotowano także między średnicą promieniową cewek a gęstością drewna (od -0,719 do -0,908) i MOE (od -0,105 do -0,775). Stosunkowo silną korelację ujemną uzyskano również, kiedy badano związek między MFA i MOE (od -0,345 do -0,777). W większości przypadków nie stwierdzono wyraźnego związku między MFA a grubością ściany oraz gęstością drewna.

W ciągu pięcioletniego okresu doświadczenia w kolejnych rocznych słojach, wraz z postępującym wiekiem kambium, następowały istotne zmiany różnych parametrów jak szerokość słoja, średnica cewek, grubość ścian komórkowych, MFA a także takich cech fizycznych jak MOE czy gęstość drewna. W badanym okresie następowało zwiększenie szerokości kolejnych rocznych słoju drewna, któremu towarzyszyło zwiększanie się średnicy promieniowej cewek, natomiast grubość ściany komórkowej nie wykazywała

wyraźnych zmian. W wyniku tych procesów następowało zmniejszanie się gęstości drewna. Wraz z postępującym wiekiem kambium obserwowano także różnice w wielkości kąta mikrofibryli oraz wartości modułu elastyczności, szczególnie w górnych partiach pnia. Porównanie cech struktury drewna w tych samych słojach rocznych, z dolnej i górnej strony pochylonego pnia wskazuje, że reakcji grawitropicznej towarzyszyło zwiększenie wartości MFA z dolnej strony pochylonego pnia, gdzie tworzyło się drewno kompresyjne. Najmniejsze wartości MFA notowano natomiast w części górnej, odpowiadającej strefie tzw. drewna naprzeciwległego. Zwiększonym wartościom MFA towarzyszyły obniżone wielkości MOE.

Analiza parametrów drewna na różnych wysokościach pnia wskazuje, że w drewnie młodocianym świerka największe wartości MFA występują u podstawy pnia a najmniejsze w części wierzchołkowej. Wraz z obniżaniem się wielkości MFA zwiększają się wartości MOE. Zmianom tym towarzyszy zwiększanie się sztywności pnia, której wskaźnikiem są wyższe wartości gęstości drewna, które związane są z większą grubością ściany komórkowej i mniejszą średnicą cewek. Wyniki te pozwalają sądzić, że dzięki zróżnicowaniu procesów ksylogenezy w obrębie pnia głównego, wraz ze wzrostem młodych drzew świerka utrzymywana jest wysoka elastyczność części wierzchołkowej pnia, ułatwiająca reakcję drzewa na zmienne warunki środowiska (np. wiatr), przy równoczesnym zachowaniu wysokiej sztywności pnia w części bazalnej, zwiększającej wytrzymałość na rosnący ciężar całego drzewa.

Otrzymane w pracy wyniki wskazują, że juwenilne drewno reakcyjne świerka cechuje wysoka zmienność cech anatomicznych i biofizycznych a obserwowane za pośrednictwem mikroskopii świetlnej cechy kolistości cewek, widoczne na przekroju poprzecznym, nie zawsze można uznać za podstawową cechę różnicującą drewno reakcyjne od drewna normalnego. Ważnym parametrem anatomicznym cewek, wykazującym w czasie reakcji grawitropicznej wyraźne zróżnicowanie między spodnią i górną stroną pochylonego pnia jest kąt mikrofibryli. W reakcyjnym drewnie juwenilnym cechą charakterystyczną jest występowanie zarówno zaokrąglonych w przekroju cewek o wysokiej wartości MFA, jak i czworobocznych również o wysokim kącie MFA. Należy jednak pamiętać, że w kolejno tworzonych rocznych słojach drewna młodocianego następują dynamiczne zmiany nie tylko takich parametrów jak szerokość słoja, średnica cewek, grubość ścian komórkowych, MOE czy gęstość drewna, lecz także i MFA. W przypadku pochylonych pni zmiany te dotyczą zarówno spodniej jak i górnej strony pnia, a także kierunków bocznych. W związku z tym jakiegokolwiek kryteria wyróżniania drewna reakcyjnego nie mogą opierać się na ocenie bezwzględnych wartości tej cechy, ale zawsze na podstawie ich zróżnicowania na obwodzie pnia w danym słoju rocznym na danej wysokości pnia.

Stosowane dotychczas zazwyczaj w badaniach struktury drewna pni drzew techniki mikroskopowe z zastosowaniem programów WinDENDRO i WinCELL pozwalają na uzyskanie, ze zbliżoną do SilviScan dokładnością, danych odnoszących się do szerokości słoików oraz takich parametrów anatomicznych jak grubość ściany czy średnica cewek. Techniki te nie pozwalają jednak na badanie w kolejno tworzonych cewkach tak istotnych dla funkcjonowania pnia biomechaniki drzewa parametrów jak MFA, MOE czy gęstość drewna.

Otrzymane w niniejszej pracy wyniki wskazują również, że technologia SilviScan, pozwalająca na bardzo precyzyjne pomiary różnych parametrów anatomicznych i fizycznych na tych samych cewkach tworzonych kolejno w słoju rocznym, stwarza także zupełnie nowe możliwości do badań fizjologicznych i biomechanicznych mechanizmów wzrostu oraz reakcji drzew leśnych na zmienne warunki środowiska w ciągu całego życia.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych (artystycznych)**

### **Przebieg mojej pracy naukowej (omówienie osiągnięć naukowo-badawczych innych niż te wskazane jako podstawa ubiegania się o stopień doktora habilitowanego)**

#### **Przed doktoratem**

W 1997 r. rozpoczęłam studia na Wydziale Leśnym Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Pracą naukową zainteresowałam się już na pierwszym roku studiów, biorąc aktywny udział w pracach Sekcji Botaniki Leśnej Koła Naukowego Leśników oraz uczestnicząc w dwóch obozach naukowych. Badania do pracy magisterskiej, którą wykonywałam w Katedrze Botaniki Leśnej, rozpoczęłam na trzecim roku studiów. Dotyczyły one problematyki transportu wody w pniach drzew. Badania te wykonałam na pniach kilkudziesięcioletnich drzewach sosny zwyczajnej, wykorzystując tzw. metodę TDP - sondy rozproszenia cieplnego. Wyniki pracy opublikowałam w Folia Forestalia Polonica (2003) [Zał. IID 2]. Ponadto w Sylwaniu (2003) [Zał. IIA 1] ukazała się moja praca przeglądowa, dotycząca cieplnych metod badania przepływu wody w pniach roślin drzewiastych.

