

# MIKRO-KAPSUŁKI W ASFALCIE

O INTELIGENTNEJ NAWIERZCHNI, KTÓRA SAMA SIĘ NAPRAWIA,  
OPOWIADA **DR HAB. INŻ. MICHAŁ SARNOWSKI**



**Wydział  
Inżynierii Lądowej**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

**Nazwa Pana projektu pokazuje cały proces badawczy: nie tylko wypracowują Państwo technologię, ale też prowadzą wszystkie niezbędne prace dotyczące tego, żeby ją faktycznie wdrożyć.**

Tak, „Opracowanie i wdrożenie innowacyjnej technologii asfaltowych nawierzchni samonaprawialnych o wysokiej trwałości”. Jest długa nazwa, ale musi być ten element: opracowanie, wdrożenie, innowacyjne i to są te słowa klucze. Badania są realizowane w Zakładzie Technologii Budowy Dróg działającym na Wydziale Inżynierii Lądowej PW w ramach Programu Operacyjnego NCBR Inteligentny Rozwój, konkurs: Szybka Ścieżka . Wdrożenie, to teraz podstawa każdego projektu naukowego, nie tylko dotyczącego techniki, ale czasem nawet z zakresu nauk humanistycznych. Pewnie nie dotyczy to wszystkich rodzajów nauk, ale dyscyplina inżynieria lądowa i transport wybitnie wymaga elementów wdrożenia.

**Co to znaczy, że coś jest naprawdę samonaprawialne? Jak powierzchnia może być samo naprawialna? Proszę mi o tym opowiedzieć.**

Może powinniśmy zacząć od tego, że ludzie, jako istoty żywe, podobnie jak zwierzęta, a także rośliny, mamy zdolność do samoleczenia ran. Na przykład drzewa mają warstwę, która odpowiada za samoleczenie uszkodzeń - kambium: rany są zalewane i po jakimś czasie może nawet nie być widać po nich śladów. W technice również istnieją materiały, które mają taką zdolność. Ja zajmuję się nawierzchniami, przede wszystkim asfaltowymi, czyli tymi, których jest na świecie mniej więcej 95%. Są oczywiście stosowane asfalty naturalne, ale główna część to asfalty produkowane z ropy naftowej w rafineriach, które wymagają ciągłego doskonalenia.

Asfalt jako materiał, sam w sobie ma zdolność do samoleczenia. Na przykład kiedy latem wzrośnie temperatura to pęknięcia mogą się same zasklepić. Można powiedzieć, że to materiał inteligentny, skoro sam w pewnym stopniu jest w stanie się naprawić. Natomiast nie do końca nim jest, bo gdyby w pełni był w stanie naprawić się sam, to nie mielibyśmy popękanych nawierzchni, a niestety mamy. W związku z czym, chcemy mu pomóc w tym samoleczeniu.

**Rozumiem, że w projekcie opracowaliście państwo metodę wspierającą to samonaprawianie. Na czym to polega w praktyce?**

Jesteśmy na etapie badań laboratoryjnych. Nie rozpoczął się jeszcze etap wdrożenia, a dopiero po szczęśliwym przejściu tego etapu, będziemy mogli mówić pełnoprawnie, że opracowaliśmy tę technologię.

Mamy coś na wzór stosowanych w medycynie leków w formie kapsułki, w której zamknięty jest lek, substancja naprawcza. Po jej połknięciu, kapsułka rozpuszcza się w żołądku i lek jest uwalniany. Taka sama idea jest zastosowana tutaj w przypadku nawierzchni asfaltowych. Opracowaliśmy bardzo małe kapsułki, które mają wielkość do około 150 mikrometrów. To są maleństwa przypominające swoją wielkością drobno mieloną sól, właściwie puder. W kapsułce zawarta jest substancja pochodzenia roślinnego, opracowana przez nas w innym celu kilka lat wcześniej. Okazało się, że oddziaływanie tego środka na ścianki mikrorysy, która pojawia się w nawierzchni pomaga w zasklepieniu, zaleczeniu tego mikropęknięcia.

Mówimy o mikropęknięciach, których nie widać gołym okiem. Dopiero z czasem, jeżeli mikrorysa nie zostanie zaleczona, powstają widoczne pęknięcia o różnych formach: poprzeczne, podłużne, czasem w formie pajęczyny albo przypominające skórę aligatora. W przypadku wielokrotnych obciążeń od tirów powstają tzw. obciążenia zmęczeniowe nawierzchni:

naprężenia rozciągające wewnątrz nawierzchni mogą powodować powstawanie mikrorys. Natomiast, jeśli wewnątrz asfaltu będą mikro-kapsułki, powstająca mikrorysa je rozerwie, przez co wyleje się z nich środek naprawczy. Mikrorysa albo się zasklepi albo zostanie opóźnione jej rozprzestrzenianie się. W efekcie, sama nawierzchnia ulegnie zniszczeniom znacznie później.

