Załącznik Nr 2
do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego
z dnia 22 października 2018 r.

Dr Magdalena Broda

AUTOREFERAT

prezentujący dorobek i osiągnięcie naukowe

Poznań 2018

Spis treści:

1. **Wykształcenie, uzyskane stopnie naukowe i przebieg pracy zawodowej 3**

1.1. Wykształcenie 3

1.2. Uzyskane stopnie naukowe 3

1.3. Przebieg pracy zawodowej 4

2. **Osiągnięcie naukowe wskazane we wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego 5**

   a) **tytuł osiągnięcia naukowego 5**

   b) **publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego 5**

   c) **omówienie celu naukowego wykonywanych badań i osiągniętych wyników 6**

      c.1. Wprowadzenie 6

      c.2. Cel i zakres pracy 11

      c.3. Omówienie uzyskanych wyników 12

      c.4. Podsumowanie 23

      c.5. Literatura 24

3. **Opis pozostałych osiągnięć naukowych i zainteresowań badawczych innych niż wskazane we wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego 29**

4. **Sumaryczny dorobek publikacyjny i wynalazczy 32**

   Tabela 1. Sumaryczny wykaz publikacji podsumowujący dorobek publikacyjny przed uzyskaniem stopnia doktora 32

   Tabela 2. Sumaryczny wykaz publikacji podsumowujący dorobek publikacyjny po uzyskaniu stopnia doktora 32

   Tabela 3. Sumaryczny wykaz publikacji podsumowujący dorobek publikacyjny dotyczący prezentowanego osiągnięcia naukowego 33

   Tabela 4. Sumaryczny wykaz osiągnięć w pracy naukowo-badawczej 34

1. **Wykształcenie, uzyskane stopnie naukowe i przebieg pracy zawodowej**

1.1. Wykształcenie

2011-2012	Studia Podyplomowe „Zarządzanie Projektami i Procesami Biznesowymi” na Politechnice Poznańskiej
2007-2008	Studia Podyplomowe „Informatyka i Techniki Internetu: edycja e-biznes” na Politechnice Warszawskiej
1999-2005	Instytut Chemii Bioorganicznej Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu – stacjonarne studia doktoranckie
1997-1999	Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii, studia magisterskie dzienne – kontynuacja, kierunek: biotechnologia
1994-1997	Uniwersytet Wrocławski we Wrocławiu, Wydział Biologii, studia magisterskie dzienne, kierunek: biotechnologia
1990-1994	Liceum Ogólnokształcące nr 2 w Kędzierzynie – Koźlu, profil matematyczno-fizycznym

1.2. Uzyskane stopnie naukowe

2005 doktor nauk chemicznych w zakresie biochemii - uchwała Rady Naukowej Instytutu Chemii Bioorganicznej Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu z dnia 9 marca 2005 r.

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Właściwości termodynamiczne i strukturalne oligorybonukleotydów utworzonych przez powtórzenia typu CXG, skorelowane z wieloma schorzeniami neurologicznymi”

Promotor: prof. dr hab. Ryszard Kierzek

Recenzenci: prof. dr hab. Włodzimierz Krzyżosiak, dr hab. Artur Jarmołowski

1999 magister biotechnologii - Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii, 20 maja 1999 r.

Tytuł pracy magisterskiej: „Ustalenie sekwencji fragmentu RNA 1 izolatu 145W wirusa karłowatości drzew pestkowych (PDV)”

Promotor: prof. dr hab. Jacek Augustyniak

1.3. Przebieg pracy zawodowej

2013-obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu (Wydział Technologii Drewna, Instytut Chemicznej Technologii Drewna) – adiunkt; wykonawca oraz administrator projektu pt.: „Superior bio-friendly systems for enhanced wood durability" (No. Pol-Nor/203119/32, DURAWOOD) finansowanego w ramach Polsko-Norweskiej Współpracy Badawczej , supported by Norway Grants and the National Centre for Research and Development of Poland (NCRD) as a part of Polish-Norwegian Research Programme) oraz projektu pt.: „Dziedzictwo kulturowe – poszukiwanie nowoczesnych środków i metod konserwacji drewna zabytkowego" (umowa nr 0037/NPRH4/H2b/83/2016) finansowanego przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach „Narodowego Programu Rozwoju Humanistyki".

2010-2013 NetImage w Warszawie – copywriter, specjalista ds. pozycjonowania stron internetowych i marketingu.

2007-2010 Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu (Katedra Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności) – kierownik i główny wykonawca projektu badawczego w ramach konkursu POL-POSTDOC III (praca w laboratorium mikrobiologicznym), pracownik administracyjny w projekcie współfinansowanym ze środków Unii Europejskiej „Biotechnologiczna konwersja glicerolu do polioli kwasów dikarboksylowych" (przygotowanie harmonogramów finansowych, umów i dokumentów związanych z przetargami, wypłacaniem wynagrodzeń, kontrola wydatków w projekcie i inne prace administracyjne).

2005-2007 Sklep internetowy Esentia.pl – przygotowywanie oferty produktowej, marketing internetowy.

2005-2015 Własny sklep internetowy z artykułami dla dzieci www.kolorowemarzenia.pl (nawiązywanie kontaktów handlowych z producentami, marketing, sprzedaż, kontakt z klientami).

1999-2005 Instytut Chemii Bioorganicznej Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu – pracownik naukowy/doktorant. Realizacja i przygotowanie

merytoryczne projektów naukowo-badawczych, praca w laboratorium badawczym z wykorzystaniem technik genetyki molekularnej (Zakład Biochemii RNA, Pracownia Genetyki Nowotworów).

2. **Osiągnięcie naukowe wskazane we wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego**

Moim osiągnięciem naukowym, stanowiącym podstawę wniosku habilitacyjnego zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dn. 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami), jest cykl 5 powiązanych tematycznie publikacji (w tym 1 praca monoautorska; jestem pierwszym autorem wszystkich przedstawionych publikacji) o łącznej sumie punktów MNiSW 135 oraz sumarycznym IF wg bazy Journal Citation Reports (JCR) 12,242 (zgodnie z rokiem opublikowania).

a) tytuł osiągnięcia naukowego

Związki krzemoorganiczne w konserwacji mokrego drewna archeologicznego

b) cykl powiązanych tematycznie publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

1. **Broda M.** (2018): Biological effectiveness of archaeological oak wood treated with methyltrimethoxysilane and PEG against brown-rot fungi and moulds. International Biodegradation & Biodeterioration 134, 110-116, DOI: 10.1016/j.ibiod.2018.09.001 (30 pkt., IF= 3,562)

2. **Broda M.**, Mazela B., Dutkiewicz A. (2018): Organosilicon compounds with various active groups as consolidants for the preservation of waterlogged archaeological wood. Journal of Cultural Heritage, przyjęte do druku, DOI: 10.1016/j.culher.2018.06.006 (25 pkt., IF= 1,706)

3. **Broda M.**, Majka J., Olek W., Mazela B. (2018): Dimensional Stability and Hygroscopic Properties of Waterlogged Wood Treated with Alkoxysilanes. International Biodegradation & Biodeterioration 133, 34–41 (30 pkt., IF= 3,562)

4. **Broda M.**, Mazela B., Radka K. (2018): Methyltrimethoxysilane as a Stabilising Agent for Archaeological Waterlogged Wood Differing in the Degree of Degradation. Journal of Cultural Heritage, przyjęte do druku, DOI: 10.1016/j.culher.2018.06.004 (25 pkt., IF= 1,706)

5. **Broda M.**, Mazela B. (2017): Application of methyltrimethoxysilane to increase dimensional stability of waterlogged wood. Journal of Cultural Heritage, 25, p. 149-156. 10.1016/j.culher.2017.01.007 (25 pkt., IF= 1,706)

c) omówienie celu naukowego wykonywanych badań i osiągniętych wyników

c.1. Wprowadzenie

Zabytki drewniane, znajdowane do dziś przez archeologów na całym świecie, stanowią wyjątkowe świadectwo minionych epok. Są nieocenionym źródłem informacji o naszej historii i kulturze. Ponieważ zachowanie ich w jak najlepszej kondycji dla przyszłych pokoleń stanowi zarówno nasz przywilej, jak i obowiązek, koniecznym staje się opracowanie skutecznych metod konserwacji tych bezcennych artefaktów.

Ze względu na ogromne zróżnicowanie materiału, jakim jest drewno, nie ma uniwersalnej metody jego konserwacji. W przypadku zabytków drewnianych wyróżnić można dwie kategorie obiektów: drewno suche (obejmujące obiekty eksponowane we wnętrzach lub na otwartej przestrzeni) oraz drewno mokre (pochodzące ze stanowisk archeologicznych, świeżo wydobyte z wody lub z ziemi). Każdy z tych materiałów cechuje się innymi właściwościami, z każdym z nich wiążą się odrębne problemy dotyczące ochrony i konserwacji, dlatego też każdy z nich wymaga indywidualnego podejścia i zaproponowania unikatowego rozwiązania.

Przedmiotem moich zainteresowań naukowych jest konserwacja mokrego drewna archeologicznego. Z definicji termin „mokre drewno archeologiczne" obejmuje historyczne obiekty drewniane wydobywane z jezior, rzek, mórz, torfowisk czy też mokrej gleby, charakteryzujące się wysokim stopniem nasycenia tkanki drzewnej wodą. W wilgotnym środowisku drewno ulega degradacji głównie na skutek aktywności mikroorganizmów. Obniżona zawartość tlenu w zbiornikach wodnych i wilgotnej ziemi sprzyja rozwojowi jedynie beztlenowych lub względnie beztlenowych organizmów degradujących drewno, takich jak grzyby rozkładu szarego oraz bakterie erozyjne i tunelowe. Dzięki temu proces degradacji nie postępuje tak szybko, jak w środowiskach lądowych o większej dostępności tlenu [Björdal 2012, Blanchette 2010]. Świeżo wydobyte mokre drewno archeologiczne zazwyczaj wygląda na dobrze zachowane [Björdal i in. 1999, Blanchette 2010, Kim i in. 1996]. Zwykle jednak jest ono w jakimś stopniu zdegradowane, co skutkuje chemicznymi, fizycznymi i strukturalnymi zmianami głównych składników drewna [Björdal 2012, Capretti i in. 2008]. Rozkład mokrego drewna archeologicznego obejmuje przede wszystkim degradację polisacharydów budujących ściany komórkowe, jako że zarówno grzyby rozkładu szarego, jak i bakterie erozyjne rozkładają

głównie hemicelulozy i celulozę [Björdal 2012, Blanchette 2000, Singh 2012, Singh i in. 2016]. Bakterie tunelowe potrafią jednak metabolizować również ligninę oraz materiał bogaty w substancje ekstrakcyjne [Björdal 2012, Singh 2012, Singh i in. 2016]. W konsekwencji procesów rozkładu, oddziaływania pomiędzy składnikami drewna słabną, a przestrzenie międzykomórkowe ulegają powiększeniu. Drewno staje się bardziej porowate i przepuszczalne, a jego struktura przypomina gąbkę i pochłania ogromne ilości wody [Bugani i in. 2009, Pizzo i in. 2010]. Degradacja ściany komórkowej rozpoczyna się od strony światła komórki i postępuje przez fibrylarną strukturę ściany wtórnej, pierwotnej, aż do silnie zlignifikowanej blaszki środkowej. Zdegradowana jedynie w niewielkim stopniu lignina, w nawet silnie zdegradowanym drewnie tworzy swoisty szkielet w postaci blaszek środkowych, którego wytrzymałość mechaniczna jest na tyle wysoka, że pozwala utrzymać kształt i formę drewna tak długo, dopóki pozostaje ono w stanie maksymalnej wilgotności i spęcznienia. Niestety, siły kapilarne działające w czasie wysychania drewna na osłabione, pozbawione celulozy ściany komórkowe są tak intensywne, że powodują ich nieodwracalne zapadanie się (tzw. kolaps) [Siau 1984]. W efekcie tego procesu niezakonserwowany obiekt drewniany wystawiony na intensywne, wysuszające działanie powietrza kurczy się i pęka, a w drastycznych przypadkach ulega nawet całkowitemu zniszczeniu [Björdal 2012, Blanchette 2010, Bugani i in. 2009, Singh i in. 2016]. Dlatego też podstawowym i najważniejszym celem konserwacji mokrego drewna archeologicznego, pozwalającym na zachowanie oryginalnych kształtów, rozmiaru i ogólnego wyglądu wydobywanych z wody lub mokrej ziemi cennych artefaktów, jest jego konsolidacja, czyli zachowanie integralności fizycznej, oraz stabilizacja wymiarowa.