Bezpośrednio po obronie pracy magisterskiej w lutym 2002 r. kontynuowałam studia w ramach stacjonarnych studiów doktoranckich na Wydziale Leśnym SGGW. Pracę doktorską, podobnie jak pracę magisterską, wykonałam w Katedrze Botaniki Leśnej. Rozprawa doktorska dotyczyła zagadnień związanych z regeneracją pni drzew po zranieniu. Obrona rozprawy odbyła w listopadzie 2004r., a praca doktorska została wyróżniona przez Radę Wydziału Leśnego. Efektem tej pracy był m.in. mój artykuł przeglądowy opublikowany w Sylwaniu (2006) [Zał. IIA 2] oraz referat plakatu na międzynarodowej konferencji Cost-E50 w 2006 r. [Zał. IIIB 1]. Wyniki badań referowałam także na posiedzeniu Komitetu Botaniki PAN (2005r.) Bliższa informacja o uzyskanych wynikach i ich publikacji w IAWA Journal przedstawiona jest w dalszej części autoreferatu (dotyczącego obszaru tematycznego „Procesy regeneracji tkanek i komórek u drzew leśnych”).

#### **Po doktoracie**

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk leśnych, w grudniu 2004 r. zostałam zatrudniona na stanowisku asystenta w Katedrze Botaniki Leśnej na Wydziale Leśnym SGGW w Warszawie, a od grudnia 2005 do chwili obecnej pracuję w tej samej jednostce (od 2010 r. przemianowanej na Samodzielny Zakład Botaniki Leśnej) na stanowisku adiunkta.

W tym okresie byłam zaangażowana w realizację projektu badawczego finansowanego przez Komitet Badań Naukowych jako kierownik i główny wykonawca, oraz jednego grantu międzynarodowego finansowanego w z funduszy Trees4Future w ramach 7 Programu Ramowego Unii Europejskiej.

Moja aktywność naukowa w latach 2004-2017 dotyczyła problematyki morfogenezy i biofizyki roślin leśnych. Skupiła się ona na następujących obszarach tematycznych:

1. Procesy regeneracji tkanek i komórek u drzew leśnych;
2. Reakcje roślin na czynniki fizyczne ze szczególnym uwzględnieniem grawitacji;
3. Biomechaniczne aspekty funkcjonowania mchów i skrzypów.

Prowadzone przeze mnie badania miały charakter kompleksowy i interdyscyplinarny, z wykorzystaniem metod optycznej i elektronowej mikroskopii, analitycznych technik komputerowych do analizy cyfrowych obrazów mikroskopowych, technik analizy wzrostu i ruchów roślin metodą filmów poklatkowych (z wykorzystaniem m.in. super szybkich kamer

filmowych), zróżnicowanych technik stosowanych w badaniach mechaniki materiałów m.in. z użyciem m.in. standardowych maszyn wytrzymałościowych, indentera, tuneli aerodynamicznych a także metod modelowania matematycznego.

Część moich badań realizowałam samodzielnie w macierzystej jednostce na Wydziale Leśnym SGGW, w której m.in. zorganizowałam od podstaw laboratorium do badań procesów wzrostu i ruchów roślin metodą filmów poklatkowych. Ze względu na kompleksowy charakter szeregu prac i konieczność zastosowania w nich wyspecjalizowanej aparatury stosowanej w badaniach biofizycznych, do realizacji konkretnych zadań organizowałam zespoły badawcze, do których zapraszałam naukowców dysponujących odpowiednimi pracownikami i wyspecjalizowanym sprzętem laboratoryjnym. W realizacji tych zadań, jako współautorzy, uczestniczyli zarówno pracownicy z innych wydziałów SGGW (Wydział Technologii Drewna, Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Wydział Zastosowań Matematyki) jak też innych instytucji naukowych (Instytut Mikromechaniki i Fotoniki, Wydział Mechatroniki, Politechniki Warszawskiej; Zakład Aerodynamiki, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej; Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej Wydział Mechaniczny Technologiczny Politechniki Śląskiej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN). Podczas realizacji badań korzystałam również z konsultacji z wybitnymi specjalistami zagranicznymi jak np., prof. Karl.J. Niklas Cornell University, prof. Steven Vogel (zmarły w 2015 r.) Duke University, Sherwin Carlquist University of California czy prof. Peter W. Barlow (zmarły w styczniu 2017 ) University of Bristol.

Wyniki tych prac zostały przedstawione w 12 publikacjach naukowych. Jedenaście z tych prac ukazało się w czasopismach z JCR, w tym 8 prac oryginalnych w takich międzynarodowych czasopismach jak *Planta* (3), *IAWA (International Association of Plant Anatomists) Journal* (2), *Plant Biology* (1), *Holzforschung* (1) oraz polskim czasopiśmie *Sylwan* (1). W *Sylwanie* ukazały się ponadto trzy moje prace charakterze przeglądowym. Jedna praca przeglądowa, dotycząca tkanki korkowej [Zał. IIID 1], ukazała się w formie rozdziału w, *Encyclopedia of Life Sciences*, wydawanej przez wydawnictwo John Wiley & Sons, Ltd. Publikację tę przygotowałam na zaproszenie redaktora działu nauk o roślinach tej wielotomowej encyklopedii. Spośród powyższych 12 pozycji bibliograficznych, 6 prac opublikowałam samodzielnie, a w pozostałych 6 pracach jestem pierwszym autorem. We wszystkich publikacjach współautorskich byłam inicjatorką proponowanych badań, pomysłodawcą zastosowanych metod, wykonawcą lub współwykonawcą prac laboratoryjnych, główną osobą przygotowującą manuskrypty oraz tzw. autorem korespondencyjnym. Mój udział w tych publikacjach szacuję w przedziale od 70 do 90 procent.

