

WYKUĆ PRZYSZŁOŚĆ



O pracy inżyniera w obszarze ciekłego metalu, o tym, co w tej pracy jest najważniejsze, opowiada **prof. dr hab. inż. Natalia Sobczak, wiceprezesa Polskiej Akademii Nauk.**



SYLWIA PIWOWAR

Czym zajmuje się naukowiec pracujący w odlewnictwie?

NATALIA SOBCZAK: Odlewnictwo to rzemiosło o starożytnych korzeniach. Człowiek już od dawna wytwarzał stopy i wyroby z metali, co jest istotnym elementem naszej cywilizacji. Tradycyjnie sztuka wytwarzania opierała się na metodzie prób i błędów, co było zarówno kosztowne, jak i czasochłonne. Dzięki nauce możemy podejść do tego procesu bardziej świadomie, skracając czas produkcji i zmniejszając jej koszty. Odlewnictwo polega więc na przetwarzaniu i wytwarzaniu wyrobów przez wykorzystanie specyfiki stanu ciekłego metalu. Doprowadzamy metal do stanu ciekłego i go kształtujemy, dodajemy do niego różne składniki – to wygląda trochę jak przyprowadzanie zupy. Dodatki stopowe zmieniają charakterystyki metalu, co pozwala uzyskać pożądane właściwości już gotowego materiału i wyrobu.

Moje badania skupiają się na tym, jak kontrolować te procesy w powiązaniu z oddziaływaniem otoczenia zewnętrznego. Szukamy optymalnych składników i warunków, by uzyskać materiały o najlepszych właściwościach. Dzięki temu możemy tworzyć wyroby metalowe o wysokiej wytrzymałości, odporne na korozję lub posiadające inne specyficzne właściwości.

Jakie są główne zastosowania wyników pani pracy?

Nasze badania stanowią podstawę dla teoretyków z różnych interdyscyplinarnych dziedzin – od inżynierii materiałowej po geologię i astronomię. Najlepsze materiały znajdują zastosowanie w przemyśle, w rozmaitych branżach. Jednym z kluczowych wyzwań są rosnące problemy z surowcami krytycznymi oraz nowe regulacje prawne, które wymuszają eliminację pierwiastków tradycyjnie stosowanych przez tysiąclecia, a teraz uznanych (na podstawie wyników badań) za toksyczne i szkodliwe.

W efekcie konieczne jest opracowanie nowych stopów lub modyfikacja składu chemicznego już istniejących. Taki proces wymusza zmianę technologii produkcji lub konstrukcji końcowego produktu, co prowadzi do tzw. kompleksowej konwersji materiałowo-konstrukcyjno-technologicznej.

Co spowodowało, że wybrała pani właśnie ten zawód i ścieżkę kariery? Czy to była przypadkowa decyzja, czy też od początku była to pani pasja?

W mojej rodzinie kładziono duży nacisk na edukację i rozwój osobowości. Kluczową rolę w moich wyborach odegrała nauczycielka matematyki w szkole podstawowej. Miałam ogromne szczęście, że spotkałam ją na swojej drodze. Była wyjątkowa, miała niesamowitą zdolność dostrzegania i rozwijania talentów w każdym uczniu. Dzięki jej sugestiom i pomocy uczyłam się jednocześnie w dwóch szkołach – z moimi rówieśnikami i dodatkowo w specjalnej szkole fizyko-



SYLWIA PIWOWAR (2)

Odlewy artystyczne

matematycznej. Wtedy zrozumiałam, że nauki ścisłe stanowią moją pasję. Początkowo chciałam studiować modną wtedy fizykę jądrową, jednak mój ojciec przekonał mnie do zmiany kierunku zainteresowań. W mieście – w którym dorastałam, funkcjonowało wiele zakładów metalurgicznych, więc wybór był naturalny, studia na wydziale fizykometalurgicznym. Ta decyzja okazała się w konsekwencji strzałem w dziesiątkę.

Czy od razu zdecydowała się pani na doktorat po studiach?

To było raczej marzenie, bo w tamtych czasach nie było łatwo dostać się na studia doktoranckie. Będąc studentką, zamiar pracy w sferze nauki realizowałam przez udział w studenckim kole naukowym, mając jednocześnie ogromne szczęście brać udział w realizacji projektów badawczych wybitnych naukowców. To ostatecznie przekonało mnie, że mój wybór jest właściwy i warto dalej walczyć o kontynuację pracy naukowej. Droga, którą pokonałam, nauczyła mnie pokory i cierpliwości, co później okazało się bardzo przydatne w życiu i pracy.