Mokre drewno archeologiczne jest niezwykle zróżnicowane pod względem gatunku, powstałych w nim deformacji, stopnia degradacji, przepuszczalności czy historii użytkowania. Dlatego też nie istnieje jedna uniwersalna metoda konserwacji tego rodzaju drewna. Do tej pory w konsolidacji i stabilizacji mokrego drewna stosowano różnego rodzaju metody (w tym spęcznianie, impregnację czy polimeryzację *in situ*) i różne techniki suszenia (wolne suszenie powietrzem, liofilizację czy suszenie z wymianą na rozpuszczalnik polarny) [Florian 1990]. Spośród związków chemicznych stosowanych w konserwacji wymienić należy historyczny ałun [Braovac and Kutzke 2012, Christensen 1970], cukry i alkohole cukrowe (np. trehaloza [Nguyen i in. 2018a], trehaloza i sukraloza [Kennedy and Pennington 2014], laktitol [Morgos i in. 2009], sacharoza [Hoffman 1996, Parrent 1985], mieszaniny laktitolu lub mannitolu z trehalozą [Babiński 2015, Babiński i in. 2017], ksylitol [Liu i in. 2018]) oraz białka (np. hydrolizowana keratyna [Endo i in. 2008, Endo i in. 2010, Nguyen i in. 2018a]). Oprócz tego stosowano również innego rodzaju polimery, takie jak polichlorek winylu czy poliakrylamid

[Unger i in. 2001], formaldehyd melaminowy i glikol metakrylanowy [Grattan 1982], kalafonia (żywica naturalna) i estryfikowana kalafonia [Donato i in. 2010, Giachi i in. 2011, McKerrell i in. 1972], żywica fenolowo-formaldehydowa [Christensen i in. 2015], jak również woski [Kaye 1995]. Najbardziej popularnym środkiem wykorzystywanym do konserwacji mokrego drewna archeologicznego jest jednak glikol polietylenowy (PEG). Związek ten jest dostępny na rynku w szerokiej gamie mas cząsteczkowych począwszy od niskocząsteczkowych płynów (300-600), poprzez pół-płyny (1000-1500), aż po wysokocząsteczkowe, woskopodobne pasty (3250-6000). Jest łatwy w stosowaniu i doskonale rozpuszczalny zarówno w wodzie, jak i w alkoholach (etanol, metanol czy izopropanol). PEG wykorzystuje się w konserwacji drewna do impregnacji jedno- lub dwuetapowej, metodą moczenia lub opryskiwania, z zastosowaniem suszenia na powietrzu lub metodą liofilizacji [Grattan 1982, Hocker i in. 2012, Hoffmann 1986]. Największe i najsłynniejsze na świecie drewniane obiekty archeologiczne, takie jak siedemnastowieczny okręt wojenny Waza [Hocker i in. 2012, Håfors 1990, Wagner i in. 2016], koga bremeńska [Fors and Sandström 2006, Hoffmann i in. 2004], czy ulubiony okręt Henryka VIII - Mary Rose [Fors and Sandström 2006], konserwowane były właśnie glikolem polietylenowym. W Polsce jednym z większych tego rodzaju zabytków jest wrak średniowiecznego miedziowca wydobyty z Zatoki Gdańskiej [Ossowski 2014]. Skuteczność glikolu polietylenowego w stabilizacji mokrego drewna archeologicznego wiąże się z jego zdolnością do penetrowania w głąb zdegradowanej tkanki drzewnej i zastępowania wypełniających ją cząsteczek wody. Dzięki temu związek ten wzmacnia strukturę drewna i utrzymuje je w stanie spęcznienia w czasie procesu wysychania, co wpływa na znaczącą poprawę stabilności wymiarowej drewna i chroni przed jego kurczeniem się [Ambrose 1990, Bjurhager i in. 2010, Grattan 1982, Hoffmann 1986, Jensen i Schnell 2005]. Niestety, glikol polietylenowy posiada kilka istotnych wad [Hocker i in. 2012, Wagner i in. 2016]. Przede wszystkim konserwacja drewna przy użyciu PEG jest metodą niezwykle czasochłonną, trwającą często wiele miesięcy, a nawet lat. Zakonserwowane drewno jest ciężkie i charakteryzuje się nienaturalnie ciemną barwą z nieestetycznymi, błyszczącymi, woskowatymi wyciekami glikolu na powierzchni [Florian 1989, Hocker i in. 2012]. Co więcej, rozpuszczalny w wodzie PEG (w szczególności ten o niskiej masie cząsteczkowej) ulega wymywaniu z drewna na skutek zmian temperatury i wilgotności. W efekcie pozbawiony substancji konsolidującej obiekt ulega nieodwracalnym deformacjom, kurczy się, a nawet pęka [Smith 2003]. PEG pogarsza właściwości mechaniczne drewna [Bjurhager i in. 2010] i wywiera plastyfikujący wpływ na i tak już osłabioną zdegradowaną tkankę drzewną [Norimoto i Gril 1993]. Zagraża to integralności szczególnie dużych obiektów eksponowanych w muzeach

na różnego typu rusztowaniach i narażonych przez to na szereg naprężeń mechanicznych czy odkształceń. Poważnym problemem jest również wysoka higroskopijność glikolu polietylenowego. Szczególne niebezpieczeństwo dla drewna zakonserwowanego PEG stanowi gwałtowny wzrost wilgotności powietrza powyżej 80%. W takich warunkach higroskopijność glikolu gwałtownie wzrasta, w efekcie czego nasączone nim drewno bardzo intensywnie chłonie wodę, co prowadzi do jego pęcznienia i pękania [Olek i in. 2016]. Wykazano również, iż PEG, jako związek reaktywny chemicznie, może wchodzić w interakcje z innymi związkami chemicznymi, m. in. związkami żelaza i siarki, często obecnymi w drewnie archeologicznym. W efekcie reakcji utleniania powstają niskocząsteczkowe kwasy organiczne (kwas glikolowy, mrówkowy, szczawiowy), które powodują zarówno depolimeryzację samego glikolu polietylenowego, pozbawiając obiekt substancji konsolidującej, jak i postępującą degradację chemiczną już i tak zniszczonej tkanki drzewnej [Almkvist 2013, Almkvist i Persson 2007, Glastrup i in. 2006, Sandström i in. 2005].

W związku z tym, iż środki stosowane dotychczas w konserwacji mokrego drewna archeologicznego nie do końca spełniają pokładane w nich nadzieje, nadal istnieje potrzeba znalezienia nowej, bezpiecznej i skutecznej alternatywy, by móc zachować cenne drewniane obiekty dziedzictwa kulturowego dla przyszłych pokoleń. Współczesne badania koncentrują się między innymi na wielofunkcyjnych supramolekularnych sieciach polimerowych opartych o funkcjonalizowany chitosan i guar, które dostosowują się do warunków, w których znajduje się zakonserwowany obiekt [Walsh i in. 2014], czy też różnego rodzaju bio-przyjaznych związkach chemicznych kompatybilnych z drewnem, takich jak wspomniany wyżej chitosan [Christensen i in. 2015, Walsh i in. 2017], bakteryjna celuloza [Gregory i in. 2017], usieciowane etery celulozy [Cipriani i in. 2010], hydroksylowane oligo- i poliamidy [Cipriani i in. 2013], guar [Walsh i in. 2017] czy oligomery podobne do ligniny [McHale i in. 2016, McHale i in. 2017]. Inną propozycją jest zastosowanie poliakrylanu sodu do bezpośredniej konserwacji lub jako metodę ratunkową, pozwalającą na przynajmniej częściowe odtworzenie wymiarów i kształtu obiektu, który uległ przypadkowemu, nieoczekiwanemu wysuszeniu [Nguyen i in. 2018b]. Z kolei Andriulo i in. [2017] zaprojektowali wielofunkcyjny organiczno-nieorganiczny system hybrydowy oparty o glikol propylenowy, modyfikowany tetraetoksysilan i nanocząsteczki zasadowe. System ten okazał się niezwykle skuteczny w przypadku rekonserwacji drewna zakonserwowanego wcześniej solami glinu, gdzie potrzebne jest jednoczesne odkwaszenie i konsolidacja drewna. W Instytucie Chemicznej Technologii Drewna UP w Poznaniu powstała natomiast idea, by do konserwacji mokrego drewna

archeologicznego zastosować związki krzemoorganiczne o różnych grupach aktywnych [Broda i Mazela 2017, Broda i in. 2018a,b,c].

Związki krzemoorganiczne to substancje powszechnie stosowane w wielu gałęziach przemysłu, głównie jako modyfikatory powierzchni, środki wiążące, czy też promotory adhezji. Znajdują zastosowanie m.in. w przemyśle farmaceutycznym, medycznym, budowlanym, tekstylnym, szklanym, tworzyw sztucznych, papierniczym, kosmetycznym czy spożywczym [Donath i in. 2004, Mojsiewicz-Pieńkowska i in. 2016, Moradllo i in. 2016, Plueddemann 1991]. W przemyśle drzewnym do tej pory stosowane były one głównie jako dodatki do środków konserwujących, ograniczając hydrofilowość i zwiększając odporność drewna i materiałów drewnopochodnych na biokorozję oraz działanie czynników atmosferycznych [De Vetter i in. 2009, De Vetter i in. 2010, Donath i in. 2006, Giudice i in. 2013, Hill i in. 2004, Tshabalala i in. 2003, Xie i in. 2010]. Dzięki wyjątkowej dwufunkcyjnej budowie chemicznej i wynikającej z niej specyficznej reaktywności, najczęściej wykorzystywaną grupą związków krzemoorganicznych są alkoksysilany. Cząsteczka alkoksysilanu zbudowana jest z funkcyjnej grupy organicznej (metylowej, etylowej, propylowej, hydroksylowej, tiolowej, fenylowej, fluoroalkilowej, aminoalkilowej, wodorowej czy winylowej), przyłączonej do atomu krzemu bezpośrednio lub poprzez łącznik alkilowy, oraz podatnych na hydrolizę grup alkoksylowych [Donath i in. 2006, Mojsiewicz-Pieńkowska i in. 2016]. Tak wyjątkowa struktura sprawia, że alkoksysilany stanowią grupę niezwykle wszechstronnych i wielofunkcyjnych związków chemicznych, mających zdolność reagowania z szeroką gamą innych związków (nieorganicznych i organicznych, włącznie z polimerami budującymi tkankę drzewną), tworząc wiązania chemiczne pomiędzy grupami alkoksylowymi i innymi związkami lub pomiędzy własnymi monomerami na drodze reakcji polimeryzacji [Donath i in. 2006, Xie i in. 2010]. Polimeryzacja monomerów silanowych zachodzi na drodze serii następujących po sobie reakcji hydrolizy i kondensacji, nazywanej procesem zol-żel [Levy i Zayat 2015, Mai i Militz 2004]. W drewnie, w obecności wody, grupy alkoksylowe ulegają hydrolizie i jednocześnie wchodzą w reakcje zarówno z grupami hydroksylowymi polimerów budujących tkankę drzewną, tworząc wiązania siloksanowe (Si-O-C), jak również z grupami hydroksylowymi sąsiadujących monomerów/wielomerów silanowych, tworząc stabilne wiązania Si-O-Si [Donath i in. 2004, Panov i Terziev 2009, Xie i in. 2011]. Powstająca w ten sposób trójwymiarowa sieć, utworzona z polisiloksanu i polimerów ściany komórkowej, powinna stabilizować osłabione ściany komórkowe zdegradowanego mokrego drewna archeologicznego, zapobiegając ich zapadaniu się (kolapsacji) podczas suszenia. Potencjalna zdolność stabilizacji wymiarowej w połączeniu z działaniem hydrofobizującym i fungistatycznym [Canosa i in. 2018, De Vetter i in. 2010,