Główną myślą przewodnią w moich badaniach, realizowanych głównie na gatunkach dziko rosnących roślin leśnych, była próba opisu obserwowanych zjawisk rozwojowych w aspekcie procesów porządkowania struktur komórkowych i uzyskiwania przez układy roślinne optymalnych form, które są najbardziej efektywne z punktu widzenia biomechaniki oraz minimalizacji nakładu energii utrzymanie systemu roślinnego.

Poniżej przedstawiam najważniejsze wyniki badań, w odniesieniu do trzech wymienionych powyżej obszarów badawczych

## Procesy regeneracji tkanek i komórek u drzew leśnych

Problematyką tą zajęłam się już w okresie realizacji mojej pracy doktorskiej, której wyniki, uzupełnione potem przez dodatkowe badania związane z nowymi metodami komputerowej analizy obrazu, zostały opublikowane po uzyskaniu stopnia naukowego doktora w IAWA Journal (2014) [(Zał. IIA 6)]. Badania te przeprowadzone zostały na starych 110-letnich drzewach sosny zwyczajnej, rosnących w drzewostanie. Pnie tych drzew zostały przypadkowo uszkodzone mechanicznie przed 30-laty, w czasie wykonywania prac konstrukcyjnych związanych z budową ośrodka wypoczynkowego. Proces zarastania ran w 30-letnim okresie od momentu uszkodzenia badano na podstawie zmian powierzchni warstwy kambialnej w kolejnych latach. Warstwę tę identyfikowano przez określenie geometrii rocznych słoików na przekrojach poprzecznych kolejnych wyrzynków drewna pnia obejmujących cały obszar zranienia (ok. 40-100cm długości pnia). Zmiany powierzchni kambium przedstawiano następnie w formie trójwymiarowych modeli, skonstruowanych z użyciem, stosowanych w geodezji programów komputerowych ArcGIS oraz Surfer. Analiza tych danych pozwalała stwierdzić, że na podłużne zranienie pnia, drzewa reagowały przez zwiększenie aktywności kambialnej blisko powierzchni zranienia. Efektem tego było wytworzenie się podłużnych narośli drewna, które stopniowo pokrywały powierzchnię zranienia. Badania anatomiczne wykazały, że w bezpośredniej odległości od brzegu rany występują zakłócenia procesu tworzenia rocznych słoików drewna. Na przekrojach poprzecznych przejawiało się to m.in. ukośną orientacją promieni drzewnych w stosunku do granicy słoika. W pobliżu miejsca fuzji warstw drewna, tworzonych z przeciwległych stron rany, występowały regiony, w których pojawiały się nieregularnie ukierunkowane komórki drewna o zmiennych kształtach. W celu zbadania stopnia uporządkowania komórek w tym rejonie zastosowano technikę komputerowej analizy obrazu z wykorzystaniem tzw. tensora struktury. Metodę tę, używaną wcześniej w badaniach z zakresu medycyny, zastosowałam po raz pierwszy do analizy tkanek roślinnych. Wykonane tą metodą pomiary kierunków położenia osi komórek zilustrowano następnie na barwnych mapach regenerującej tkanki drzewnej, na których wyraźnie widać, że orientacja cewek drewna w stosunku do osi pnia zawierała się w granicach od 0 do 90 stopni, a w niektórych regionach układ cewek przyjmował orientacje kolistą. Opisano także występowanie cewek o zakrzywionych i często rozgałęzionych kształtach. Analiza struktury nowotworzonego drewna wykazała również, że w pierwszych latach po zranieniu drewno ma charakter zbliżony do drewna juvenilnego. Charakterystyczne jest to, że ten typ drewna tworzył się w tych regionach narośli, gdzie występował mały promień krzywizny kambium. Pozwoliło to na wysunięcie hipotezy, że zmiany geometrii kambium mogą mieć istotne znaczenie w przejściu od tworzenia drewna juvenilnego do drewna dojrzałego.

Uzyskane w tych badaniach wyniki wskazują, że w przypadku głębokich ran w pniach drzew wzrost adaptacyjny jest analogiczny do tego, jaki obserwuje się w naturze, gdy nieożywiony obiekt styka się bocznie z rosnącym pniem drzewa. Otrzymane wyniki pozwalają też sądzić, że intensywny wzrost i akumulacja nowotworzonej tkanki w podłużnych zgrubieniach przy brzegach rany, wydaje się być najbardziej efektywnym mechanizmem w regeneracji pnia drzewa dla przywrócenia jego funkcji biomechanicznych i transportowych. Można go uznać za ilustrację, opisanego początkowo dla procesu regeneracji kości ssaków, prawa Wollfa, które stwierdza, że nowy materiał odkładany jest w sposób zróżnicowany w specyficznych regionach organu w zależności od rozkładu naprężeń, co wskazuje, że kształt rosnącego organu podąża za jego funkcją.



Badania nad procesami regeneracji drzew kontynuowałam na przykładzie zarastających pniaków daglezi. Zjawisko to opisywane było już przed ok. 100 laty, jednak w dalszym ciągu stanowi ono unikatowy model nad procesami regeneracji i tworzenia się drewna a u drzew. Uważa się, że proces ten związany jest komunikacją między sąsiadującymi drzewami za pośrednictwem zrosniętych systemów korzeniowych. Ciągle jeszcze nieznany pozostaje fizjologiczny mechanizm tworzenia się rocznych słoików drewna w ściętym pniaku. Ogólnie uważa się bowiem, że zjawisko to kontrolowane jest za pośrednictwem auksyny, której źródłem są zazwyczaj rozwijające się wierzchołki pędów i młode rosnące liście, a transport tego hormonu jest polarny. Można więc sądzić, że przypadku zarastających się systemów korzeniowych, transport tego hormonu musiałby tracić polarność i się odbywać w przeciwnych kierunkach u sąsiadujących drzew.