Jak przebiegała pani dalsza praca badawcza?

Po obronie doktoratu w 1984 roku moim pragnieniem było pracować w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. Aleksandra Krupkowskiego PAN (IMIM PAN). Zamiast tego przyjąłem okresową propozycję pracy „na próbę” w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie, którą złożył mi ówczesny dyrektor, prof. Zbigniew Górny. Ta decyzja okazała się kluczowa, ponieważ zamiast trzech miesięcy pozostałam tam na prawie 35 lat, prowadząc badania nad odlewami metalowymi materiałami kompozytowymi, które wówczas były nowością w Polsce.

W 1989 roku uzyskałam z programu UNIDO pierwszy międzynarodowy projekt dla Instytutu Odlewnictwa, co było ogromnym sukcesem, ponieważ nie mieliśmy wtedy żadnego doświadczenia w przygotowywaniu wniosków międzynarodowych. Otrzymane

finansowanie pozwoliło na przeszkolenie w kraju ponad 20 osób przez ekspertów UNIDO, a część z nich w zagranicznych ośrodkach naukowych i zakładach przemysłowych. Ten projekt nie tylko wprowadził nas w świat zaawansowanych badań i technologii, lecz także umożliwił utworzenie własnego zespołu badawczego oraz modernizację sprzętu. Najważniejszym rezultatem było jednak nawiązanie współpracy z naukowcami światowej klasy, co przyspieszyło rozwój naszego Zespołu Materiałów Kompozytowych.

Profesor Pradeep Rohatgi, kierownik Centrum Materiałów Kompozytowych na Uniwersytecie Stanu Wisconsin w Milwaukee i uznany przez Amerykańskie Stowarzyszenie Odlewników za ojca kompozytów odlewanych, zaproponował nam współpracę w ramach funduszu US-Poland Joint Fund (finansowaną przez amerykański National Institute of Standards and Technology – NIST). Projekt skupiał się na badaniu termofizycznych właściwości ciekłych stopów aluminium z wykorzystaniem naszej aparatury. W kolejnych latach współpraca ta zaowocowała stypendiami naukowymi w USA pod kierunkiem prof. Rohatgiego dla mnie i mojego męża, dzięki czemu włączyliśmy się w badania tam prowadzone. Owocem tych działań były kolejne projekty, w tym trzyletni projekt NIST, który tym razem prowadził mój mąż i skupiał się na zastosowaniu technologii *squeeze casting* w produkcji kompozytów metalowych. Ta technologia wykorzystuje ciśnienie nie tylko do infiltracji ciekłym metalem porowatego zbrojenia, lecz także jako czynnik termodynamiczny kształtujący odlewy.

Stworzyła pani Szkołę Inżynierii Ciekłego Metalu.

Czy może pani powiedzieć, jak do tego doszło?

Podczas projektu UNIDO poznałam prof. Nicolasa Eushathopoulou z Politechniki w Grenoble, z którym rozwijaliśmy metody badań ciekłych metali. Profesor zaplanował pierwszą międzynarodową konferencję na temat zjawisk wysokotemperaturowych w materiałach w stanie ciekłym, co doprowadziło do zaproszenia nas do uczestnictwa i propozycji założenia Międzynarodowego Komitetu High Temperature Capillarity (HTC) wraz z czołowymi ekspertami w tej dziedzinie.

Powstanie Międzynarodowego Komitetu HTC oraz organizacja jego seryjnych konferencji miały ogromne znaczenie dla rozwoju na świecie tego bardzo ważnego obszaru nauki, który obecnie coraz częściej nazywamy inżynierią ciekłego metalu (*liquid metal engineering* – LME), traktując ją jako istotny kierunek badań w dziedzinie inżynierii materiałowej.

Jakie były największe wyzwania i sukcesy związane z organizacją Międzynarodowego Komitetu HTC i seryjnych konferencji w tej dziedzinie?