Donath i in. 2006, Hill i in. 2004, Panov i Terziev 2009] sprawia, iż związki krzemoorganiczne stanowić mogą interesujące rozwiązanie w konserwacji mokrego drewna archeologicznego.

c.2. Cel i zakres pracy

Głównym celem prezentowanej pracy było określenie przydatności wybranych związków krzemoorganicznych, zawierających różne grupy funkcyjne, do konserwacji mokrego drewna archeologicznego. Pierwsze zadanie miało na celu wytypowanie silanów najskuteczniej stabilizujących drewno, jako że właśnie ten czynnik jest najważniejszy z punktu widzenia konserwacji tego rodzaju obiektów drewnianych. Ich efektywność oceniałam na podstawie stabilności wymiarowej zaimpregnowanego i wysuszonego drewna. Następnie badałam uniwersalność wybranych silanów, określając stabilność wymiarową zaimpregnowanego nimi drewna o różnym stopniu degradacji. Do badań wybrałam mokre drewno archeologiczne dwóch gatunków, tj. wiązu i dębu, wydobyte z dna Jeziora Lednica (woj. wielkopolskie). Drewniane belki, datowane na X-XI wiek, znalezione zostały na stanowisku archeologicznym Ostrów Lednicki, w pobliżu pozostałości tzw. mostu „poznańskiego". By oszacować stopień degradacji badanego drewna, co jest niezbędne z punktu widzenia konserwacji, oznaczyłam jego parametry fizyczne, tj. gęstość umowną i wilgotność względną, oraz wykonałam analizę chemiczną (oznaczenie ilościowe głównych składników chemicznych drewna). Kolejnym etapem było znalezienie najskuteczniejszej metody impregnacji. W tym celu testowałam i porównywałam różne warianty metody przez moczenie oraz metody zmiennociśnieniowej, wykorzystując do impregnacji zarówno drewno mokre (nasycone wodą), jak i poddane uprzedniej dehydratacji z wykorzystaniem etanolu (spodziewałam się, że usunięcie wody pozwoli na lepszą penetrację silanów w głąb tkanki drzewnej). Skuteczność metody impregnacji oceniałam wyliczając wchłonięcie silanu oraz wykorzystując atomową spektrometrię absorpcyjną (AAS), pozwalającą na wyznaczenie zawartości krzemu w badanej próbce. Oprócz tego, w celu określenia miejsca lokowania się związków krzemoorganicznych w jego strukturze, wykonałam obrazowanie zaimpregnowanego drewna metodą skaningowej mikroskopii elektronowej połączonej ze spektroskopią rentgenowską z dyspersją energii (SEM-EDS).

Choć konserwacja mokrego drewna archeologicznego skupia się głównie na jego stabilizacji wymiarowej, powinna także brać pod uwagę problemy związane z degradacją biotyczną i abiotyczną, właściwościami mechanicznymi czy też kwestiami dotyczącymi wyglądu zewnętrznego konserwowanych obiektów. Wspomniane zagadnienia w nieodłączny sposób związane są z relacjami zachodzącymi w układzie woda-drewno, dlatego też niezwykle

istotnym zagadnieniem z punktu widzenia konserwacji jest ograniczenie higroskopijności drewna. Wpływ związków krzemoorganicznych na właściwości wilgotnościowe drewna analizowałam z wykorzystaniem dynamicznej metody wyznaczania izoterm sorpcji (DVS) oraz metodą tradycyjną z zastosowaniem nasyconych wodnych roztworów soli. Oprócz tego badałam także nasiąkliwość zaimpregnowanego drewna. W celu pełniejszej charakterystyki przydatności związków krzemoorganicznych w konserwacji mokrego drewna archeologicznego, badałam również ich wpływ na właściwości mechaniczne oraz odporność biologiczną drewna.

c.3. Omówienie uzyskanych wyników

W pierwszym etapie badań nad przydatnością związków krzemoorganicznych do konserwacji mokrego drewna archeologicznego testowałam 30 związków różniących się budową chemiczną oraz rodzajem grupy funkcyjnej, sprawdzając ich efektywność w stabilizacji wymiarowej drewna. Oprócz tego dokonałam wyboru najbardziej skutecznej metody impregnacji. Uzyskane wyniki (opublikowane w pracach nr 4 pt.: „Methyltrimethoxysilane as a Stabilising Agent for Archaeological Waterlogged Wood Differing in the Degree of Degradation" i nr 5 „Application of methyltrimethoxysilane to increase dimensional stability of waterlogged wood") pozwoliły na stwierdzenie, iż najskuteczniejszą metodą impregnacji związkami krzemoorganicznymi jest metoda zmiennociśnieniowa (podciśnienie 0,09 MPa przez 30 min, a następnie nadciśnienie 1 MPa przez 6 godzin, 6 cykli) poprzedzona dehydratacją drewna z użyciem etanolu.

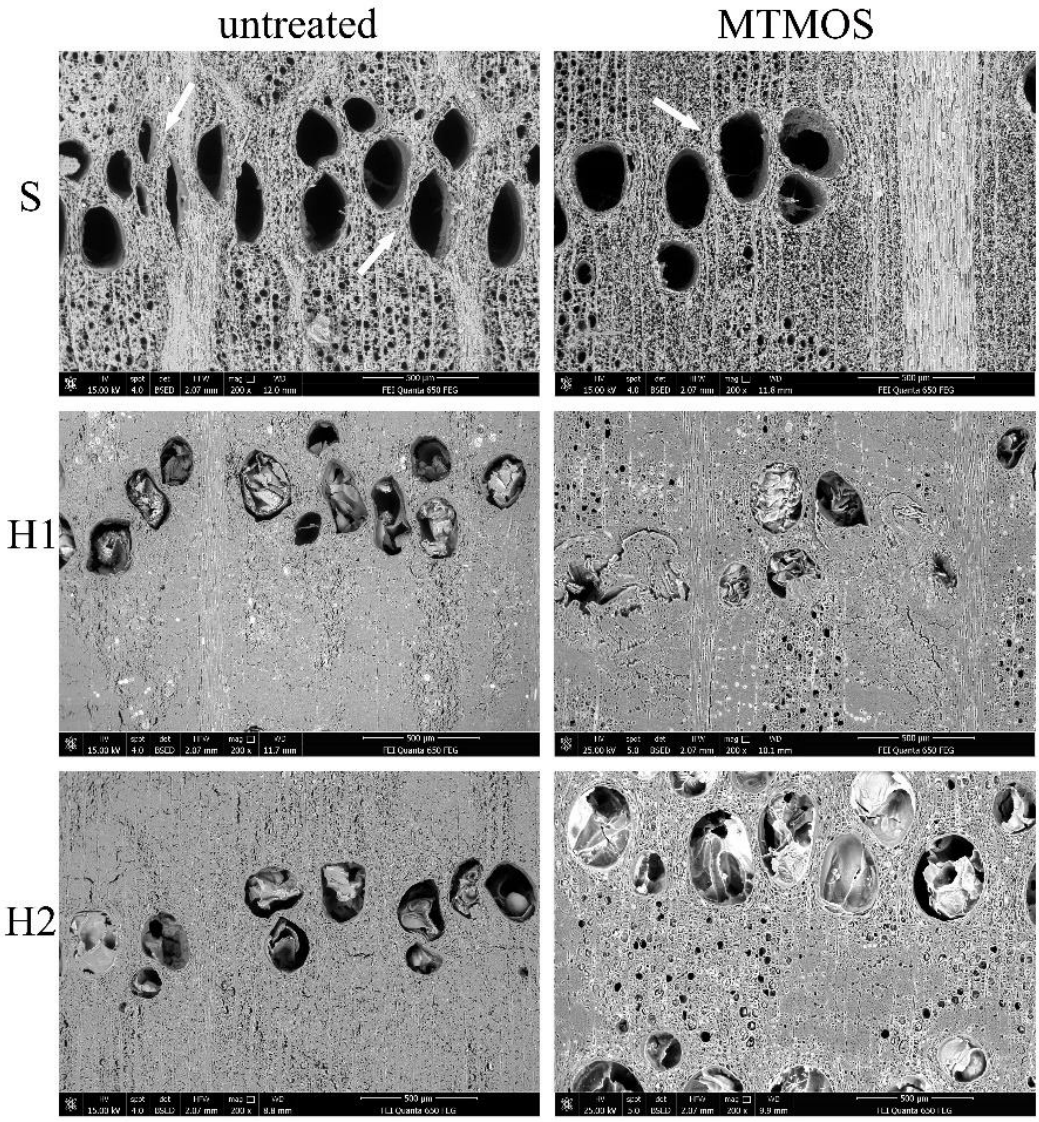
Tabela 1. Charakterystyka składu chemicznego drewna oraz współczynnik stabilności wymiarowej (ASE, z ang. anti-shrink efficiency) i wchłonięcie preparatu (WPG, z ang. weight percent gain) mokrego drewna archeologicznego wiązu i dębu po impregnacji metylotrimetoksysilanem (MTMS) z zastosowaniem metody zmiennociśnieniowej; LWS – ubytek masy drzewnej (z ang. loss of wood substance), C – zawartośc celulozy (obliczona jako procent suchej masy niezdegradowanego drewna), H/L – proporcja zawartości holocelulozy do zawartości ligniny, E – wiąz, S – część bielasta dębu, H – część twardzielowa dębu

Rodzaj drewna	LWS [%]	C [%]	H/L	ASE [%]	WPG [%]
E1*	72	5	0,12	69,5	133
E2*	70	5	0,12	82,5	129
E3*	64	7	0,16	94,6	127
S**	81	9	0,23	99,9	111
H1**	25	35	1,90	68,9	29
H2**	8	38	2,26	53,8	22

*wyniki opublikowane w pracy nr 5, bez dehydratacji drewna, **wyniki opublikowane w pracy nr 4, impregnacja poprzedzona dehydratacją drewna

Jeśli chodzi o stabilizację mokrego drewna archeologicznego, uzyskane wyniki wyraźnie wskazują, że jednym z bardziej efektywnych środków do konserwacji jest niskocząsteczkowy metylotrimetoksysilan (MTMS). Jest on również środkiem stosunkowo uniwersalnym, ponieważ okazał się skuteczny zarówno w przypadku silnie zdegradowanego drewna wiązu czy bielu dębu, jak również nieznacznie tylko zdegradowanej twardzieli dębowej (Tabela 1). Współczynnik stabilności wymiarowej (ASE) dla wiązu wyniósł 70-95%, dla bielu dębu niemal 100%, natomiast dla nieznacznie zdegradowanej twardzieli dębu wahał się w granicach 54-69%. Różnice w efektywności stabilizacji wymiarowej wynikały przede wszystkim z różnic w efektywności samej impregnacji (obliczanej jako wchłonięcie preparatu - WPG), co z kolei związane jest z budową anatomiczną i przepuszczalnością drewna. Najwyższym wchłonięciem, przekraczającym 100%, charakteryzowało się silnie zdegradowane i mocno przepuszczalne drewno wiązu i biel dębu, podczas gdy dla słabo przepuszczalnej twardzielowej części dębu wchłonięcie wynosiło 22-29% (tabela 1). Biorąc pod uwagę właściwości i stopień degradacji drewna wykorzystanego do badań, uzyskane wyniki można uznać za satysfakcjonujące. Warto dodać, że wartości współczynnika stabilności wymiarowej przekraczające 75% uznawane są jako wystarczające dla praktyki konserwatorskiej [Grattan i in. 1980].

