

## Szafa gra

*Marcin Strojcki*

*Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni  
im. Jerzego Habera PAN*

Artykuł wyróżniony III nagrodą w konkursie popularyzatorskim „Forum Akademickiego” 2014.

Jak, dzięki emisji akustycznej, usłyszeć, co w trawie piszczy, o czym szumią wierzby, co mówią rzeźby i na co narzekają historyczne meble.

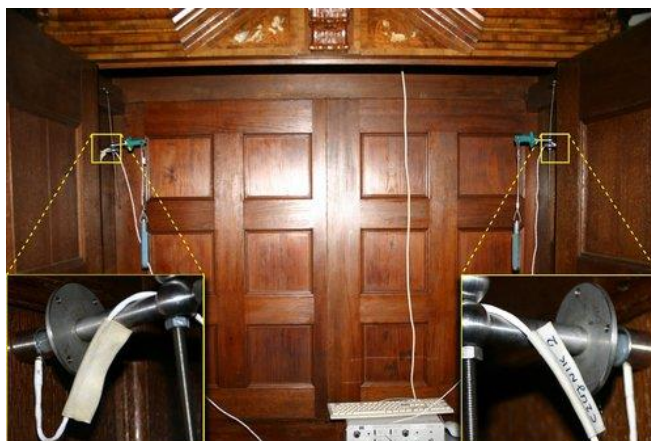
Przez miliony lat ludzkość żyła tak jak zwierzęta. Lecz nagle wydarzyło się coś, co uwolniło moc naszej wyobraźni. Nauczyliśmy się mówić i nauczyliśmy się słuchać. (...) Mowa umożliwiła przekazywanie idei, dzięki czemu ludzie, pracując razem, mogą budować niemożliwe. (...) Z technologią do naszej dyspozycji możliwości są nieograniczone. Wszystko, co musimy zrobić, to upewnić się, że cały czas rozmawiamy.

Stephen Hawking

Jak, dzięki emisji akustycznej, usłyszeć, co w trawie piszczy, o czym szumią wierzby, co mówią rzeźby i na co narzekają historyczne meble.

Po obronie doktoratu z laserowej spektroskopii dwuatomowych cząsteczek van der Waalsa, w maju 2009 roku, pełen zapału i entuzjazmu mieszającego się z pewną dozą obaw i niepokoju zacząłem (trwającą do dzisiaj) moją pracę zawodową. Pracuję w grupie badań nad dziedzictwem kultury w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk. Ten koktajl uczuć wynikał z faktu, że zagadnienia, którymi miałem się zająć, były wtedy dla mnie czymś kompletnie nowym i to pod każdym względem. Moja nowa praca miała nie mieć bowiem nic wspólnego z tym, czym zajmowałem się robiąc doktorat. Mówiąc w skrócie, mój doktorat polegał na podglądaniu najmniejszych cząsteczek dwuatomowych przy użyciu światła laserowego. Podobnie, jak szukając zagubionej rzeczy w ciemnym pokoju posługujemy się latarką, tak ja używałem światła laserowego, aby rozświetlić nieznane mroki struktury cząsteczkowej. W nowej pracy, zamiast podpatrywania cząsteczek, miałem zacząć podsłuchiwać, o czym mówią meble, obrazy i inne zabytki. I podczas kiedy inni słuchali najnowszych singli Lady Gaga czy Adele, ja chodziłem do muzeum słuchać szafy wrocławskiej oraz średniowiecznych rzeźb Madonny z Kruźlowej i Chrystusa Zmartwychwstałego. Koledzy często żartowali, pytając, co słyszeć w szafie? Zaś panie pilnujące ekspozycji w muzeum, widząc mnie z daleka, mówiły: „o, przyszedł pan do szafy”. Podobnie mój brat, uśmiechając się, zapytał kiedyś, czy już wysłuchałem całej dyskografii Madon-

ny. Wiem, że brzmi to co najmniej dziwacznie i zagadkowo, dlatego już wyjaśniam, o co chodzi. Najpierw jednak kilka słów wprowadzenia.