Badania zjawisk wysokotemperaturowych w ciekłych metalach i stopach mają swoją specyfikę, ponieważ w wysokiej temperaturze wszystko reaguje z wszyst-



Test wykraplania ciekłego metalu na podłożu

kim. To wymaga specjalistycznej aparatury, która nie jest dostępna komercyjnie. Ponadto brak jest odpowiednich standardów. Współpraca ze środowiskiem HTC umożliwiła nam doskonalenie i rozwój metod i procedur badawczych oraz opracowanie własnych urządzeń, których oryginalność potwierdzono patentami i nagrodami. Nasze badania pozwoliły na odkrycie i zrozumienie takich fenomenalnych zjawisk, jak wysokotemperaturowa liquofobowość, „pamięć” cieczy metalowej, dziedziczność jej struktury, zjawisko „tańczącej kropli metalu” oraz mechanizmy whiskerowania powierzchni stałych w kontakcie z ciekłym metalem. Uzyskane wyniki znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu, od lotnictwa po energetykę jądrową.

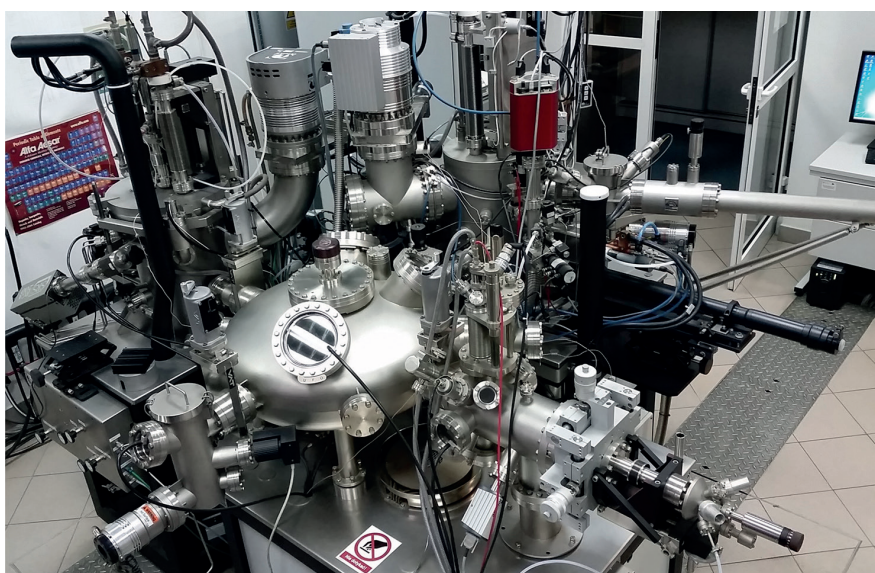
Może to nieskromnie zabrzmieć, ale nie znam innego zespołu na świecie, który mógłby równać się z naszymi osiągnięciami w tworzeniu aparatury do badań ciekłego metalu. Dzięki niej przeprowadziliśmy zaawansowane badania wielu metali i stopów, a wyznaczone charakterystyki służą jako referencyjne „geny materiałowe” (*NIST Materials Genome Initiative, NASA Astrophysics Data System*, adswww.harvard.edu) w modelowaniu i optymalizacji procesów ciekło-fazowych, a także w pracach związanych ze sztuczną inteligencją.

Nasza filozofia „zobaczyć niewidzialne” pozwoliła nam opracować kluczowe wytyczne dla procesów łączenia materiałów przy użyciu wysokotemperaturowej fazy ciekłej, takich jak lutowanie, spawanie czy druk przestrzenny. Obecnie te badania prowadzimy w nowo utworzonym Laboratorium Inżynierii Ciekłego Metalu na Wydziale Odlewnictwa AGH, działającym w ścisłej współpracy z IMIM PAN.

Jak przebiegała pani praca badawcza w USA?

Z perspektywy czasu mogę powiedzieć, że pierwszy wyjazd do Stanów Zjednoczonych i praca na amerykańskiej uczelni były najważniejszym etapem w rozwoju mojego zespołu i mojej karierze, pozwolił zdobyć cenne doświadczenie i nawiązać międzynarodowe kontakty, które owocowały kolejnymi projektami, wspólnymi publikacjami i nowymi pomysłami. Na początku obawiałam się, czy sobie poradzę, ale na miejscu okazało się, że cała organizacja pracy na uczelni jest oparta na zaufaniu i zapewnieniu każdemu naukowcowi komfortu twórczej pracy przy minimalnym obciążeniu go procedurami biurowymi. Miałam pełny dostęp do laboratoriów, aparatury, materiałów pomocniczych, bibliotek i programów komputerowych – mogłam pracować o każdej porze. Był to dla mnie prawdziwy szok kulturowy, ale też swoiste – znowu – spełnienie marzeń.