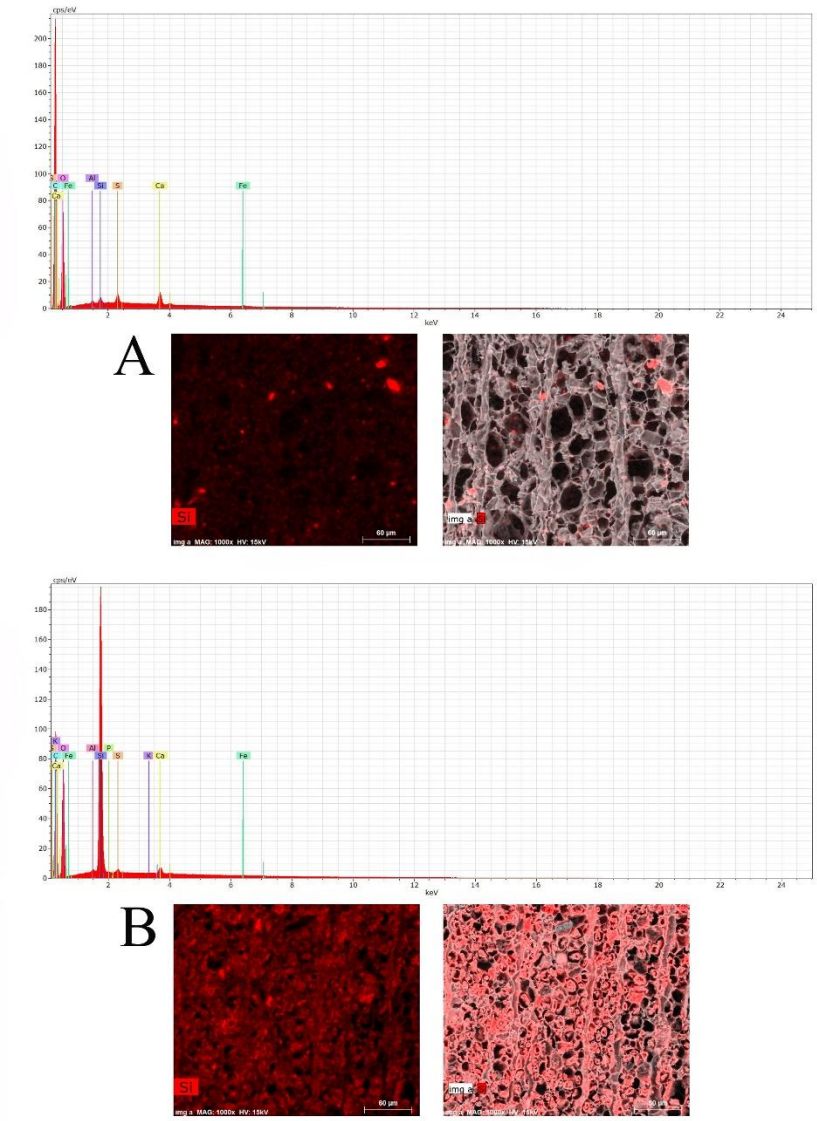
Zdjęcia wykonane techniką skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) wyraźnie ukazują różnice w strukturze nieimpregnowanego i zaimpregnowanego drewna dębu (rys. 1). Są one szczególnie widoczne, gdy porównamy kształt dużych naczyń drewna wczesnego bielu dębu. W przypadku drewna nieimpregnowanego komórki te są nieregularne, wrzecionowatego kształtu, co jest efektem kolapsu zdegradowanych ścian komórkowych i skurczu drewna w czasie procesu wysychania. Naczynia w drewnie zaimpregnowanym metylotrimetoksysilanem mają regularny, owalny kształt, przypominający kształt naczyń niezdegradowanego drewna współczesnego, bez śladów kolapsu czy skurczu. Uzyskany obraz jest zgodny z wyznaczonymi eksperymentalnie wartościami współczynnika stabilności wymiarowej, potwierdzając pozytywny efekt zastosowanego silanu na stabilizację wymiarów impregnowanego mokrego drewna archeologicznego.



Rys. 1. Zdjęcia archeologicznego drewna dębowego wykonane techniką skaningowej mikroskopii elektronowej (powiększenie x 200); S – biel, H1 – twardziel zewnętrzna, H2 – twardziel wewnętrzna, strzałki wskazują duże naczynia w drewnie wczesnym części bielastej istotnie różniące się kształtem pomiędzy drewnem impregnowanym i nieimpregnowanym (opublikowane w pracy nr 4)

Przykładowe zdjęcia próbek bielu dębu wraz z widmami i mapami rozkładu krzemu, wykonane techniką SEM-EDS, potwierdzają obecność tego pierwiastka w drewnie zaimpregnowanym metylotrimetoksysilanem. Na zdjęciach widać również, że krzem, zwizualizowany kolorem czerwonym, jest obecny głównie w obrębie ściany komórkowej, z czego wynika, iż zastosowany silan został zdeponowany głównie w obrębie ściany komórkowej, a nie w świetle komórek (rys. 2B). Warto zauważyć, że na zdjęciu próbki drewna nieimpregnowanego silanem (rys. 2A) również widoczna jest obecność krzemu. Fakt ten wynika z akumulacji tego pierwiastka z osadów dennych jeziora, w którym badane drewno przebywało niemal tysiąc lat, co opisałam wcześniej w publikacji dotyczącej zawartości

wybranych pierwiastków w drewnie archeologicznym wydobytym z dna Jeziora Lednica [Broda i Frankowski 2017].



Rys. 2. Zdjęcia próbek bielu dębowego wraz z mapami i widmami krzemu wykonane techniką SEM-EDS (powiększenie x 1000); A – próbka nieimpregnowana, B – próbka zaimpregnowana (opublikowane w pracy nr 4**)**

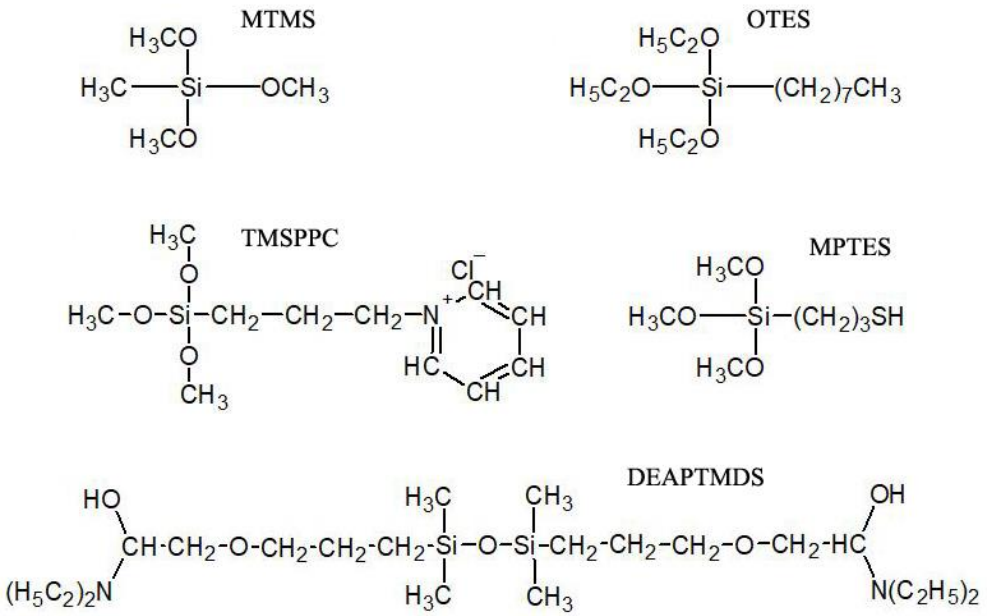
Chociaż efektywność stabilizacji wymiarowej jest najważniejszą cechą z punktu widzenia konserwacji mokrego drewna archeologicznego, w przypadku zabytków drewnianych nie mniej istotne jest zachowanie ich oryginalnego wyglądu zewnętrznego. Optymalny środek konserwujący powinien zatem cechować się nie tylko efektywnością w stabilizacji wewnętrznej struktury drewna, ale również możliwością utrzymania lub przywrócenia oryginalnych właściwości estetycznych (wzór i barwa drewna) konserwowanego artefaktu.

Wygląd zewnętrzny próbek dębu archeologicznego zaimpregnowanego MTMS i wysuszonego na powietrzu prezentuje rys. 3. Widać wyraźnie, że próbki zaimpregnowane silanem zachowały zarówno swoje wymiary i kształt (co opisałam powyżej, przedstawiając również w tabeli 1 wartości współczynnika stabilności wymiarowej), jak i naturalny wzór powierzchni drewna. Barwa zaimpregnowanego drewna jest natomiast nieco jaśniejsza niż drewna nieimpregnowanego. Można jednak stwierdzić, że estetyka konserwowanego obiektu nie odbiega znacznie od oryginału, co jest niezwykle istotne z perspektywy konserwatorskiej.

Rys. 3. Zdjęcie poglądowe przykładowych próbek archeologicznego drewna dębowego wysuszonych na powietrzu, kolejno od lewej: biel, twardziel zewnętrzna, twardziel wewnętrzna (1 – próbki nieimpregnowane, 2 – próbki zaimpregnowane MTMS metodą zmiennociśnieniową) (opublikowane w artykule nr 4**)**

Oprócz metylotrimetoksysilanu, jeszcze cztery inne spośród testowanych związków krzemoorganicznych wykazały się wysoką lub bardzo wysoką efektywnością w stabilizacji mokrego drewna archeologicznego (wyniki te opublikowałam w pracy nr 2 pt.: ”Organosilicon compounds with various active groups as consolidants for the preservation of waterlogged archaeological wood”). Ich strukturę chemiczną prezentuje rys. 4. Wyjątkowo skutecznymi stabilizatorami okazały się (3-merkaptopropylo)trimetoksysilan (MPTES) oraz 1,3-bis(dietylamino)-3-propoksypropanol)-1,1,3,3-tetrametylodisiloksan (DEAPTMDS), dla których objętościowy współczynnik ASE wyniósł odpowiednio ok. 98% i 90%. Nieco mniej skuteczne okazały się MTMS, oktylotrietoksysilan (OTES) i chlorek 1-[3-(trimetoksysililo)propylo]pyridyny (TMSPPC), osiągając wartości ASE w zakresie od 61

do 81% (tabela 2). Efektywność samej impregnacji, wyrażona w WPG, różniła się znacząco dla poszczególnych silanów, wahając się w granicach 148-353% (tabela 2).



Rys. 4. Struktura chemiczna wybranych związków krzemoorganicznych zastosowanych do stabilizacji mokrego drewna archeologicznego (opublikowane w pracy nr 2)

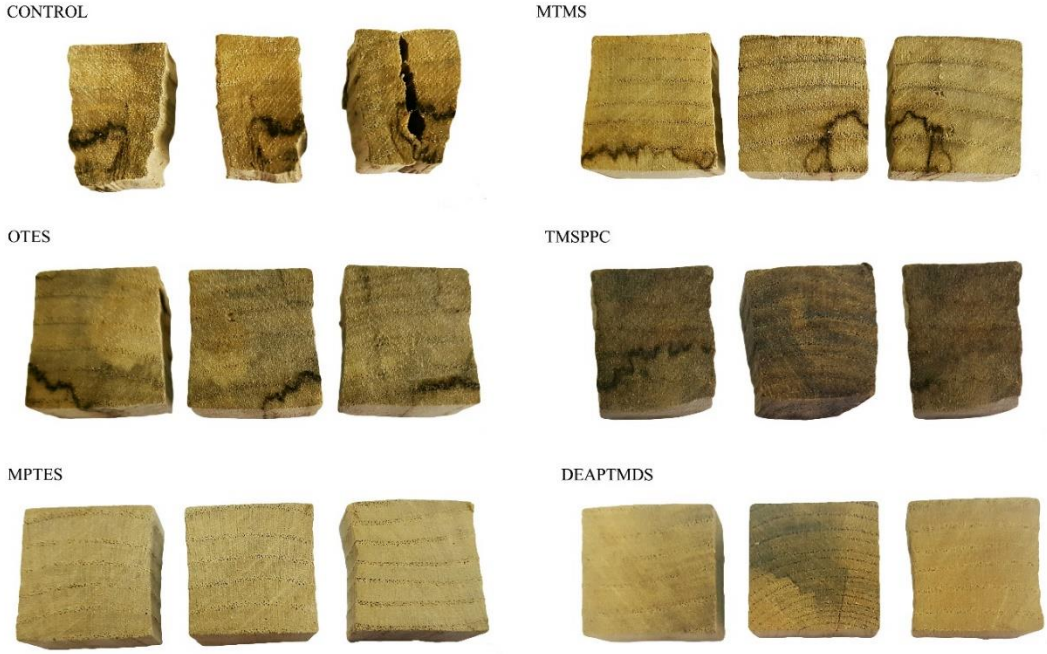
Obserwowane różnice w stabilizacji wymiarowej wynikać mogą z odmiennej struktury chemicznej testowanych związków i wielkości ich cząsteczek. Biorąc pod uwagę wartości współczynnika ASE dla testowanych alkoksysilanów, wyraźnie widać, że im krótszy jest łańcuch alkilowy przy atomie krzemu, tym lepsza stabilizacja drewna (porównując MTMS i MPTES versus OTES i TMSPPC). Obserwowany efekt można wytłumaczyć przede wszystkim wyższą zdolnością mniejszych cząsteczek do wnikania w strukturę drewna i ścianę komórkową [Ouyang i in. 2014]. Długie łańcuchy boczne mogą ponadto stanowić zbyt dużą steryczną przeszkodę, by możliwe było utworzenie dobrze ustrukturyzowanej, trójwymiarowej sieci złożonej z polisiloksanów i polimerów drewna, gwarantującej właściwą stabilizację zdegradowanej tkanki. Biorąc pod uwagę skuteczność impregnacji, nadzwyczaj wysoką absorpcję TMSPPC wytłumaczyć można obecnością pierścienia pirydynowego, który nadaje cząsteczce silanu właściwości hydrofilowe. Dzięki temu mają one potencjalnie większą możliwość penetrowania ściany komórkowej. Z kolei cząsteczki MPTES, zakończone silnie hydrofobową grupą tiolową, są znacznie bardziej hydrofobowe niż pozostałe zastosowane silany, co prawdopodobnie ogranicza ich możliwość penetracji w strukturę drewna i tłumaczy niższą wartość retencji dla tego związku. Niską zdolność hydrofilowych cząsteczek