Szafa wrocławska oraz system monitorowania zainstalowany w jej wnętrzu. Dwa czujniki emisji akustycznej (z ang. *acoustic emission* – AE) – przyciepione do przeciwległych ścian szafy za pomocą grawitacyjnych przeciwwag. Szczegóły mocowania pokazane na zbliżeniu w ramkach

### Zabytkowy naukowiec

Troska o nasze wspólne dziedzictwo kultury oraz jego ochrona była zadaniem głównie konserwatorów i kuratorów. Doświadczenie zdobywane latami, intuicja oraz znakomita sprawność manualna były najważniejszymi narzędziami wykorzystywanymi w ich codziennej pracy. Jednakże same techniczne umiejętności w wielu przypadkach okazywały się niewystarczające przy podejmowaniu słusznych, naukowo uzasadnionych decyzji dotyczących najlepszych metod ochrony unikatowych zabytków oraz bezcennych artefaktów.

W ostatnich latach nastąpiła znacząca poprawa zrozumienia konieczności rozwoju konserwacji zapobiegawczej, czyli tej, która nie dopuszcza do powstania czy też rozwoju zniszczenia lub to nieuniknione zniszczenie minimalizuje. Drugim rodzajem konserwacji jest tzw. konserwacja naprawcza, polegająca na odtworzeniu, odmalowaniu czy zakamuflowaniu powstałego uszkodzenia. Myślę, że nikomu nie trzeba tłumaczyć, dlaczego powinno się ograniczać konserwację naprawczą. Jestem przekonany, że nasze prawniki będą wolały oglądać nawet trochę zniszczone czy popękane, ale autentyczne i oryginalne dzieła Leonarda da Vinci niż pięknie wyglądające przemalowania i retusze autorstwa najlepszego na świecie konserwatora. Na szczęście środowisko muzealne zrozumiało, że rozwój konserwacji zapobiegawczej powinien być oparty nie tylko na doświadczeniu, intuicji i sprawności manualnej konserwatorów, ale przede wszystkim na solidnych i obiektywnych fundamentach naukowych. Pomocny przy tym okazał się dynamiczny rozwój nieinwazyjnych metod i narzędzi po-

miarowych, który umożliwił adaptację tych narzędzi z dziedziny nauk stosowanych oraz wprowadzenie ich do dziedziny ochrony dziedzictwa kulturowego. W efekcie, ku ogólnemu pożytkowi oraz obopólnym korzyściom obu środowisk, obserwujemy poprawiającą się z roku na rok współpracę pomiędzy środowiskami konserwatorów i naukowców.

Dlatego też, wychodząc naprzeciw oczekiwaniom rynku oraz rosnącym potrzebom, moja grupa badawcza postawiła sobie ambitne zadanie stworzenia pomostu pomiędzy światem naukowców i światem sztuki. Można powiedzieć, że jesteśmy naukowcami od zabytków. Zajmujemy się interdyscyplinarnymi badaniami z pogranicza fizyki, chemii oraz inżynierii materiałowej, stosowanymi w obrębie nauk o sztuce. Nasza główna tematyka badawcza dotyczy procesów oraz zjawisk fizykochemicznych odpowiedzialnych za powstawanie i rozwój uszkodzeń w zabytkowych materiałach artystycznych – szczególnie drewnie, ale także kamieniu naturalnym i powłokach dekoracyjnych. Staramy się zrozumieć, dlaczego zabytki się niszczą i jak możemy spowolnić (zatrzymać się niestety nie da) tempo rozwoju tych zniszczeń. Z uwagi na fakt, że docelowymi przedmiotami naszych badań są autentyczne, historyczne i często bezcenne dzieła sztuki, musimy stosować tylko i wyłącznie nieniszczące i jak najmniej inwazyjne metody i techniki pomiarowe – od interferometrii plamkowej do emisji akustycznej, którą ja się zajmuję.