Dlatego teraz mocno wspieram mobilność młodych naukowców – jak najwcześniej powinni jechać za granicę, zobaczyć, jak wygląda nauka na najwyższym poziomie, i zdecydować, czy chcą się w niej dalej rozwijać.

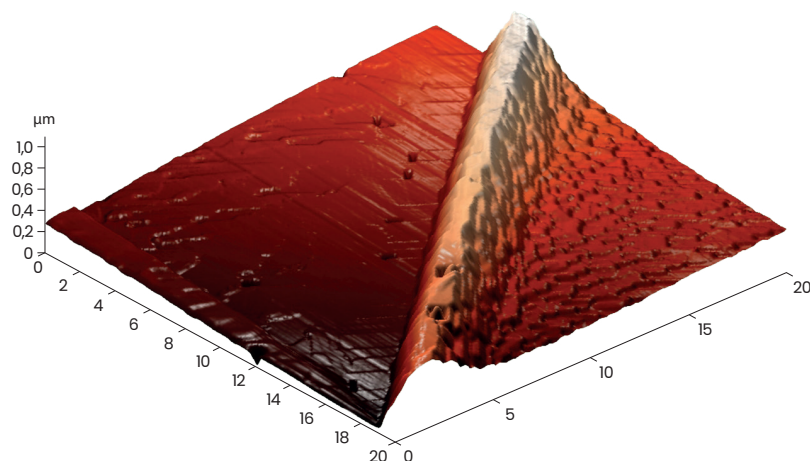


Kompleks aparaturowy

Pracowała też pani w Japonii. Jak pani z perspektywy czasu wspomina pracę w tym kraju?

Warunki mojego rocznego kontraktu w Japonii różniły się od tych w USA. Otrzymałam stanowisko profesora na podstawie mojego dorobku i doświadczenia. Podczas pierwszego spotkania z prof. Kiyosim Nogim usłyszałam: „Just enjoy your stay in Japan”. Moje obowiązki obejmowały badania, doradztwo, pracę z doktorantami i wykłady na wiodących uniwersytetach Japonii, co pozwoliło mi zwiedzić wiele miejsc. Miałam możliwość samodzielnej pracy na stanowiskach wysokotemperaturowych, co dało mi szansę na naukę nowych technik badawczych i operowanie specjalistycznym oprogramowaniem, znacznie skracającym czas analiz danych. Umożliwiło mi to również realizację badań dla projektów krajowych i polsko-amerykańskich, co przyczyniło się do zdobycia habilitacji po powrocie do kraju.

Zjawisko zmiany topografii powierzchni (*surface ridge*)





QR kod dostępu do filmu ilustrującego w czasie rzeczywistym zjawisko tańczącej kropli podczas oddziaływania w wysokiej temperaturze kropli żeliwa z podłożami z tlenku cyrkonu zawierające różne dodatki: po lewej – tlenku itru, po prawej – tlenku magnezu, <https://youtu.be/5-FYDtrW8dE>

Z młodymi naukowcami Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN

Czy może pani opowiedzieć, jak badania nad ciekłymi metalami mogą być wykorzystywane w gospodarce?

W 2007 roku w Instytucie Odlewnictwa założyłam Centrum Badań Wysokotemperaturowych Ciekłych Metali i Stopów, którego funkcjonowanie okazało się niezwykle istotne, wręcz przełomowe. Zainspirowana światowymi laboratoriami, zaprojektowałam kompleks aparaturowy do badań metali i stopów o temperaturze do 2000 st. C, co umożliwiło rozwijanie nowych metodologii. Dzięki finansowaniu i wsparciu dyrekcji zbudowaliśmy unikatowy kompleks, który nie ma odpowiednika na świecie.

Zamiast tradycyjnego patentowania przedstawiliśmy nasze wyniki na konferencji HTC-2007 oraz w czasopiśmie „Materials Science and Engineering”, co szybko zaowocowało propozycjami współpracy od światowych grup badawczych i przemysłowych. Współpraca z krakowską firmą MeasLine zaowocowała mobilną aparaturą nowej generacji o nowych możliwościach badawczych, nagrodzoną Złotym Medalem na Targach ITM Industry Europe 2021 w kategorii Nauka dla Gospodarki.