DEAPTMDS (zakończonych hydrofilowymi grupami aminowymi) do wnikania w strukturę drewna można wytłumaczyć ich dużym rozmiarem (długie łańcuchy boczne) i wysoką masą cząsteczkową, co ogranicza możliwość ich dyfuzji w głąb badanego materiału. Uzyskane wyniki nie wskazują na to, by istniała bezpośrednia korelacja między retencją związków krzemoorganicznych a stopniem stabilizacji wymiarowej zaimpregnowanego nimi drewna.

Tabela 2. Współczynnik stabilności wymiarowej (ASE), wchłonięcie preparatu (WPG) i wilgotność (MC) drewna wiazu impregnowanego różnymi silanami (opublikowane w pracy nr 2)

Silan	ASE [%]	WPG [%]	MC [%]
UNTREATED	-	-	6,7
MTMS	81	242	3,6
OTES	68	236	2,6
TMSPPC	61	353	9,6
MPTES	98	148	2,4
DEAPTMDS	90	230	2,8

Rys. 4 przedstawia wygląd zewnętrzny i barwę osowo wybranych próbek drewna wiązu zaimpregnowanych wybranymi silanami. Próbki nieimpregnowanego drewna, choć zachowały swój oryginalny kolor, uległy bardzo silnemu skurczowi, a jedna z nich nawet pękła. Tak znaczne deformacje wskazują wyraźnie na potrzebę zastosowania konserwacji stabilizującej wymiary i kształt drewna, by zachować jego oryginalną formę. Najmniejszym zmianom wymiarowym uległy próbki zakonserwowane MTMS, MPTES i DEAPTMDS. Warto przy tym zauważyć, że spośród nich tylko drewno zaimpregnowane MTMS zachowało naturalną barwę, podczas gdy kolor pozostałych uległ rozjaśnieniu, odcień stał się chłodniejszy i mniej intensywny. Drewno zaimpregnowane OTES uległo lekkiemu skurczowi z niewielką zmianą barwy. Z kolei w przypadku impregnacji TMSPPC drewno zmieniło kolor na ciemniejszy, a jego kształt uległ deformacji. Ciemne, nieregularne przebarwienia widoczne na niektórych próbkach na rys. 4 są efektem procesów rozkładu drewna, które zaszły, gdy było ono zdeponowane na dnie jeziora, a nie w wyniku konserwacji związkami krzemoorganicznymi.



Rys. 4. Wygląd wysuszonych próbek drewna wiązu zaimpregnowanego wybranymi silanami (opublikowane w pracy nr 2**)**

Wilgotność drewna wpływa na jego właściwości użytkowe i estetyczne, które są istotne również z konserwatorskiego punktu widzenia. W przypadku drewna historycznego (w szczególności drewna mokrego), oddziaływanie wilgotności na właściwości drewna jest jeszcze bardziej widoczne z powodu degradacji tkanki drzewnej, co jest szczególne widoczne w momencie wysychania drewna, gdy ulega ono silnemu skurczowi na skutek utraty wody. Dlatego też poznanie oddziaływań zachodzących w układzie woda-drewno oraz znalezienie środka do konserwacji, który byłby w stanie obniżyć higroskopijność drewna są niezwykle ważne. W tym celu, w ramach niniejszej pracy, badałam również właściwości wilgotnościowe mokrego drewna archeologicznego konserwowanego silanami.

Impregnacja drewna wiązu opisanymi wyżej silanami generalnie obniżyła jego wilgotność z 6,7% dla drewna nieimpregnowanego do 2,4–3,6% dla impregnowanego (wyniki opublikowane w pracy nr 2 ”Organosilicon compounds with various active groups as consolidants for the preservation of waterlogged archaeological wood”) (tabela 2, oznaczenia wykonane przy wilgotności względnej powietrza 40±5%). Jedyny wyjątek stanowiły próbki zakonserwowane najbardziej hydrofilowym silanem TMSPPC. W tym przypadku wilgotność drewna wzrosła do 9,6% i osiągnęła wartość nawet wyższą, niż dla drewna nieimpregnowanego. Wskazuje to wyraźnie, iż związek ten zwiększa naturalną higroskopijność drewna wiązu. Jest to spowodowane obecnością nie tylko hydrofilowego, ale

i silnie higroskopijnego pierścienia pirydynowego w cząsteczce tego związku, którego wchłonięcie do drewna było wyjątkowo wysokie. Powyższe właściwości wykluczają TMSPPC z grona potencjalnych konserwantów, ponieważ zwiększenie higroskopijności drewnianego obiektu mogło by prowadzić do jego nieodwracalnych zmian wymiarowych lub nawet pękania, jak dzieje się to w przypadku drewna konserwowanego niskocząsteczkowym glikolem polietylenowym, narażonego na oddziaływanie silnych zmian wilgotnościowych [Olek i in. 2016]. Najlepszym efektem hydrofobizującym wykazał się MPTES, zawierający silnie hydrofobową grupę tiolową, który obniżył wilgotność drewna do ok. 2,4%. W przypadku pozostałych związków krzemoorganicznych można zauważyć, że efekt zwiększania hydrofobowości drewna wzrastał wraz ze wzrostem długości łańcucha alkilowego przyłączonego do atomu krzemu. Prawidłowość ta dotyczyła również DEAPTMDS, który zawiera zarówno długie hydrofobowe łańcuchy alkilowe, jak i hydrofilowe grupy aminowe. Prawdopodobnie grupy aminowe są jednak zaangażowane w oddziaływania wodorowe z mikrofibrylami celulozowymi w ścianie komórkowej, w związku z czym ich hydrofilowy efekt jest znacznie osłabiony, eksponując hydrofobowe właściwości łańcuchów alkilowych.

Właściwości higroskopijne drewna niekonserwowanego oraz zakonserwowanego silanami badałam również poprzez wyznaczanie izoterm sorpcji metodą dynamiczną (DVS) (wyniki opublikowałam w pracy nr 3 pt.: ”Dimensional Stability and Hygroscopic Properties of Waterlogged Wood Treated with Alkoxysilanes”). Uzyskane wyniki wyraźnie wskazują na to, że impregnacja mokrego drewna wiązu z zastosowaniem MTMS i MPTES obniża wartości jego wilgotności równowagowej (EMC). Obniżeniu uległa również histereza sorpcji. W przypadku impregnacji MTMS względna zmiana histerezy wyniosła 83,7%, natomiast dla MPTES 73,7%. Analizy wykonane metdą DVS ujawniły jednakże pewien rodzaj chemicznej niestabilności metylotrimetoksysilanu. W czasie trwania eksperymentów, w fazie desorpcji, masa próbek zaimpregnowanych tym związkiem systematycznie spadała poniżej wartości wyjściowej. Obserwowane efekt wyjaśnić można zjawiskiem „dojrzewania” żelu (ang. gel ageing), a spadek masy odparowywaniem produktów ubocznych (cząsteczek alkoholu) powstających w czasie serii reakcji hydrolizy i kondensacji procesu zol-żel, zachodzącego w czasie polimeryzacji alkoksysilanów [Brinker and Scherer 1990]. Obserwowany efekt udało się zatrzymać serią cyklicznyej sorpcji-desorpcji, a masa ustabilizowała się dopiero po 12 cyklach. W przypadku konserwowanego drewna, jedyną wodą, jaka znajdowała się w układzie, która mogłaby zapoczątkować serię reakcji hydrolizy po impregnacji silanem, to woda znajdująca się w ścianach komórkowych (tak zwana woda związana) oraz woda pochodząca z etanolu, który zastosowałam do dehydratacji drewna oraz przygotowania roztworu impregnacyjnego

(ok. 2%). Ograniczona dostępność wody w porównaniu z nadmiarem monomerów silanu (wysokie wchłonięcie MTMS ok. 242% w/w) była prawdopodobną przyczyną obserwowanego zjawiska. Z powodu braku wody reakcje hydrolizy i kondensacji nie mogły zajść równomiernie w całej objętości badanej próbki, pozostawiając wiele niezhydrolizowanych grup alkoksyowych w obrębie powstającej sieci polimerowej w strukturze drewna. Dopiero dostarczenie dodatkowej wody w procesach cyklicznej sorpcji umożliwiło dalszą efektywną polimeryzację silanu, uwalniając przy tym znaczne ilości alkoholu, który ulegał systematycznemu odparowywaniu w fazie desorpcji, co obserwowane było jako spadek masy próbki. Należy podkreślić, że 12 cykli dostarczyło do badanego układu wystarczającą ilość cząsteczek wody, by możliwym było osiągnięcie dynamicznej równowagi pomiędzy reakcjami hydrolizy i kondensacji, co poskutkowało ustabilizowaniem masy próbki. Z doświadczenia tego wyciągnąć można wniosek istotny z punktu widzenia konserwacji, a mianowicie, iż konserwacja metylotrimetoksysilanem wymaga dodatkowego sezonowania, by ustabilizować silan wewnątrz struktury drewna.

Kolejne eksperymenty z wykorzystaniem DVS do zbadania właściwości higroskopijnych drewna dębu impregnowanego MTMS nie wykazały obserwowanej wcześniej niestabilności silanu i spadku masy próbek w czasie cyklicznej sorpcji (praca prezentująca uzyskane wyniki, zatytułowana "Effect of methyltrimethoxysilane impregnation on the cell wall porosity and water vapour sorption of archaeological waterlogged oak", jest aktualnie w przygotowaniu). Różnicę w zachowaniu impregnowanego drewna wiązu i dębu można wytłumaczyć różnicą we wchłonięciu silanu w poszczególnych próbkach. W drewnie dębowym było ono znacznie niższe (WPG na poziomie 111% i 21% odpowiednio dla części bielastej i twardzielowej) niż w drewnie wiązowym (WPG ok. 242%), dzięki czemu polimeryzacja nastąpiła od razu po wprowadzeniu silanu do drewna i w związku z tym nie zaobserwowano efektu spadku masy próbek. Oznacza to, że dodatkowy etap sezonowania drewna konserwowanego metylotrimetoksysilanem nie jest warunkiem koniecznym. Potrzebny jest jedynie w przypadku mocno zdegradowanego, silnie przepuszczalnego drewna, które w czasie konserwacji może ulec wyjątkowo silnemu nasyceniu silanem. Wyniki uzyskane w opisywanym doświadczeniu potwierdziły hydrofobizujący efekt MTMS. Wilgotność równowagowa dla próbek bielu dębu uległa obniżeniu z 23,3% do 9,96%, natomiast dla części twardzielowej z 23,7 % do 19,4% (odpowiednio dla drewna nieimpregnowanego i impregnowanego). Wykonane dodatkowo pomiary powierzchni ścian komórkowych i całkowitej objętości porów potwierdziły pozytywny wpływ impregnacji drewna MTMS na zachowanie mikrostruktury mokrego drewna archeologicznego.