### **Stetoskop dla rzeźb**

Czym jest emisja akustyczna i dlaczego właśnie ją wybraliśmy? Emisja akustyczna (z ang. *acoustic emission* – AE) jest obecnie jedną z lepiej rozwiniętych nieinwazyjnych technik pomiarowych, które z powodzeniem udało się (mówiąc nieskromnie, dzięki naszym wysiłkom) przenieść z „hermetycznych” laboratoriów do egzotycznego świata muzealnego. Termin „emisja akustyczna” ma dwa znaczenia. Jedno z nich używane jest do opisu zjawiska fizycznego, polegającego na powstawaniu fal mechanicznych podczas nagłego uwolnienia energii sprężystej zgromadzonej wewnątrz materiału poddanego deformacji. Uwolnienie dostatecznie dużej porcji energii może wytworzyć słyszalne fale dźwiękowe (np. łamanie szkła, pękanie drewna czy też nawet aktywność życiowa drewnojadów). Dysponując odpowiednio czułym systemem detekcji, można wykrywać bardzo subtelne drgania powierzchni obiektu wywołane najmniejszymi zmianami wewnętrznej mikrostruktury materiału. Stąd też drugie znaczenie emisji akustycznej, określające samą metodę pomiarową obejmującą detekcję, rejestrację oraz analizę tych fal. Dzięki gwałtownemu rozwojowi techniki obecnie przy użyciu AE można „podsluchiwać” najcichsze dźwięki związane ze zjawiskami na poziomie atomowym, takimi jak przemiany fazowe czy ruchy dyslokacji w metalach. Posługując się kolejnym porównaniem można powiedzieć, że dziś naukowcy używają metody AE podobnie jak lekarz stetoskopu, ultrasonografu czy elektrokardiografu.

Metoda AE jest bardzo dobrze ugruntowaną techniką monitorowania stosowaną z powodzeniem od lat w inżynierii materiałowej, np. w systemach monitorowania stanu technicznego konstrukcji (m.in. mosty, maszty, skrzydła samolotów) czy przemyśle naftowym do monitorowania szczelności zbiorników paliwowych lub rurociągów gazowych. Jednak, pomimo swej popularności i skuteczności w naukach technicznych, do tej pory właściwie nikomu poza naszą grupą nie udało się zastosować metody AE w obszarze dziedzictwa kulturowego. Nasze badania potwierdziły przydatność emisji akustycznej jako metody monitorowania szczególnie skutecznej w bezpośrednim śledzeniu intensywności pękania w drewnianych obiektach narażonych na zmiany wilgotności względnej (z ang. *relative humidity* – RH).

### Gadające drewno

Drewno od wieków było wykorzystywane w dziełach sztuki z uwagi na swoje piękno, wytrzymałość, trwałość i dostępność. Jako materiał higroskopijny reaguje ono na zmiany RH w swoim otoczeniu, absorbując i desorbując wilgoć, co w konsekwencji wpływa na jego zmiany wymiarowe – pęcznienie i kurczenie się. Ograniczenie możliwości ruchu drewna może mieć szkodliwy wpływ na elementy mebli – drzwi, boki szaf i blaty, ramy lub inne rodzaje dekoracyjnych konstrukcji drewnianych mogą pękać, i co gorsze pękają pod wpływem nagłych zmian RH. Dlatego ustalenie bezpiecznych zakresów zmienności temperatury i RH dla drewnianych mebli i innych konstrukcji przechowywanych i wystawianych w muzeum jest jednym z najważniejszych zadań konserwacji zapobiegawczej.

Istnieją dwa podstawowe podejścia do ustalenia dopuszczalnych zakresów wahań klimatycznych dla obiektu wrażliwego na spowodowane klimatem uszkodzenia – analiza mechaniczna odpowiedzi obiektu na zmiany klimatu oraz analiza historycznego klimatu, do którego obiekt się zaaklimatyzował. Ograniczenia tych dwóch podejść w dokładnym przewidywaniu ryzyka uszkodzenia obiektu zabytkowego w jego specyficznym środowisku doprowadziły do poszukiwania naukowych metod bezpośredniego śledzenia uszkodzeń: nieinwazyjnych, ciągłych, ekonomicznych i zdolnych do pracy w rzeczywistych warunkach muzeów, zabytkowych budynków lub w czasie transportu dzieł sztuki. I tu właśnie z pomocą przychodzi metoda AE.