Jak materiał jest podatny na takie mikrorysy, to my go raczej nie uratujemy całkowicie, ale jeśli byśmy opóźnili o kilka lat powstanie tych zniszczeń, no to mamy wielki zysk w skali społecznej.

### **Czyżby rzadsze remonty dróg związane z naprawą nawierzchni?**

Tak, bo taka nawierzchnia będzie później remontowana. Naprawa drogi to jest zawsze wielkie obciążenie społeczne. Umiemy to już liczyć: jakie są koszty społeczne, gdy drogę naprawia się np. nie co 5 lat tylko co 6 lat. I okazuje się, że warto walczyć o każdy rok.

**Jak dużą cierpliwość mają te kapsułki? Rozumiem, że kapsułka pęka jednorazowo w danym miejscu i potem mogą pękać inne kapsułki w innych miejscach. Co jeżeli asfalt będzie pękał konsekwentnie w jednym i tym samym miejscu? Czy badają Państwo żywotność tego materiału, po jakim czasie kapsułki już przestaną pomagać?**

Tak, oczywiście, jeśli w danej mikrorysie zadziałały kapsułki, to efektywność samonaprawcza w przypadku kolejnej mikrorysy w tamtym rejonie spadnie. Natomiast oczywiście mogą powstawać w innym rejonie tego kompozytu nowe pęknięcia i tam zamknięte ciągle kapsułki powinny zadziałać. To jak kapsułki zachowają się po wielu latach eksploatacji nawierzchni jest bardzo ważną kwestią związaną z ich trwałością. Sprawdzamy ją na poziomie testów laboratoryjnych. Ale niestety, to jest ciągle tylko laboratoryjna symulacja, a my byśmy chcieli, żeby te kapsułki wytrzymały w nawierzchni kilka lat, zanim rozpocznie się proces pęknięcia nawierzchni. Na ogół nowe nawierzchnie są w tej chwili odporne na spękania zmęczeniowe czy termiczne. Proces pęknięcia zaczyna się dopiero w momencie zestarzenia się asfaltu, co daje wyraźny efekt po kilku latach użytkowania drogi. Kapsułki powinny w tym czasie przetrwać szczelnie zamknięte, bezpieczne i otworzyć się dopiero w momencie awarii, czyli powstania mikrorysy. I to jest duży problem, na który jeszcze do końca nie umiemy odpowiedzieć - na ile one będą trwałe. Wyniki laboratoryjnych symulacji są jednak obiecujące.

**Czyli planują gdzieś Państwo przetestować taką nawierzchnię w świecie rzeczywistym? Jak będzie przebiegało badanie prototypu?**

Oczywiście, musimy też badać to innowacyjne rozwiązanie w warunkach rzeczywistych. Projekt przewiduje

wybudowanie dwóch odcinków drogowych o długości około 300 m: jeden z kapsułkami, drugi bez, dzięki czemu będzie można je porównać. Budową zajmie się konsorcjant, partner przemysłowy Budimex, który najpierw w swoim laboratorium - równoległe z nami - przebadają kapsułki i nawierzchnię, a potem wykona jej prototyp. W tym wypadku nie mówimy o samym asfalcie, tylko o tak zwanej, mieszance mineralno-asfaltowej. To z niej budowane są drogi, a słowo „asfalt” używa się tylko w potocznym znaczeniu. W nawierzchni asfaltowej asfaltu jest mniej więcej 5%, a ok. 95% to jest kruszywo, podobnie jak w betonie, w którym zamiast asfaltu jest cement. Mimo, że to „tylko” 5%, to właściwości asfaltu w dużej mierze odpowiadają za większość zniszczeń, jak np. koleinowanie.

### **Czemu go dodajemy do tej mieszanki?**

Są oczywiście nawierzchnie wykonane tylko z kruszyw albo tylko z betonu cementowego. Asfalt to rodzaj lepiszcza, które skleja, wiąże kruszywo: jest szczelny, ale również elastyczny. Elastyczność to jest cecha nawierzchni asfaltowej, której nie ma beton cementowy, z którego wykonuje się nawierzchnię sztywną. Nawierzchnie asfaltowe są podatne, dzięki czemu mają wiele bardzo dobrych cech: przejmowane cyklicznych

„Mamy coś na wzór stosowanych w medycynie leków w formie kapsułki, w której zamknięta jest substancja naprawcza. [...] Okazało się, że oddziaływanie tego środka na ścianki mikrorysy, która pojawia się w nawierzchni pomaga w zasklepieniu, zaleczeniu tego mikropęknięcia”.

obciążeń od ruchu, przejmowanie naprężeń termicznych - takie nawierzchnie pracują, ale nie pękają. Zwiększa się też komfort jazdy. Betonowe nawierzchnie „walczą”, żeby być cichsze i to w wielu przypadkach się udaje, ale ciągle, moim zdaniem, nie wygrały tej rywalizacji z nawierzchniami asfaltowymi. Niektóre zrównują się, pod względem zdolności redukcji hałasu komunikacyjnego, z dobrymi asfaltowymi nawierzchniami, jednak ciągle najcichsze nawierzchnie, to te asfaltowe.