Z której ze swoich publikacji jest pani najbardziej dumna?

Z pracy, która pokazuje istotną rolę badań podstawowych dla rozwoju nowych materiałów i technologii, zatytułowaną tajemniczo *The Mystery of Molten Metal*. Została ona uznana za najlepszą publikację na 70. Światowym Kongresie Odlewnictwa w chińskim Hanzou w 2010 roku i uzyskała nagrodę międzynarodową firmy Foseco. Był to jednocześnie pierwszy w historii polskiego odlewnictwa otwierający plenarny referat narodowy wygłoszony na Światowym Kongresie Odlewnictwa. Później ta sama publikacja została

wybrana przez Foundry Institution of Chinese Mechanical Engineering Society za jedną z najlepszych w dziedzinie badań podstawowych dla odlewnictwa w dziesięcioleciu 2004-2014.

Czy widzi pani zastosowanie sztucznej inteligencji w swojej dziedzinie?

Pracując jako redaktor wydawniczy w kilku czasopiśmie naukowych, w tym dla Springer – International Publisher, już kilka lat temu zauważyłam, że niektóre publikacje wydawały się podejrzanie zunifikowane i przez to niekompletne, pozbawione naukowego nerwu. Czasem używana w tekstach terminologia była miejscami zupełnie inna niż ta, którą zwykle stosujemy w nauce. Zachodziło uzasadnione podejrzenie, że te artykuły nie mogły być pisane przez naukowców.

Po wprowadzeniu w czasopiśmie specjalistycznego oprogramowania i sprawdzeniu tych artykułów okazało się, że w ich tworzeniu brała udział sztuczna inteligencja. Obecnie są czasopisma, które akceptują takie artykuły, a na niektórych uczelniach dopuszcza się również wykorzystanie AI do analizy literaturowej badanego zagadnienia w pracach magisterskich czy doktorskich. AI może wykonać taką analizę bez interpretacji wyników, co jest bardzo przydatne w opisach patentowych, opartych tylko na danych testowych. Sztuczna inteligencja będzie użyteczna, kiedy nauczy się „czytać” myśli twórców i uwzględnić wyniki wszystkich naszych eksperymentalnych doświadczeń i symulacji mentalnych. AI musi jeszcze nauczyć się rozumieć kontekst i niuanse, które my, naukowcy, dostrzegamy i wykorzystujemy do analizy wyników dzięki wieloletniemu doświadczeniu, wiedzy i intuicji.

Niewątpliwie komunikacja z AI wymaga stosowania odpowiedniego języka, inaczej nieuniknione będą błędy. Dlatego wymagam od swoich młodych pracowników stosowania w naszych publikacjach precyzyjnej terminologii i jednoznacznych stwierdzeń. Dla przykładu zapytałam AI: „Jakie stopy zwilża ciekły magnez?” – po długim namyśle pojawiła się odpowiedź: „Jesteś zabawna”. Uzmysłowiliśmy wówczas sobie, że swoiste zakłopotanie AI wynikało z tego, że miała ona na myśli stopy jako część nóg, a nie stopy jako tworzywa.

Dalej było jeszcze trudniej, bo AI nie wiedziała, że definicja stopów jako materiałów inżynierskich bardzo uległa zmianie przez ostatnie 100 lat i obecnie są do nich zaliczane nie tylko tworzywa *stricto* metalowe, lecz także kombinacje z pierwiastkami należących do niemetali, związków międzymetalicznych i nawet tlenków, azotków, węglików czy gazów. Co więcej, wbrew szeroko stosowanej definicji stopów stopienie składników już nie jest koniecznym warunkiem wytwarzania odpowiedniego stopu i można to zrobić np. przez stopowanie mechaniczne (*mechanical alloying*).



SYLWIA PIWOWAR

Widzę ogromny potencjał w zastosowaniu sztucznej inteligencji. Gdybyśmy mieli do niej dostęp 30–40 lat temu, postęp w badaniach mógłby być wprost niesamowity. W mojej dziedzinie zastosowanie sztucznej inteligencji jest możliwe wtedy, gdy mamy szczegółowo opisane poszczególne etapy eksperymentu. Bez dokładnych informacji otrzymywane wyniki mogą być mylące, dalekie od rzeczywistości.