Większość dotychczasowych prac dotyczących zarastania pniaków prowadzona była przy pomocy tradycyjnych metod anatomicznych, a wielu autorów traktowało to zjawisko jako swego rodzaju ciekawostkę botaniczną. Moje badania nad tym procesem przeprowadziłam na materiale zebrany w kilkudziesięcioletnim drzewostanie dagleziowym (*Pseudotsuga menziesii*) w Arboretum SGGW w Rogowie. Analizy wykonałam na zarastających pniakach z drzew ściętych przed ok. 30 laty a wyniki pracy opublikowałam w *Planta* (2014) [Zał. IIA 5]. Badania anatomiczne, wykonane przy pomocy mikroskopu optycznego, wykazały, że na początku procesu zarastania pniaka produkowane są komórki parenchymatyczne tworzące niezorganizowaną tkankę. W okresie późniejszym niektóre komórki zaczynają się organizować w struktury przypominające promienie drzewne. Zastosowanie programu do komputerowej analizy obrazu, wykorzystującego tensor struktury, wykazało, że na tym etapie rozwoju tkanki komórki wykazują duży zakres przedziału wartości orientacji kątowej oraz charakteryzują się niskim stopniem tzw. współczynnika koherencji. Postępowi w procesie różnicowania tkanki towarzyszy tworzenie regionów z cewkami ułożonymi kołowo wokół zawiązków promieni. Równocześnie następuje zwiększanie się zakresu wielkości orientacji kątowej oraz wzrost wartości współczynników koherencji. W najbardziej zaawansowanej fazie rozwoju tkanki, z cewkami ułożonymi równolegle w podłużnych pasmach, wyrażający się wysokim współczynnikiem koherencji, stopień uporządkowania komórek jest największy a komórki wykazują bardzo niewielki zakres zmian orientacji kątowej.

Opracowane tą metodą dane anatomiczne analizowano również w aspekcie teorii funkcjonowania w rozwijających się tkankach pól morfogenetycznych. Analiza ta wskazuje, że obserwowane zawiązki promieni mogą funkcjonować jako tzw. centra organizacyjne pola morfogenetycznego. Tworzenie się wokół promieni tzw. cewek kolistych może być natomiast interpretowane w kategoriach lokalnej rotacji pola, które w dalszych odległościach przekształca się w pole nierotacyjne. Fakt, że obserwowana transformacja układów komórek odbywa się głównie dzięki podziałom antyklinalnym i zwiększonej intensywności wzrostu intruzywnego pozwolił na przedstawienie hipotezy, że dominujący w rozwoju roślin wzrostu symplastyczny komórek odbywa się w rejonie, gdzie pole morfogenetyczne ma charakter nierotacyjny. Natomiast wzrost intruzywny, charakterystyczny m.in., dla procesów tworzenia się drewna wtórnego, może odbywać się głównie w miejscach, gdzie występują lokalne rotacje pola.

Problematyką regeneracji tkanek i różnicowaniem się elementów trachealnych roślin drzewiastych zajmowałam się także w badaniach tworzeniem i różnicowaniem się kalusa na przekrojach poprzecznych izolowanych odcinków pędów wierzby białej (*Salix alba*) (*IAWA Journal*, 2015) [Zał. IIA 7]. Wybór tkanki kalusowej spowodowany był tym, że stanowi ona szczególnie dogodny model do badań samoorganizacji komórek w początkowo niezróżnicowanych tkankach roślinnych. Podobnie jak w pracach poprzednich, w badaniach

tych stosowałam metody anatomiczne z wykorzystaniem mikroskopii optycznej oraz program do komputerowej analizy obrazu wykorzystujący koncepcję tensora struktury. Analiza materiałów mikroskopowych, przy pomocy tego programu, ujawniła występowanie w kalusie regionów o wzorcach komórkowych różniących się stopniem koherencji. Największe wartości tego wskaźnika, wskazujące na wysoki stopień uporządkowania komórek stwierdzono w strefie położonej blisko pierścienia warstwy kambialnej. Różnicowanie się elementów trachealnych występowało głównie w rejonach o wyższym stopniu uporządkowania, jednak pojedyncze komórki trachealne pojawiały się sporadycznie także w miejscach o niskich wartościach współczynnika koherencji. Zastosowanie techniki analizy obrazu pozwoliło również na wyróżnienie, zróżnicowanych pod względem uporządkowania, stref komórek tworzonych przez kambium w pędzie bezpośrednio poniżej powierzchni przecięcia. W początkowym okresie kambium produkowało niezróżnicowane komórki o charakterze parenchymatycznym. Następnie niektóre z tych komórek tworzyły struktury bardziej uporządkowane dając początek promieniom drzewnym. Później kolejno tworzone komórki tworzyły najbardziej uporządkowaną warstwę, przypominającą strukturę normalnego drewna wtórnego wierzby.

### **Reakcje roślin na czynniki środowiska ze szczególnym uwzględnieniem grawitacji**

Powszechnie uważa się, że reakcja grawitropiczna u drzew realizuje się poprzez mechanizm tworzenia drewna reakcyjnego, które u iglastych przyjmuje formę drewna kompresyjnego a u okrytonasiennych drewna tensyjnego. Procesom tym towarzyszą zmiany w ścianach komórkowych elementów trachealnych. W przypadku drewna tensyjnego, występująca w ścianach włókien warstwa żelatynowa jest zaangażowana w wywoływanie naprężeń rozciągających, które przeciwstawiają się działaniom grawitacji. Należy jednak zaznaczyć, że około połowa gatunków drzew okrytonasiennych nie wytwarza włókien żelatynowych, pomimo to również i te drzewa zdolne są do wytwarzania naprężeń rozciągających, umożliwiając reorientację organów do właściwej pozycji. Wiadomo jednak również, że naprężenia rozciągające powstają też w drewnie normalnym, czasie procesu maturacji pochodnych kambium, prowadząc do wytworzenia się tzw. naprężeń wzrostowych. Jednym z wyróżniających się drzew niewytwarzających warstwy żelatynowej jest lipa drobnolistna (*Tilia cordata*). W 1971 r. Böhlmann wysunął hipotezę, że u tego gatunku najbardziej istotna reakcja biomechaniczna związana z grawitropizmem usytuowana jest we floemie. Struktura floemu wtórnego u tego gatunku wyróżnia się w układzie osiowym występowaniem pasm włókien a w układzie promieniowym - dylatujących promieni. Zdaniem Böhlmanna, właśnie dylatacja promieni, powodując naprężanie włókien łykowych, generuje naprężenia rozciągające w gałęziach bocznych. Mimo upływu kilkudziesięciu lat koncepcja Böhlmanna nie była nigdy przedmiotem szczegółowych badań zarówno z punktu widzenia różnicowania tkanek jak i biomechaniki organów. Próbę wyjaśnienia tej hipotezy podjęłam się w pracy opublikowanej w *Holzforschung* (2016) [Zał. IIA 10], w której stosowane były zarówno metody anatomiczne jak i biomechaniczne. Obserwacje anatomiczne prowadzone były przy zastosowaniu technik mikroskopii optycznej i elektronowej a testy biomechaniczne przy użyciu maszyn wytrzymałościowych na Wydziale Technologii Drewna SGGW. Uzyskane wyniki pokazały, że zbudowane z cienkościennych komórek parenchymatycznych, dylatujące promienie floemu są dłuższe i szersze po górnej stronie gałęzi w porównaniu ze stroną dolną, a pasma tkanki korowej, zawierającej wtórny floem, pobrane z górnej strony gałęzi, charakteryzują się większą wartością modułu elastyczności niż pasma ze spodniej strony. Wyniki te mogłyby więc stanowić poparcie dla hipotezy, że naprężenia w uwodnionych komórkach parenchymy promieni mogą powodować styczne rozciąganie