Z pewnością każdy, u kogo na podłodze w salonie czy przedpokoju położony jest drewniany parkiet, niejednokrotnie słyszał charakterystyczne trzeszczenie, które najczęściej słychać na początku zimy. Wtedy to, zazwyczaj po wilgotnym okresie jesiennym, włączane jest ogrzewanie i napęczniałe drewno zaczyna gwałtownie schnąć. Kurcząc się zaś, wydaje dźwięki. To właśnie odgłosy AE pochodzące od tzw. pracującego drewna. Używając technicznego języka, można powiedzieć, że energia uwolniona na skutek mikroruchu w strukturze materiału poddanego deformacji (spowodowanej zmianą wilgotności) przecho-

dzi przez ten materiał w postaci ultradźwiękowych i słyszalnych fal dźwiękowych i jest wykrywana na powierzchni za pomocą przetwornika piezoelektrycznego. Ponieważ fizyczne uszkodzenie materiału poprzedzone jest zauważalnym wzrostem poziomu aktywności AE, monitorowanie jej jest w stanie, dzięki cyfrowemu rejestrowaniu i przetwarzaniu poszczególnych zdarzeń AE w czasie rzeczywistym, przewidzieć makrouszkodzenie i śledzić propagację pęknięcia. I znów, posługując się metaforą, można powiedzieć, że tak jak dobry lekarz na podstawie analizy wykresu pracy serca potrafi przewidzieć zawał u pacjenta, tak my, dzięki AE, potrafimy przewidzieć pęknięcie w zabytkowym meblu czy rzeźbie.



Średniowieczna rzeźba Madonny z Kruźlowej wraz z systemem monitorowania. Zbliżenie czujnika AE przymocowanego do wnętrza dłoni

### **Szafa grająca**

W moich badaniach metoda AE była używana do monitorowania rozwoju mikrouszkodzeń w osiemnastowiecznej szafie eksponowanej w galerii rzemiosła artystycznego w Muzeum Narodowym w Krakowie. Szafa, znacząco popękana w przeszłości, została wybrana przez pracowników muzeum jako obiekt reprezentatywny dla masywnych mebli prezentowanych w galeriach, a także szczególnie narażony na uszkodzenia wywołane zmianami klimatu. Monitorowanie AE było elementem systematycznej oceny skuteczności zarządzania klimatem,

zwłaszcza skutków niewystarczającego nawilżania powietrza w trakcie powtarzających się spadków RH w zimie. Monitorowanie prowadzono przez okres dwóch lat. Całkowita energia AE zarejestrowana w tym czasie odpowiada  $12 \text{ mm}^2$  uszkodzonej powierzchni lub całkowitej propagacji pęknięć równej  $1,2 \text{ mm}$  dla panelu o grubości  $10 \text{ mm}$  (taką grubość miał monitorowany przez nas panel). Tak małego uszkodzenia zarejestrowanego w tak długim okresie nie można zmierzyć żadną inną techniką, co świadczy o dużej skuteczności i niebywałym potencjale metody AE. Mimo że zarejestrowane całkowite uszkodzenie było bardzo małe, korelacja między zdarzeniami związanymi z pękaniem drewna oraz spadkami RH w zimie z powodu niewystarczającego nawilżania jest oczywista. Ryzyko uszkodzenia wyrażone propagacją pęknięcia zostało oszacowane ilościowo w zależności od długości trwania spadków RH związanych z czasem odpowiedzi monitorowanych elementów drewnianych. Uzyskane wyniki pozwalają ustalić akceptowane spadki RH w przypadku, gdy konserwator lub kurator ustali „akceptowalną” roczną propagację pęknięcia.

Wracając na koniec do przytoczonej na wstępie myśli jednego z najwybitniejszych astrofizyków wszechczasów, chciałoby się powiedzieć, że oprócz upewnienia się, czy cały czas rozmawiamy, powinniśmy również zadbać o to, aby cały czas nasłuchiwać.