Ile trzeba zrobić eksperymentów, żeby osiągnąć sukces?

Wszystko jest kwestią doświadczenia, wcześniejszych porażek, odpowiedniego podejścia do własnych badań, badań koleżanek i kolegów. Tak jak w medycynie trzeba nieustannie czytać, śledzić, analizować, kto co zrobił, kto co zmienił, kto co udoskonalił w samym sposobie pomiaru. Mam wiele przykładów na to, że kiedy coś nie wychodziło, przyczyną niepowodzenia był drobiazg.

Kiedy pracowałam nad projektem amerykańskim i część badań robiłam w Japonii, kolega przygotował próbki w NASA, używając przez pomyłkę tygla z tlenku glinu zamiast z tlenku magnezu, bo wyglądają one wizualnie niemalże identycznie. Badania próbek, które otrzymałam, były nieprawidłowe, a ich zachowanie w trakcie badań wysokotemperaturowych było absolutnie niezgodne z przewidywaniami.

Wyjaśnienie anomalii zajęło nam naprawdę sporo czasu. Dzięki przestrzeganiu zaawansowanych procedur badawczych, zwłaszcza dokładnym opisom każdego etapu przygotowania i prowadzenia eksperymentu odkryliśmy, że przyczyną naszych problemów był niewłaściwy materiał tygla. Podczas topienia w nim badanego metalu zaszły reakcje chemiczne między tymi materiałami, co wpłynęło na wyniki eksperymentów w Japonii. I takie właśnie drobne, „nieistotne” szczegóły są niekiedy kluczowe. Dlatego trzeba naprawdę przeprowadzić osobiście wiele prób i dokonać bardzo szczegółowych opisów, by osiągnąć sukces i zrozumieć, co wpływa na rzetelność i prawidłowość wyników.

Ale nie zawsze liczba przeprowadzonych testów zapewnia dobrą jakość i wiarygodność uzyskiwanych wyników. W naszych badaniach niekiedy większe znaczenie mają takie cechy naukowca jak kreatywność, staranność i zwracanie uwagi na najdrobniejsze szczegóły, czego na danym etapie trudno oczekiwać od sztucznej inteligencji.

Jakie trudności napotykają naukowcy w swojej pracy badawczej?

W odniesieniu do obecnej sytuacji bez wątpienia są to konflikty zbrojne, zawirowania polityczne i niedofinansowanie nauki, które zmuszają naukowców do wyjazdu, niechcianej zmiany zatrudnienia lub rezygnacji z pracy dla nauki.

Obecnie pracuję w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. Aleksandra Krupkowskiego PAN



SYLWIA PIWOWAR

prof. dr hab. inż. Natalia Sobczak, wiceprezesa PAN

Zajmuje się naukowymi, metodologicznymi i praktycznymi aspektami zjawisk wysokotemperaturowych w obszarze inżynierii ciekłego metalu, w tym opracowaniem nowej generacji materiałów dla energetyki, magazynowania energii i przemysłu samochodowego, tworzyw ultralekkich dla potrzeb medycyny i przestrzeni kosmicznej oraz problematyką łączenia różnorodnych materiałów.

Kieruje Pracownią Teorii Procesów Metalurgicznych w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. Aleksandra Krupkowskiego PAN. Wykładowczyni Krakowskiej Interdyscyplinarnej Szkoły Doktorskiej. Wiceprezesa Polskiej Akademii Nauk w kadencji 2023–2026.

natalia.sobczak@pan.pl

– więc spełniło się moje marzenie z młodości. Ale świadomość aktualnie ogromnych ograniczeń badań i problemów funkcjonowania instytutów naukowych PAN, wynikających z braku należytego finansowania nauki, napawa mnie smutkiem. Obawiam się, że wielu młodych utalentowanych naukowców nie wytrzyma tej presji i albo wyjedzie uprawiać naukę za granicą, albo zmieni zawód.

Zapewne – w co wierzę głęboko – nikogo nie trzeba zbytnio przekonywać, że nie ma rozwoju cywilizacji bez systemowego stosowania innowacji. Ale jak z kolei przekonać rządzących, że nie ma innowacji bez prowadzenia badań podstawowych?

ROZMAWIALI JOLANTA IWAŃCZUK, DANIEL SAX