W przypadku mokrego dębowego drewna archeologicznego impregnowanego MTMS, wykonałam dodatkowo pomiary nasiąkliwości i higroskopijności tradycyjną metodą z wykorzystaniem komory zawierającej nasycony wodny roztwór soli, w której wilgotność wzgledna utrzymywała się na poziomie 85±5% (publikacja nr 1 zatytułowana ”Biological effectiveness of archaeological oak wood treated with methyltrimethoxysilane and PEG against brown-rot fungi and moulds”). Wyniki testu na nasiąkliwość wykazały znaczną różnicę we wchłonięciu wody pomiędzy drewnem nieimpregnowanym a impregnowanym MTMS ze 115% do 80%. Obserwowany efekt wskazywać może na odkładanie się hydrofobowego silanu na powierzchni ścian komórkowych, co ogranicza wchłanianie wody [Donath i in. 2006, Tshabalala i in. 2003]. Proces przyspieszonego starzenia badanych próbek zwiększył absorpcję wody przez wszystkie próbki. W przypadku drewna nieimpregnowanego nasiąkliwość wzrosła ze 115% do 130%, co wskazywać może na wymycie przez wodę hydrofobowych składników z powierzchni drewna lub oczyszczenie porów, które stały się bardziej podatne na wchłanianie wody. Dla próbek impregnowanych MTMS nasiąkliwość po procesie starzenia wzrosła z 80% do 95%, co świadczyć może o częściowym wymyciu hydrofobowego silanu z drewna. Niemniej jednak, nawet po procesie starzenia, drewno zaimpregnowane MTMS charakteryzowało się znacznie niższą nasiąkliwością niż drewno nieimpregnowane. Wyniki testu na higroskopijność potwierdziły hydrofobizujący wpływ silanu na drewno, a wartości wilgotności równowagowej uległy obniżeniu z 20% dla drewna nieimpregnowanego do 14% dla zaimpregnowanego. Proces przyspieszonego starzenia nieznacznie podwyższył wartość wilgotności równowagowej do 18%, co spowodowane zostało częściowym wymyciem silanu z drewna. W porównaniu z drewnem nieimpregnowanym, dla którego wilgotność równowagowa po procesie starzenia wynosiła 24%, hydrofobizujący efekt MTMS można uznać za satysfakcjonujący.

Wstępne badania właściwości mechanicznych drewna dębu impregnowanego MTMS wykonałam wykorzystując metodę dynamicznej analizy mechanicznej (ang. dynamic mechanical analysis - DMA) (wyniki prezentowałam na konferencji w Zagrzebiu, w dniach 6-7 września 2017 r.). Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że konserwacja metylotrimetoksysilanem nie pogarsza właściwości mechanicznych mokrego drewna archeologicznego. Bardziej szczegółowe badania właściwości mechanicznych drewna impregnowanego silanami przeprowadziłam w BioComposites Centre w Bangor (Wielka Brytania), a uzyskane wyniki aktualnie analizuję i przygotowuję do opublikowania.

Ostatnim etapem prezentowanej pracy było sprawdzenie wpływu impregnacji silanami na odporność biologiczną impregnowanego nimi drewna. W tym celu próbki drewna dębowego

zakonserwowane MTMS poddałam działaniu grzybów pleśniowych oraz jednego z grzybów rozkładu brunatnego (*Coniophora puteana*) (wyniki przedstawiłam w publikacji nr 1 pt.: ”Biological effectiveness of archaeological oak wood treated with methyltrimethoxysilane and PEG against Brown-rot fungi and moulds”). Uzyskane wyniki wskazują wyraźnie, że MTMS zwiększa odporność drewna na rozkład brunatny o ok. 80% w stosunku do drewna nieimpregnowanego, nie chroni jednak przed infekcją powodowaną przez grzyby pleśniowe. Zastosowanie procesu przyspieszonego starzenia względem impregnowanego drewna wykazało, że MTMS ulega tylko częściowemu wymyciu, dzięki czemu utrzymuje swoje właściwości przeciwgrzybowe w niemal niezmienionym stanie.

c.4. Podsumowanie

Celem prezentowanej pracy było określenie przydatności wybranych związków krzemoorganicznych, zawierających różne grupy funkcyjne, do konserwacji mokrego drewna archeologicznego. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że wybrane silany efektywnie stabilizują drewno archeologiczne pod względem zachowania jego wymiarów, jednocześnie redukując jego higroskopijność, co jest niezwykle istotne z punktu widzenia konserwacji tego rodzaju obiektów.

Jednym z najbardziej skutecznych, a jednocześnie uniwersalnych związków, okazał się metylotrimetoksysilan, który skutecznie stabilizował wymiarowo drewno o różnym stopniu degradacji. Szczególnie satysfakcjonujące efekty dotyczące stabilizacji uzyskałam również stosując (3-merkaptopropylo)trimetoksysilan oraz 1,3-bis(dietylamino)-3-propoksypropanol)-1,1,3,3-tetrametylodisiloksan. Na uwagę zasługuje fakt, że testowany metylotrimetoksysilan nie pogorszył właściwości mechanicznych zaimpregnowanego nim drewna, poprawił natomiast jego odporność na rozkład brunatny. Wygląd zewnętrzny drewna po konserwacji (barwa, rysunek) wybranymi związkami krzemoorganicznymi nie odbiegał znacząco od drewna niemodyfikowanego, co jest również istotną kwestią w przypadku konserwacji zabytków. Mimo tego, iż aby wprowadzić badane silany do praktyki konserwatorskiej należy jeszcze wykonać cały szereg innych analiz (między innymi zbadać odwracalność procesu konserwacji, trwałość zaimpregnowanego drewna i samych konserwantów w drewnie, czy bardziej szczegółowo zanalizować właściwości mechaniczne), już dziś można stwierdzić, że związki krzemoorganiczne stanowić mogą potencjalną i obiecującą alternatywę dla obecnie stosowanych metod konserwacji mokrego drewna archeologicznego.

c.5. Literatura

Almkvist, G. (2013). Iron removal from waterlogged wood. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. SLU Repro.

Almkvist, G., Persson, I. (2007). Degradation of polyethylene glycol and hemicellulose in the Vasa. Holzforschung, 62, 64–70.

Ambrose, W. R. (1990). Application of freeze-drying to archaeological wood. In: Rowell R. M., Barbour R. J. (eds.), Archaeological Wood: Properties, Chemistry and Preservation. Advances in Chemistry, Series 225, American Chemical Society, Washington DC: 235–263.

Andriulo, F., Giorgi, R., Steindal, C. C., Kutzke, H., Braovac, S., Baglioni, P. (2017). Hybrid nanocomposites made of diol-modified silanes and nanostructured calcium hydroxide. Applications to Alum-treated wood. Pure and Applied Chemistry, 89(1), 29–39.

Babiński, L. (2015). Dimensional changes of waterlogged archaeological hardwoods pre-treated with aqueous mixtures of lactitol/trehalose and mannitol/trehalose before freeze-drying. Journal of Cultural Heritage, 16(6), 876–882.

Babiński, L., Fabisiak, E., Dąbrowski, H. P., Kittel, P. (2017). Study on dimensional stabilization of 12,500-year-old waterlogged subfossil Scots pine wood from the Koźmin Las site, Poland. Journal of Cultural Heritage, 23, 119–127.

Björdal, C. G. (2012). Microbial degradation of waterlogged archaeological wood. Journal of Cultural Heritage, 13(3), S118–S122.

Björdal, C. G., Nilsson, T., Daniel, G. (1999). Microbial decay of waterlogged archaeological wood found in Sweden applicable to archaeology and conservation. International Biodeterioration & Biodegradation, 43(1-2), 63–73.

Bjurhager, I., Ljungdahl, J., Wallström, L., Gamstedt, E. K., Berglund, L. A. (2010). Towards improved understanding of PEG-impregnated waterlogged archaeological wood: a model study on recent oak. Holzforschung, 64(2), 243–250.

Blanchette, R.A. (2000). A review of microbial deterioration found in archaeol–ogical wood from different environments. International Biodeterioration & Biodegradation, 46(3), 189–204.

Blanchette, R. A. (2010). Microbial degradation of wood from aquatic and terrestrial environments. In: Mitchell, R., McNamara, C. J., editors. Cultural heritage microbiology. Fundamental studies in conservation science. Washington. DC: ASM press.

Braovac, S., Kutzke, H. (2012). The presence of sulfuric acid in alum-conserved wood–Origin and consequences. Journal of Cultural Heritage, 13(3), S203–S208.

Broda M., Mazela B. (2017): Application of methyltrimethoxysilane to increase dimensional stability of waterlogged wood. Journal of Cultural Heritage, 25, p. 149-156.

Broda M., Majka J., Olek W., Mazela B. (2018a): Dimensional Stability and Hygroscopic Properties of Waterlogged Wood Treated with Alkoxysilanes. International Biodegradation & Biodeterioration 133, 34–41.

Broda M., Mazela B., Dutkiewicz A. (2018b): Organosilicon compounds with various active groups as consolidants for the preservation of waterlogged archaeological wood. Journal of Cultural Heritage, in press, DOI: 10.1016/j.culher.2018.06.006.

Broda M., Mazela B., Radka K. (2018c): Methyltrimethoxysilane as a Stabilising Agent for Archaeological Waterlogged Wood Differing in the Degree of Degradation. Journal of Cultural Heritage, in press, DOI: 10.1016/j.culher.2018.06.004.

Bugani S., Modugno F., Lucejko J. J., Giachi G., Cagno S., Cloetens P., Janssens K., Morselli L.(2009). Study on the impregnation of archaeological waterlogged wood with consolidation treatments using synchrotron radiation microtomography. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 395(7), 1977–1985.

Canosa, G., Alfieri, P. V., Giudice, C. A. (2018). Low Density Wood Impregnation with Water-Repellent Organosilicic Compounds. Journal of Materials Science and Chemical Engineering, 6(01), 39–51.

Capretti, C., Macchioni, N., Pizzo, B., Galotta, G., Giachi, G., Giampaola, D. (2008). The characterization of waterlogged archaeological wood: the three Roman ships found in Naples (Italy). Archaeometry, 50(5), 855–876.

Christensen, B. B. (1970). Studies in museum technology 1: the conservation of waterlogged wood in the National Museum of Denmark, The National Museum of Denmark, Copenhagen.

Christensen, M., Hansen, F. K., Kutzke, H. (2015). Phenol Formaldehyde Revisited—Novolac Resins for the Treatment of Degraded Archaeological Wood. Archaeometry, 57(3), 536–559.

Christensen, M., Larnøy, E., Kutzke, H., Hansen, F. K. (2015). Treatment of waterlogged archaeological wood using chitosan and modified chitosan solutions. Part 1: Chemical compatibility and microstructure. Journal of the American Institute for Conservation, 54(1), 3–13.

Cipriani, G., Salvini, A., Baglioni, P., Bucciarelli, E. (2010). Cellulose as a renewable resource for the synthesis of wood consolidants. Journal of Applied Polymer Science, 118(5), 2939–2950.

Cipriani, G., Salvini, A., Fioravanti, M., Di Giulio, G., Malavolti, M. (2013). Synthesis of hydroxylated oligoamides for their use in wood conservation. Journal of Applied Polymer Science, 127(1), 420–431.

De Vetter, L., Stevens, M., Van Acker, J. (2009). Fungal decay resistance and durability of organosilicon-treated wood. International Biodeterioration & Biodegradation, 63(2), 130–134.

De Vetter, L., Van den Bulcke, J., Van Acker, J. (2010). Impact of organosilicon treatments on the wood-water relationship of solid wood. Holzforschung, 64(4), 463–468.

Donath, S., Militz, H., Mai, C. (2004). Wood modification with alkoxysilanes. Wood Science and Technology, 38(7), 555–566.

Donath, S., Militz, H., Mai, C. (2006). Creating water-repellent effects on wood by treatment with silanes. Holzforschung, 60(1), 40–46.

Donato, D., Lazzara, G., Milioto, S. (2010). Thermogravimetric analysis: a tool to evaluate the ability of mixtures in consolidating waterlogged archaeological woods. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 101(3), 1085–1091.