włókien floemu. W wyniku tego mogą powstawać podłużne naprężenia rozciągające, które są większe po górnej stronie gałęzi, a mechanizm taki można by uznać za przykład działania formy biologicznej podobnej do struktury tensegracyjnej, która znajduje zastosowanie w technice. Z drugiej jednak strony prowadzone równolegle badania drewna wtórnego gałęzi ujawniły, że szerszym rocznym słojom drewna po górnej stronie gałęzi towarzyszą większe wartości modułu elastyczności drewna, które wydają się być również istotnymi czynnikami odpowiedzialnymi za reakcję grawitropiczną gałęzi bocznych lipy drobnolistnej.

W literaturze dotyczącej efektów grawitacji na rośliny drzewiaste wyróżnia się zwykle dwa typy reakcji: grawitropizm i grawimorfizm. Grawitropizm oznacza ukierunkowany wzrost w polu grawitacyjnym zgodnie lub przeciwnie w stosunku do zwrotu wektora przyspieszenia grawitacyjnego. Grawimorfizm może natomiast zachodzić na każdym poziomie organizacyjnym i obejmować szereg zjawisk morfologicznych. Za reakcję grawimorficzną uznaje się m.in. aktywację pąków spoczynkowych z górnej strony odginanych pędów i specyficzny, pionowy kierunek wzrostu pędów rozwijających się z tych pąków, przy równoczesnym hamowaniu rozwoju pąków po stronie spodniej. Jak dotychczas nie było opracowań odpowiadających na pytanie czy reakcja grawimorficzna, wyrażająca się określonym typem wzrostu, ma wpływ na późniejszą reakcję grawitropiczną rośliny drzewiastej. Badania takie przeprowadziłam na odcinkach pędów wierzby białej (*Salix alba*) zebranych na początku marca (Sylwan, 2016) [Zał. IIA 9]. W celu zaindukowania reakcji grawimorficznej – aktywacji pąków i pionowego wzrostu nowych pędów – odcinki pędów ułożono ukośnie, w stosunku do poziomu, z końcem bazalnym odcinka umieszczonym w wilgotnym piasku. Odcinki w takiej pozycji hodowano przez 2 tygodnie w rozproszonym świetle w temperaturze pokojowej. Następnie odcinki odwrócono o 150 stopni tak by nowoutworzone wcześniej pędy skierowane były wierzchołkami do dołu zgodnie ze zwrotem wektora przyspieszenia grawitacyjnego i w tych warunkach rośliny hodowane były przez kolejne dwa tygodnie. W tym drugim okresie przebieg wzrostu był rejestrowany metodą filmów poklatkowych. Na podstawie analizy materiału filmowego stwierdzono, że apikalne regiony nowoutworzonych pędów ulegały reorientacji do pozycji pionowej już po upływie ok 7 dni. Procesowi wzrostu wydłużeniowego towarzyszyły ruchy nutacyjne, które ujawniały się dopiero po osiągnięciu przez nowy pęd orientacji pionowej. Nutacjom ulegały jednak tylko wierzchołkowe partie pędów powyżej „ugięcia grawitropicznego”, a region podlegający nutacjom przesuwał się wraz ze wzrostem wydłużeniowym pędu. Badania anatomiczne wykazały, że w czasie reorientacji występowały modyfikacje wielkości i kształtu zarówno rdzenia pędu a także wiązek drewna wtórnego prowadzące m.in. do eliptycznego kształtu pędu na przekroju poprzecznym. W strefie drewna wtórnego obserwowano też rzędy komórek o charakterze drewna tensyjnego.

W ramach tych eksperymentów, przy współpracy z Instytutem Mikromechaniki i Fotoniki, Wydziału Mechatroniki, Politechniki Warszawskiej, wykonałam też wstępne badania metodyczne dotyczące możliwości zastosowania metody 3D cyfrowej korelacji obrazu do określania trajektorii wzrostu roślin. Badania takie wykonano, na podlegającej reakcji grawitropicznej roślinie zielnej - siewkach ogórka (*Cucumis sativus*). Uzyskane wstępne wyniki pozwalają przypuszczać, że wprowadzenie tej nowoczesnej techniki badawczej może ujawnić zupełnie nowe aspekty dotyczące dynamiki i geometrii wzrostu roślin drzewiastych w procesach adaptacji nie tylko do czynnika grawitacji, lecz także do innych warunków środowiskowych.

W ramach tego obszaru tematycznego opublikowałam też dwie prace przeglądowe w Sylwaniu dotyczące optymalizacji kształtu i struktury drzewa wg teorii jednorodnego

rozkładu naprężeń (Sylwan, 2006) [Załącznik II A 3] oraz architektury drzewa w aspekcie biomechaniki i działania auksyny (Sylwan, 2013) [Załącznik II A 4].