Endo, R., Kamei, K., Iida, I., Kawahara, Y. (2008). Dimensional stability of waterlogged wood treated with hydrolyzed feather keratin. Journal of Archaeological Science, 35(5), 1240–1246.

Endo, R., Kamei, K., Iida, I., Yokoyama, M., Kawahara, Y. (2010). Physical and mechanical properties of waterlogged wood treated with hydrolyzed feather keratin. Journal of Archaeological Science, 37(6), 1311–1316.

Florian M. L. E. (1990). Scope and history of archaeological wood. In: Rowell, R. M., Barbour, R. J. (Eds.), Archaeological wood. Properties, chemistry, and preservation. Advances in Chemistry, American Chemical Society, Washington DC.

Fors, Y., Sandström, M. (2006). Sulfur and iron in shipwrecks cause conservation concerns. Chemical Society Reviews, 35(5), 399–415.

Giachi, G., Capretti, C., Donato, I. D., Macchioni, N., Pizzo, B. (2011). New trials in the consolidation of waterlogged archaeological wood with different acetone-carried products. Journal of Archaeological Science, 38(11), 2957–2967.

Giudice, C. A., Alfieri, P. V., Canosa, G. (2013). Decay resistance and dimensional stability of Araucaria angustifolia using siloxanes synthesized by sol–gel process. International Biodeterioration & Biodegradation, 83, 166–170.

Glastrup, J., Shashoua, Y., Egsgaard, H., Mortensen, M. N. (2006). Formic and Acetic Acids in Archaeological Wood. A Comparison Between the Vasa Warship, the Bremen Cog, the Oberlander Boat and the Danish Viking Ships. Holzforschung, 60: 259–64.

Grattan, D. W. (1982). A practical comparative study of several treatments for waterlogged wood. Studies in Conservation, 27(3), 124–136.

Gregory, D. J., Shashoua, Y., Hansen, N. B., Jensen, P. (2017). Anyone for a nice cup of tea?: The use of bacterial cellulose for conservation of waterlogged archaeological wood. In ICOM-CC 18th Triennial Conference Preprints.

Håfors, B. (1990). The role of the Wasa in the development of the polyethylene glycol preservation method. In: Rowell and Barbour, Archaeological Wood Advances in Chemistry, American Chemical Society, Washington DC, pp. 195–216.

Hill, C. A., Farahani, M. M., Hale, M. D. (2004). The use of organo alkoxysilane coupling agents for wood preservation. Holzforschung, 58(3), 316–325.

Hocker, E., Almkvist, G., Sahlstedt, M. (2012). The Vasa experience with polyethylene glycol: A conservator's perspective. Journal of Cultural Heritage, 13(3), S175–S182.

Hoffmann, P. (1986). On the stabilization of waterlogged oakwood with PEG. II. Designing a two-step treatment for multi-quality timbers. Studies in Conservation, 31(3), 103–113.

Hoffmann, P. (1996). Sucrose for waterlogged wood - not so simple at all. In Preprints 11th Triennial Meeting of the ICOM Committee for Conservation. James & James, Edinburgh, Vol. II, (1996), 657–662.

Hoffmann, P., Singh, A., Kim, Y. S., Wi, S. G., Kim, I. J., Schmitt, U. (2004). The Bremen Cog of 1380–An electron microscopic study of its degraded wood before and after stabilization with PEG. Holzforschung, 58(3), 211–218.

Jensen, P., Schnell, U. (2005). The implications of using low molecular weight PEG for impregnation of waterlogged archaeological wood prior to freeze drying. In: Hoffmann, P., Strætkvern, K., Spriggs, J. A., Gregory, D. (eds.), Proceedings of the 9th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Copenhagen 2004. ICOM, Bremerhaven, 279–308.

Kaye, B. (1995). Conservation of waterlogged archaeological wood. Chemical Society Reviews, 24(1), 35–43.

Kennedy, A., Pennington, E. R. (2014). Conservation of chemically degraded waterlogged wood with sugars. Studies in Conservation, 59(3), 194–201.

Kim, Y. S., Singh, A. P., Nilsson, T. (1996). Bacteria as important degraders in waterlogged archaeological woods. Holzforschung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood, 50(5), 389–392.

Levy, D., Zayat, M. (Eds.) (2015). The Sol-Gel Handbook: Synthesis, Characterization and Applications, 3-Volume Set. John Wiley & Sons, 2105.

Liu, L., Zhang, L., Zhang, B., Hu, Y. (2018). A comparative study of reinforcement materials for waterlogged wood relics in laboratory. Journal of Cultural Heritage, in press, DOI: 10.1016/j.culher.2018.08.002.

Mai, C., Militz, H. (2004). Modification of wood with silicon compounds. Inorganic silicon compounds and sol-gel systems: a review. Wood Science and Technology, 37(5), 339–348.

McHale, E., Braovac, S., Steindal, C. C., Gillis, R. B., Adams, G. G., Harding, S. E., Benneche, T., Kutzke, H. (2016). Synthesis and characterisation of lignin-like oligomers as a bio-inspired consolidant for waterlogged archaeological wood. Pure and Applied Chemistry, 88(10-11), 969–977.

McHale, E., Steindal, C. C., Kutzke, H., Benneche, T., Harding, S. E. (2017). In situ polymerisation of isoeugenol as a green consolidation method for waterlogged archaeological wood. Scientific Reports, 7, article number 46481.

McKerrell, H., Roger, E., Varsanyi, A. (1972). The acetone/rosin method for conservation of waterlogged wood. Studies in Conservation, 17(3), 111–125.

Mojsiewicz-Pieńkowska, K., Jamrógiewicz, M., Szymkowska, K., Krenczkowska, D. (2016). Direct Human Contact with Siloxanes (Silicones)–Safety or Risk Part 1. Characteristics of Siloxanes (Silicones). Frontiers in Pharmacology, 7: 132.

Moradllo, M. K., Sudbrink, B., Ley, M. T. (2016). Determining the effective service life of silane treatments in concrete bridge decks. Construction and Building Materials, 116, 121–127.

Morgos, A., Zhang, J. P., Imazu, S. (2009). Lactitol conservation of the 1st c. BC extremely degraded waterlogged archaeological wooden figures and objects excavated at the tomb of one of the kings of the ancient Sishui Kingdom in China. in: H. Huismann. K. Strætkvern (Eds.). Proceedings of the 10th ICOM-CC working group Wet Organic Archaeological materials Conference 2007, Amsterdam, 2009, 253–269.

Nguyen, T. D., Kohdzuma, Y., Endo, R., Sugiyama, J. (2018a). Evaluation of chemical treatments on dimensional stabilization of archeological waterlogged hardwoods obtained from the Thang Long Imperial Citadel site, Vietnam. Journal of Wood Science, 1–8.

Nguyen, T. D., Sakakibara, K., Imai, T., Tsujii, Y., Kohdzuma, Y., Sugiyama, J. (2018b). Shrinkage and swelling behavior of archaeological waterlogged wood preserved with slightly crosslinked sodium polyacrylate. Journal of Wood Science, 64(3), 294–300.

Norimoto, M., Gril, J. (1993). Structure and properties of chemically treated woods. In: Shiraishi, N., Kajita, H., Norimoto, M. (Eds.), Recent Research on Wood and Wood-Based Materials: Current Japanese Materials Research (Vol. 11), Elsevier.

Olek, W., Majka, J., Stempin, A., Sikora, M., Zborowska, M. (2016). Hygroscopic properties of PEG treated archaeological wood from the rampart of the 10th century stronghold as exposed in the Archaeological Reserve Genius loci in Poznań (Poland). Journal of Cultural Heritage, 18, 299–305.

Ossowski, W. (2014). The Copper Ship. A Medieval Shipwreck and its Cargo. The National Maritime Museum in Gdańsk, Gdańsk, 2014.

Panov, D., Terziev, N. (2009). Study on some alkoxysilanes used for hydrophobation and protection of wood against decay. International Biodeterioration & Biodegradation, 63(4), 456–461.

Parrent, J. M. (1985). The conservation of waterlogged wood using sucrose. Studies in conservation, 30(2), 63–72.

Pizzo, B., Giachi, G., Fiorentino, L. (2010). Evaluation of the applicability of conventional methods for the chemical characterization of waterlogged archaeological wood. Archaeometry, 52(4), 656–667.

Plueddemann, E. P. (1991). Silane coupling agents. Springer US, New York, 1991.

Sandström, M., Jalilehvand, F., Damian, E., Fors, Y., Gelius, U., Jones, M., Salomé, M. (2005). Sulfur accumulation in the timbers of King Henry VIII's warship Mary Rose: A pathway in the sulfur cycle of conservation concern. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102(40), 14165–14170.

Siau J. F. (1984). Transport processes in wood. Springer Science & Business Media.

Singh A. P. (2012). A review of microbial decay types found in wooden objects of cultural heritage recovered from buried and waterlogged environments. Journal of Cultural Heritage, 2012;13(3):S16–S20.

Singh A. P., Kim Y. S., Singh T. (2016). Bacterial Degradation of Wood. In: Secondary Xylem Biology, Academic Press, p. 169–190.

Smith, C. W. (2003). Archaeological Conservation Using Polymers: Practical Applications for Organic Artefact Stabilization. College Station, Texas A & M University Press.

Tshabalala M.A., Kingshott P., Van Landingham M.R., Plackett D. (2003). Surface Chemistry and Moisture Sorption Properties of Wood Coated with Multifunctional Alkoxysilanes by Sol-Gel Process. Journal of Applied Polymer Science, 88, 2828–2841.

Unger, A., Schniewind, A. P., and Unger, W. (2001). Conservation of wood artifacts. Springer-Verlag, Berlin.

Wagner, L., Almkvist, G., Bader, T. K., Bjurhager, I., Rautkari, L., Gamstedt, E. K. (2016). The influence of chemical degradation and polyethylene glycol on moisture-dependent cell wall properties of archeological wooden objects: a case study of the Vasa shipwreck. Wood Science and Technology, 50(6), 1103–1123.

Walsh, Z., Janeček, E. R., Hodgkinson, J. T., Sedlmair, J., Koutsioubas, A., Spring, D. R., Welch, M., Hirschmugl, C. J., Toprakcioglu, C., Nitschke, J. R., Jones, M., Scherman, O. A. (2014). Multifunctional supramolecular polymer networks as next-generation consolidants for archaeological wood conservation. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(50), 17743–17748.

Walsh, Z., Janeček, E. R., Jones, M., Scherman, O. A. (2017). Natural polymers as alternative consolidants for the preservation of waterlogged archaeological wood. Studies in Conservation, 62(3), 173–183.

Xie, Y., Hill, C. A., Sun, D., Jalaludin, Z., Wang, Q., Mai, C. (2011). Effects of dynamic aging (hydrolysis and condensation) behaviour of organofunctional silanes in the aqueous solution on their penetrability into the cell walls of wood. BioResources, 6(3), 2323–2339.

Xie, Y., Hill, C. A., Xiao, Z., Militz, H., & Mai, C. (2010). Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: A review. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 41(7), 806–819.

3. Opis pozostałych osiągnięć naukowych i zainteresowań badawczych innych niż wskazane we wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

Swoją pracę naukową rozpoczęłam na trzecim roku studiów na kierunku biotechnologia w laboratorium Zakładu Biochemii Biopolimerów Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu, kierowanym przez prof. dra hab. Jacka Augustyniaka. Moje zainteresowania naukowo-badawcze koncentrowały się głównie w obszarze genetyki molekularnej roślin i wirusologii. Dlatego też podjęłam się realizacji tematyki badawczej związanej z ustaleniem sekwencji materiału genetycznego wirusów – patogenów roślin użytkowych. Genomowy RNA badanych przeze mnie wirusów charakteryzował się na końcach 3' i 5' obecnością specyficznych sekwencji nie ulegających translacji o strukturze tzw. spinki do włosów. Mój warsztat badawczy obejmował techniki związane z izolacją i oczyszczaniem materiału genetycznego (DNA i RNA) zarówno roślin, jak i wirusów, namnażanie cDNA na drodze reakcji odwrotnej transkrypcji i amplifikacji metodą PCR, techniki elektroforezy żelowej, klonowanie fragmentów genów do wektorów, transformację bakterii modyfikowanymi wektorami, izolację i oczyszczanie plazmidowego DNA oraz sekwencjonowanie DNA. Jednym z efektów prowadzonych przez mnie prac było ustalenie sekwencji fragmentu RNA 1 izolatu 145W wirusa karłowatości drzew pestkowych (PDV), co stanowiło przedmiot mojej pracy magisterskiej.