W studiach nad reorientacją przestrzenną organów roślinnych, obok roślin drzewiastych, zajęłam się również problematyką ruchów roślin zielnych. U tej grupy roślin istotną rolę w ruchach organów odgrywają naprężenia tkankowe, wynikające z działania ciśnienia hydrostatycznego w komórkach, transformowane w interakcji między strukturami anatomicznymi i procesami fizjologicznymi związanymi z warunkami osmotycznymi. Stres tkankowy jest ważnym czynnikiem, który utrzymuje tkanki, organy i całe ciało na wysokim poziomie energii potencjalnej. Dzięki występowaniu stresu oraz stanu tzw. naprężeń wstępnych, ilość energii niezbędnej dla reakcji ruchowych może być obniżona. W swojej pracy zajęłam się zagadnieniem możliwości zbadania biomechanicznego znaczenia trichomów w ogonkach liściowych. Formy te są bowiem bezpośrednio związane z epidermą, która uważana jest za strukturę odgrywającą istotną rolę w kontroli stresu tkankowego w rosnących organach.

W związku z tym, że w literaturze brak było doniesień na temat biomechanicznego znaczenia trichomów w kontroli ruchów roślin, podjęłam się próby zbadania tego zagadnienia, wybierając jako model badawczy ogonki liściowe dyni (*Cucurbita maxima* 'Bambino') (Planta, 2015) [Załącznik II A 8]. Roślina ta charakteryzuje się dużymi ogonkami liściowymi jak też licznymi gęsto ułożonymi trichomami o zróżnicowanej wielkości, wśród których można wyróżnić małe (0,5 mm długości) trichomy wydzielnicze oraz duże (ok. 3 mm) trichomy niewykazujące charakteru wydzielniczego. W pracy, metodą filmów poklatkowych, badano przebieg reorientacji liścia u roślin ułożonych w pozycji poziomej w eksperymencie, z czterema wariantami dużych trichomów niegruczołkowatych: (1) nietknięte, (2) mechanicznie usunięte z ogonka, (3) odwodnione oraz (4) nietknięte, ale z podłużnie naciętymi ogonkami. Badania biomechaniczne obejmowały testy na zrywanie podłużnych pasm kolenchymy z ogonków liściowych z epidermą nietkniętą (1) oraz usuniętą (2). Ponadto, przy pomocy indentera wykonano testy sztywności ogonka liściowego.

Analiza filmów poklatkowych wykazała, że ogonki liściowe bez trichomów nie ujawniały reakcji tropicznej. Odwodnienie trichomów przy pomocy roztworu soli spowalniało reakcję i nie dopuszczało do pełnej reorientacji liścia, jaką obserwowano w przypadku nietkniętych trichomów zarówno w nieuszkodzonych jak i podłużnie naciętych ogonkach liściowych. W badaniach biomechanicznych izolowanych pasm kolenchymy nie stwierdzono korelacji między wytrzymałością na rozerwanie a miejscem tkanki na ogonku (po stronie adaksjalnej lub abaksjalnej), jednak pasma kolenchymy z nieuszkodzoną epidermą wykazywały znacznie większą wytrzymałość niż pasma kolenchymy z usuniętą perydermą. Testy wykonane przy pomocy indentera wykazały, że nieizolowana z ogonka kolenchyma jest twardsza u podstawy ogonka po stronie abaksjalnej. Zastosowanie, opracowanej przez Matthecka i in. (2007) graficznej metody tzw. *tensile triangle*, wykazało, że trichomy po stronie abaksjalnej ogonka mają bardziej zoptymalizowany, z punktu widzenia biomechanicznego, kształt w porównaniu z trichomami po stronie adaksjalnej. Wykonane przez nas badania pozwoliły na przedstawienie po raz pierwszy w literaturze wniosku, że duże nie wydzielnicze trichomy mogą włączyć w system biomechaniczny rośliny i stanowić dodatkowy rezerwuuar ciśnienia hydrostatycznego, który jest niezbędny dla utrzymania ogonka liściowego w stanie naprężeń wstępnych (prestressed state).

## Biomechaniczne aspekty funkcjonowania mchów i skrzypów

W ramach tej problematyki podjęłam się próby zbadania niektórych parametrów biomechanicznych u tych dwóch grup roślin, charakteryzujących się stosunkowo prostą budową anatomiczną, w aspekcie optymalnego przystosowania do zmiennych warunków środowiskowych, związanych głównie z czynnikami mechanicznymi. Wyniki tych prac opublikowałam w 2017 r. w *Planta* (skrzypy) oraz w *Journal of Plant Biology* (mchy).

Skrzypy uważane są za relikty z okresu Devonu i w związku z tym pozostałych obecnie 15 gatunków jest obiektem szczególnego zainteresowania botaników różnych specjalności. Unikatowym reprezentatem tej grupy roślin jest skrzyp zimowy (*Equisetum hyemale*), dzięki specjalnym właściwościom mechanicznym i stosunkowo prostej budowie. Pęd ma postać nierozgałęzionej kolumny o wysokości do 150 cm, o średnicy u podstawy 4-6 mm. Składa się on z żeberkowanych międzywęźli i węzłów. Międzywęźla różnią się długością wzdłuż pędu: są one najkrótsze u podstawy i w części apikalnej. Tkankę wzmacniającą stanowi sklerenchyma znajdująca się w obwodowej części, natomiast w części środkowej znajduje się kanał powietrzny. Skrzypy, które należą do prymitywnych roślin naczyniowych, nie posiadają zdolności do dynamicznej adaptacji biomechanicznej poprzez tworzenie specjalnych tkanek mechanicznych jak np. drewna reakcyjnego. Dotychczasowe badania morfometryczne i biomechaniczne nie dostarczyły odpowiedzi na pytanie czy zmienność długości międzywęźli oraz ich wytrzymałość zwiększają zdolność pędu do wibracji, która może mieć bardzo istotne znaczenie dla procesu rozsiewania się zarodników znajdujących się w strobilach usytuowanych w apikalnej części pędu.