Po skończeniu studiów, swoje zainteresowania związane ze strukturą i funkcją RNA pogłębiałam w Instytucie Chemii Bioorganicznej Polskiej Akademii Nauk (IChB PAN) w Poznaniu, pracując na stanowisku asystenta, a następnie będąc słuchaczem studiów doktoranckich. W tym czasie pracując w ramach projektu „Badania mechanizmu genetycznej rekombinacji retrowirusów na przykładzie ludzkiego wirusa upośledzenia odporności immunologicznej" pod kierownictwem prof. dra hab. Marka Figlerowicza (wówczas doktora),

zajmowałam się badaniem struktury i funkcji RNA biorącego udział w niehomologicznej, regiospecyficznej rekombinacji wirusów RNA i retrowirusów (w tym wirusa HIV), a także ekspresją i oczyszczaniem biologicznie aktywnej odwrotnej transkryptazy wirusa HIV 1. Następnie, w ramach kierowanego przez siebie projektu naukowego finansowanego przez KBN pt.: „Badanie zdolności odwrotnej transkryptazy wirusa HIV do kopiowania nieciągłych fragmentów genomu", zajmowałam się kinetyką i efektywnością reakcji odwrotnej transkrypcji prowadzoną z wykorzystaniem otrzymanej wcześniej odwrotnej transkryptazy wirusa HIV 1. Uczestniczyłam także w projektach mających na celu określenie właściwości kwasów nukleinowych i ich analogów jako potencjalnych terapeutyków oraz poświęconych badaniom nad kontrolowaną, nieenzymatyczną hydrolizą RNA. Uzyskana w tym czasie wiedza i doświadczenie naukowo-badawcze zaowocowały realizacją pracy doktorskiej, w której zdecydowałam się na kontynuowanie badań nad właściwościami RNA o charakterystycznej budowie spinki do włosów. Realizując pracę zatytułowaną „Właściwości termodynamiczne i strukturalne oligorybonukleotydów utworzonych przez powtórzenia typu CXG, skorelowane z wieloma schorzeniami neurologicznymi" pod kierunkiem prof. dra hab. Ryszarda Kierzka, zdobyłam szeroką wiedzę na temat chorób neurodegeneracyjnych wywoływanych przez mutacje dynamiczne i związanych z ekspansją powtórzeń trójnukleotydowych, a mój warsztat badawczy poszerzył się między innymi o umiejętność odblokowywania i oczyszczania oligorybonukleotydów uzyskanych na drodze syntezy chemicznej, metody radioaktywnego znakowania kwasów nukleinowych, metody cięcia jonami ołowiu i enzymatycznego trawienia oligorybonukleotydów wraz z identyfikacją miejsc cięcia, techniki elektroforezy w żelach poliakrylamidowych, a także umiejętność prowadzenia pomiarów właściwości termodynamicznych oligorybonukleotydów metodą optyczną, obliczanie parametrów termodynamicznych w oparciu o analizę krzywych topnienia oraz przewidywania na ich bazie drugorzędowych struktur badanych oligorybonukleotydów. Określenie trwałości termodynamicznej struktur RNA zbudowanych z powtórzeń trójnukleotydowych oraz równowagi pomiędzy dupleksem, a strukturą spinki do włosów tworzoną przez te oligorybonukleotydy, przyczyniły się do lepszego zrozumienia termodynamiki tych związków w roztworze. Stanowiło to istotny krok na drodze do poznawania właściwości termodynamicznych tych układów w warunkach komórkowych, czym miałam okazję zajmować się już po obronie pracy doktorskiej, pracując w Zakładzie Genetyki Nowotworów IChB PAN, kierowanym przez prof. dra hab. Włodzimierza Krzyżosiaka.

Kolejnym obszarem moich zainteresowań była szeroko pojęta biotechnologia. Pracując w latach 2007-2011 w Katedrze Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności Uniwersytetu

Przyrodniczego w Poznaniu, kierowanej przez prof. dra hab. Włodzimierza Grajka, miałam okazję zdobyć doświadczenie w pracy z mikroorganizmami (głównie bakteriami i drożdżami). Realizując własny projekt badawczy w ramach konkursu POL-POSTDOC III, finansowanego przez KBN, skupiłam się na opracowaniu metody redukcji zakażeń mikrobiologicznych występujących przy produkcji bioetanolu z ziaren i mączek z przemiału kukurydzy, pszenicy i pszenżyta metodą zimnej hydrolizy skrobi. Rozwiązanie to miało na celu wprowadzenie do praktyki nowoczesnej technologii wytwarzania bioetanolu, umożliwiającej pominięcie kosztownej wstępnej hydrotermicznej obróbki surowca skrobiowego. Mój warsztat badawczy obejmował identyfikację zakażeń mikrobiologicznych ziarniaków zbóż i mączek z ich przemiału na różnego rodzaju pożywkach (w tym oznaczanie liczebności bakterii ogółem, bakterii tlenowych i beztlenowych, przetrwalnikujących, mlekowych, grzybów ogółem oraz drożdży z rodzaju *Candida*), prowadzenie procesów fermentacji w bioreaktorach laboratoryjnych, następnie w skali pilotowej aż po skalę przemysłową, oznaczanie zakażeń mikrobiologicznych w zacierach zbożowych oraz metody odkażania ziaren zbóż z zastosowaniem środków chemicznych. Pracując jako wykonawca w kolejnym projekcie finansowanym z Funduszy Unii Europejskiej (”Biotechnological conversion of glycerol to polyols and dicarboxylic acids”) miałam okazję zarówno pogłębiać swoją wiedzę i umiejętności w zakresie mikrobiologii, jak i nauczyć się zarządzania dużym projektem badawczym, finansowanym z funduszy Unii Europejskiej.

Zdobyte doświadczenie okazało się przydatne przy realizacji kolejnego projektu, kierowanego przez prof. dra hab. Bartłomieja Mazelę, finansowanego przez NCBiR i Fundusze Norweskie, zatytułowanego ”Superior bio-friendly systems for enhanced wood durability”, którego byłam administratorem, jak również jednym z wykonawców. Zmieniając zupełnie zainteresowania naukowe, z genetyki molekularnej i biotechnologii na drzewnictwo, w stosunkowo krótkim czasie efektywnie opanowałam nowe techniki badawcze związane z ochroną i konserwacją drewna. Nowa tematyka okazała się niezwykle interesująca. Znalazłam w niej obszar, który szczególnie mnie interesuje, mianowicie konserwacja drewna historycznego, co stanowi temat mojego osiągnięcia naukowego prezentowanego w niniejszym autoreferacie.

W przyszłości chciałabym kontynuować pracę w obszarze konserwacji drewna historycznego. Chciałabym również wykorzystać moją wiedzę biotechnologiczną w drzewnictwie. Uważam, że ta tematyka ma przyszłość nie tylko z punktu widzenia naukowego, ale i praktycznego.

4. Sumaryczny dorobek publikacyjny i wynalazczy

a) Mój dotychczasowy dorobek naukowy i wdrożeniowy obejmuje łącznie 73 pozycji, w tym 19 oryginalnych prac twórczych w tym 12 publikowanych w czasopismach z IF, 2 rozdziały w monografiach wydanych w języku polskim, 14 prac opublikowanych w materiałach konferencyjnych w tym 6 w języku polskim i 8 w języku angielskim oraz 2 zgłoszenia patentowe.

b) Na mój opublikowany dorobek składają się: 3 prace indywidualne oraz 29 prac współautorskich z czego w 20 publikacjach jestem autorem wiodącym.

c) Wartość mojego łącznego sumarycznego Impact Factor (IF) publikacji naukowych wg listy JCR, zgodnie z rokiem opublikowania – wynosi 23,038.

d) Liczba cytowań publikacji wg bazy Web of Science na dzień 22 października 2018 roku wynosi 68 bez autocytowań.

e) Indeks Hirscha opublikowanych publikacji wg bazy Web of Science – 3.

f) Łączna ilość punktów 327.

Szczegółowy wykaz opublikowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki został przedstawiony w załączniku nr 4.

Tabela 1. Sumaryczny wykaz publikacji podsumowujący dorobek publikacyjny przed uzyskaniem stopnia doktora

Nazwa czasopisma	Rok wydania	Liczba publikacji	Liczba punktów	Sumaryczna liczba punktów	Impact Factor*	Sumaryczny Impact Factor*
Czasopisma z listy A						
Acta Biochimica Polonica	2001	1	7	7	0,832	0,832
Razem		**1**		**7**		**0,832**

* zgodnie z rokiem wydania pracy

Tabela 2. Sumaryczny wykaz publikacji podsumowujący dorobek publikacyjny po uzyskaniu stopnia doktora

Nazwa czasopisma	Rok wydania	Liczba publikacji	Liczba punktów	Sumaryczna liczba punktów	Impact Factor*	Sumaryczny Impact Factor*
Czasopisma z listy A						
International Biodegradation & Biodeterioration	2018	2	30	60	3,562	7,124
Journal of Cultural Heritage	2017 2018	1 2	25	75	1,706	5,118

Maderas-Ciencia y Tecnologia	2018	1	30	30	1,014	1,014
Environmental Science and Pollution Research	2017	1	30	30	2,800	2,800
Wood Research	2015	1	15	15	0,399	0,399
Journal of Biobased Materials and Bioenergy	2010	1	20	20	1,360	1,360
Polish Journal of Environmental Studies	2010	1	13	13	0,543	0,543
Biochemistry	2005	1	20	20	3,848	3,848
Razem	**-**	**11**	**-**	**263**	**-**	**22,206**
Czasopisma z listy B						
Aura - Ochrona środowiska	2016 2015	1 2	6	18	-	-
Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology	2015	1	10	10	-	-
Acta Scientiarum Polonorum. Seria: Technologia Alimentaria	2009	2	9	18	-	-
Razem	**-**	**6**	**-**	**46**	**-**	**-**
Łącznie wszystkie czasopisma	**-**	**17**	**-**	**309**	**-**	**22,206**

* zgodnie z rokiem wydania pracy

Tabela 3. Sumaryczny wykaz publikacji podsumowujący dorobek publikacyjny dotyczący prezentowanego osiągnięcia naukowego

Nazwa czasopisma	**Rok wydania**	**Liczba publikacji**	**Liczba punktów**	**Sumaryczna liczba punktów**	**Impact Factor***	**Sumaryczny Impact Factor***
Czasopisma z listy A						
International Biodegradation & Biodeterioration	2018	2	30	60	3,562	7,124
Journal of Cultural Heritage	2017 2018	1 2	25	75	1,706	5,118
Razem		**5**		**135**		**12,242**

Tabela 4. Sumaryczny wykaz osiągnięć w pracy naukowo-badawczej

Rodzaj publikacji/aktywności	Przed uzyskaniem stopnia doktora			Po uzyskaniu stopnia doktora		
	Ilość	IF	Punkty MNiSW	Ilość	IF	Punkty MNiSW
Oryginalne prace twórcze	1	0,832	7	18	22,206	309
Monografie, rozdziały w monografiach i książkach naukowych	-	-	-	2	-	11
Artykuły popularno - naukowe	-	-	-	12	-	-
Referaty naukowe wygłoszone na konferencjach	-	-	-	6	-	-
Postery/artykuły/streszczenia prezentowane na konferencjach	7	-	-	25	-	-
Zgłoszenia patentowe	-	-	-	2	-	-
Razem	**8**	**0,832**	**7**	**65**	**22,206**	**320**
- w tym wykorzystane w rozprawie habilitacyjnej	-	-	-	5	12,242	135
Łączna liczba cytowań*	29			41		
Łączna liczba cytowań**	35			56		
Liczba cytowań bez autocytowań*	29			39		
Liczba cytowań bez autocytowań**	35			48		
Indeks H */**	1/1			3/4		

* zgodnie z bazą Web of Science
** zgodnie z bazą SCOPUS