Celem zainicjowanych przeze mnie badań było sprawdzenie hipotezy, czy kolejność międzywęźli, ich geometria i parametry mechaniczne wpływają na zdolność pędów do wibracji, potencjalnie stymulując uwalnianie się zarodników przy minimalnych wartościach naprężeń wzdłuż pędu (Planta, 2017) [ Zał. IIA 12]. Analizę wibracji wierzchołka przeprowadzono na bazie filmów poklatkowych, (a) pędów *Equisetum hyemale* w tunelu aerodynamicznym oraz (b) pędów wzbudzanych do drgań przez odgięcie od pionu o 20 stopni. Dane te porównano z wibracjami pędu o tej samej długości z usuniętymi trzema najwyższymi międzywęźlami. Eksperymenty w tym zakresie wykonano w Zakładzie Aerodynamiki, Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Ponadto, we współpracy z Instytutem Podstawowych Problemów Techniki PAN, zbadaliśmy także, przy użyciu indentera, parametry mechaniczne kolejnych węzłów i międzywęźli. Następnie stosując metodę elementów skończonych, opracowaliśmy modele, na których symulowano wibracje w wariantach pędów: (a) o takim samym układzie (kolejności) węzłów i międzywęźli jak w naturze, (b) z przemieszаныmi węzłami oraz (c) pędu w formie pojedynczej tuby. Badania modelowe wykazały, że naturalny układ międzywęźli wpływa na częstotliwość i amplitudę wibracji wierzchołka przy zachowaniu optymalnego rozkładu naprężeń w pędzie. Nasze wyniki wskazują więc, że porządek układu międzywęźli oraz inne cechy geometryczne i mechaniczne wpływają na zdolność pędów *Equisetum hyemale* do wibracji, potencjalnie stymulując uwalnianie się zarodników przy optymalnych wartościach naprężeń w pędzie.

Mchy stanowią jedną z najstarszych grup roślin lądowych, które pojawiły się ok. 500 mln lat temu i stanowią jedną z największych grup roślin lądowych. Rośliny te, charakteryzujące się stosunkowo niskim stopniem kontroli utraty wody, zasiedliły niemal wszystkie strefy klimatyczne Ziemi. Większość gatunków mchów żyje w kępach tworząc formy o charakterze klonalnym lub kolonialnym. Mimo że istnieje bardzo obszerna literatura na temat gospodarki wodnej u mchów, to jednak dotychczas brak było eksperymentalnych danych

dokumentujących proces przechwytywania kropeł wody przez pojedyncze pędy i dystrybucji ich do sąsiednich pędów w obrębie kępy. Brak było również badań dotyczących biomechaniki kęp mchów.

W opublikowanej pracy w *Plant Biology* (2017) [Załącznik II A 11] zestawiono wyniki badań dotyczące stosunków wodnych i biomechaniki w kępach, występującego pospolicie w lasach Polski, endohydrycznego mchu *Polytrichastrum formosum*. Prace te połączone były z badaniami anatomicznymi i morfologicznymi wykonanymi przy zastosowaniu mikroskopii optycznej i elektronowej. Badania nad przechwytywaniem kropeł wody i ich rozdzielaniem do sąsiadujących pędów w kępie wykonano w specjalnym, skonstruowanym na Politechnice Warszawskiej, zestawie eksperymentalnym do badań zjawisk kolizji kropeł (droplet collisions phenomena) i ultraszybką kamerą do zdjęć poklatkowych (50 tys. klatek na sekundę).

Wytrzymałość mechaniczną kępy testowano na elektrycznej maszynie wytrzymałościowej na Politechnice Śląskiej w Gliwicach. Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że w czasie nawilżania kępy mchu, padające krople przechwytywane były przez apikalne części pędu lub liście, następnie spływały w dół przylegając do gametoforu, nie tracąc ciągłości powierzchni. W miejscach kontaktu z liśćmi z sąsiednich pędów kropla wody zatrzymuje się "łącząc" liście, umożliwiając w ten sposób ich nawodnienie. Matematyczna analiza obrazów anatomicznych, wykonana we współpracy z Wydziałem Zastosowań Matematyki SGGW, pokazała, że w pędzie mchu na przekroju poprzecznym można wyróżnić strefy komórek różniące się światłem oraz stosunkiem grubość ściany/promień komórki. Układ taki, stanowiący również pewną analogię do słoistej budowy drewna w pniach drzew, przypomina struktury znane w mechanice materiałów jako tzw. „periodic component materials” charakteryzujące się szczególnie wysokimi parametrami wytrzymałościowymi. Badania empiryczne biomechaniki kęp mchów wykazały, że wytrzymałość na ściskanie zależy od wielkości kępy oraz że małe kępy są bardziej odporne na ściskanie niż kępy większe. Zjawisko to jest analogiczne do opisywanego w mechanice konstrukcji zjawiska tzw. „size effect on structural strength”, wyjaśniającego, dlaczego wraz ze wzrostem rozmiarów konstrukcji maleje jej jednostkowa wytrzymałość na obciążenia mechaniczne. Przeprowadzone badania wskazują również, że podczas mechanicznego obciążenia kępy mchu, zachodzące na siebie liście *Polytrichastrum*, posiadające w części apikalnej haczykowate zakończenia, tworzą strukturę podobną, do stosowanych w konstrukcjach budowlanych - kratownic,

Wyniki moich badań, wykonanych w różnych obszarach tematycznych, prezentowałam w formie referatów lub plakatów na 10 krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych oraz 5 referatach wygłoszonych na zaproszenie towarzystw lub instytucji naukowych. Moje osiągnięcia naukowe wyróżniane były nagrodą i dyplomem Rektora SGGW, a także uzyskiwały wyróżnienia Sekcji Struktury i Rozwoju Roślin PTB. Ponadto jeden z moich krótkometrażowych filmów (*Metamorphosis of plants*) na International Science Film Festival SCINEMA (Australia's Science Channel 2016), został wyróżniony jako Best Experimental/ Animated Film.

Od 2004 r. recenzowałam 9 manuskryptów do publikacji w następujących międzynarodowych czasopismach naukowych: *American Journal of Botany* (2), *ACS* (American Chemical Society) *Applied Materials & Interfaces* (1), *New Phytologist* (1), *Scientific Reports-Nature* (1), *PlosOne* (1), *Plant Growth Regulation* (1), *IWA Journal* (2).

Jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Botanicznego (od 2014 r); w 2016 r. zostałam wybrana sekretarzem Sekcji Struktury i Rozwoju Roślin PTB. Od 2013 r. jestem członkiem

International Association of Plant Anatomists (IAWA). W latach 2013-2015 byłam również członkiem Botanical Society of America

Poza działalnością naukową, jako nauczyciel akademicki na Wydziale Leśnym SGGW zaangażowana jestem także w pracę dydaktyczną, którą rozpoczęłam jeszcze w 2002r. będąc słuchaczem stacjonarnych studiów doktoranckich. W okresie mojego zatrudnienia od 2004r. na Wydziale Leśnym prowadziłam ćwiczenia terenowe i kameralne z „Botaniki leśnej” oraz ćwiczenia z „Fizjologii roślin drzewiastych” na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych. Od 2013 r. na studiach stacjonarnych, będąc kierownikiem przedmiotu, prowadzę też wykłady z „Fizjologii roślin drzewiastych” wg autorskiego opracowania merytorycznego zakresu zajęć. Od 2013 r. prowadzę, również wg autorskiego programu, przedmiot fakultatywny – „Dziki rośliny jadalne”. Ponadto od 2013 r., w ramach programu ERASMUS dla studentów obcokrajowców, prowadzę wykłady w języku angielskim z przedmiotu: „Biology of wood formation”, Na Wydziale Biologii SGGW od 2016 r. w ramach zajęć fakultatywnych realizuję także 4-godzinne wykłady z „Analizy obrazu”. Byłam również promotorem 3 prac magisterskich i 5 inżynierskich.

Poza działalnością dydaktyczną ze studentami SGGW biorę także aktywny udział w różnych formach popularyzacji wiedzy przyrodniczej m.in. prowadząc wykłady i warsztaty w ramach Festiwalu Nauki Polskiej oraz Dni SGGW a także Dnia Fascynującego Świata Roślin. W ramach upowszechniania wiedzy przyrodniczej miałam też kilka występów w Radiu i telewizji. Od 2011 r. prowadzę także stronę internetową dotyczącą szeroko pojętej biologii roślin. Strona cieszy się dużą popularnością - ponad 81 tys. wejść; została ona wprowadzona przez Jagiellońską Bibliotekę Cyfrową UJ do bazy wiedzy rejestrującej internetowe źródła informacji z zakresu nauk przyrodniczo-matematycznych.

Poza działalnością naukową, dydaktyczną oraz aktywnością związaną z popularyzacją wiedzy przyrodniczej prowadzę także aktywność o charakterze artystycznym. Jestem m.in. autorką dwóch tomików wierszy („Atomy” – 2014, oraz „Minimum”-2017). Tomik „Atomy” w 2015 r. był nominowany do Wrocławskiej Nagrody Poetyckiej „Silesius” w kategorii debiut oraz uzyskał wyróżnienie XI Ogólnopolskiego Konkursu Literackiego w tej samej kategorii. Jestem również autorką 7 filmów krótkometrażowych, nawiązujących do tematyki przyrodniczej i naukowej. Uczestniczyłam także kilkakrotnie, jako zaproszony gość, w imprezach poetycko-kulturalnych odnoszących się do problematyki związków człowieka ze światem przyrody.

International Association of Plant Anatomists (IAWA). W latach 2013-2015 byłam również członkiem Botanical Society of America

Poza działalnością naukową, jako nauczyciel akademicki na Wydziale Leśnym SGGW zaangażowana jestem także w pracę dydaktyczną, którą rozpoczęłam jeszcze w 2002r. będąc słuchaczem stacjonarnych studiów doktoranckich. W okresie mojego zatrudnienia od 2004r. na Wydziale Leśnym prowadziłam ćwiczenia terenowe i kameralne z „Botaniki leśnej” oraz ćwiczenia z „Fizjologii roślin drzewiastych” na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych. Od 2013 r. na studiach stacjonarnych, będąc kierownikiem przedmiotu, prowadzę też wykłady z „Fizjologii roślin drzewiastych” wg autorskiego opracowania merytorycznego zakresu zajęć. Od 2013 r. prowadzę, również wg autorskiego programu, przedmiot fakultatywny – „Dzikię rośliny jadalne”. Ponadto od 2013 r., w ramach programu ERASMUS dla studentów obcokrajowców, prowadzę wykłady w języku angielskim z przedmiotu: „Biology of wood formation”, Na Wydziale Biologii SGGW od 2016 r. w ramach zajęć fakultatywnych realizuję także 4-godzinne wykłady z „Analizy obrazu”. Byłam również promotorem 3 prac magisterskich i 5 inżynierskich.

Poza działalnością dydaktyczną ze studentami SGGW biorę także aktywny udział w różnych formach popularyzacji wiedzy przyrodniczej m.in. prowadząc wykłady i warsztaty w ramach Festiwalu Nauki Polskiej oraz Dni SGGW a także Dnia Fascynującego Świata Roślin. W ramach upowszechniania wiedzy przyrodniczej miałam też kilka występów w Radiu i telewizji. Od 2011 r. prowadzę także stronę internetową dotyczącą szeroko pojętej biologii roślin. Strona cieszy się dużą popularnością - ponad 81 tys. wejść; została ona wprowadzona przez Jagiellońską Bibliotekę Cyfrową UJ do bazy wiedzy rejestrującej internetowe źródła informacji z zakresu nauk przyrodniczo-matematycznych.

Poza działalnością naukową, dydaktyczną oraz aktywnością związaną z popularyzacją wiedzy przyrodniczej prowadzę także aktywność o charakterze artystycznym. Jestem m.in. autorką dwóch tomików wierszy („Atomy” – 2014, oraz „Minimum”-2017). Tomik „Atomy” w 2015 r. był nominowany do Wrocławskiej Nagrody Poetyckiej „Silesius” w kategorii debiut oraz uzyskał wyróżnienie XI Ogólnopolskiego Konkursu Literackiego w tej samej kategorii. Jestem również autorką 7 filmów krótkometrażowych, nawiązujących do tematyki przyrodniczej i naukowej. Uczestniczyłam także kilkakrotnie, jako zaproszony gość, w imprezach poetycko-kulturalnych odnoszących się do problematyki związków człowieka ze światem przyrody.

*Justyna Zajdrowska*