**A czy te kapsułki spowodują, że obciążenia zmęczeniowe nie wywołają, jak to się popularnie mówi, kolein, albo pojawią się trochę później, albo będą mniejsze?**

Zanim odpowiem na to pytanie, muszę przedstawić mini wykład o rodzajach zniszczeń. Najczęściej mamy takie uszkodzenia jak koleinowanie w wysokich temperaturach, np. gdy powyżej 40°C nawierzchnia się nagrzewa, a jeżdżą po niej samochody ciężarowe.

Natomiast w niższych temperaturach nie występują koleiny, ale mogą wystąpić pęknięcia zmęczeniowe, od wielokrotnego obciążania i odciążania nawierzchni. One cały czas pracują i w pewnym momencie powstaje pęknięcie. Z kolei w temperaturach poniżej zera mogą powstać spękania niskotemperaturowe już nie od obciążenia, tylko od zmian temperatury.

Mikrokapsułki są przeznaczone tylko do pęknięć zmęczeniowych, czyli tych, które występują w temperaturze około +5 do + około 15°C. Nie mają nic wspólnego z koleinami, które są zniszczeniami letnimi w wysokich temperaturach. Teoretycznie mogłyby działać w temperaturach zimowych, poniżej zera i pewnie by działały, natomiast my staramy się je zaaplikować w tych zmęczeniowych rodzajach zniszczeń, których jest bardzo dużo.

Nowoczesna technologia asfaltowa poradziła sobie z koleinami przez dodawanie polimerów do asfaltów. Wszystkie nawierzchnie asfaltowe autostrad są z asfaltem modyfikowanym polimerem, tzw. polimeroasfalty, które nie wykazują kolein. Gorzej z niskimi temperaturami i zniszczeniami zmęczeniowymi - polimery nie zawsze sobie radzą z tymi naprężeniami, powstają mikrorysy i mikrokapsułki mają pomóc właśnie w tym zakresie.

**Do jakich innych rozwiązań moglibyśmy zaaplikować pomysł z mikrokapsułkami, które leczą, bo mają w sobie jakiś płyn naprawczy?**

Mikrokapsułki są już stosowane w bioinżynierii, w medycynie i dietetyce, w przemyśle kosmicznym, lotniczym zapewne też. Samoleczenie mikrorysy w raketach, w statkach kosmicznych - przecież to jest genialne rozwiązanie! Tam są olbrzymie naprężenia w tych kompozytowych materiałach. Jeśli chodzi o inżynierię lądową, to najbliższym materiałem, w którym mogą być zastosowane mikrokapsułki jest beton cementowy: do nawierzchni i konstrukcji budowlanych. Są już znane rozwiązania wspomagające samoleczenie nawierzchni asfaltowych, jednak do tego wykorzystywana jest dodatkowa energia, np. pole elektromagnetyczne. Jakby poszukać w literaturze, stosowanie w inżynierii mikrokapsulek z wypełnieniem naprawczym to jest kierunek, w który zdążają badania światowe, ale jeśli chodzi o ich zastosowanie na drodze, to praktycznie nie ma takich przykładów wdrożenia - zbyt krótko jest ten pomysł analizowany. Sama koncepcja powstała dość dawno, ale wcześniej nie było możliwości stworzenia takich mikrokapsulek.

**Co sprawiło, że wcześniej nie było, a teraz jest możliwe wykorzystanie mikrokapsulek? To jest bardzo ciekawy wątek, że pomysł był, ale dopiero od niedawna faktycznie zaczęto śledzić rozwiązania i badać wnikliwie ten temat.**

Myślę, że przełomem jest myślenie o materiałach budowlanych w inny sposób niż myślano 20, 30 lat temu. Teraz wymaga się od każdego materiału budowlanego żeby wpisywał



się w zrównoważony rozwój budownictwa. To jest podstawa, ponieważ każdy materiał, w tym budowlany, powinien być produkowany z takiego materiału, który będzie można ponownie użyć. Po pierwsze recykling.

Większość naszych poprzednich projektów dotyczyła już możliwości wykorzystania pozornie zużytego materiału, na przykład do budowy nawierzchni z wykorzystaniem destruktu asfaltowego, czyli materiału z frezowania starych nawierzchni i ponownego jego użycia z niewielkim dodatkiem nowych materiałów (nawet kilkakrotnie). Również nawierzchnie gumowo-asfaltowe, z dodatkiem rozdrobnionych, zużytych opon samochodowych, które wcześniej zalegały na składowiskach albo były palone w elektrociepłowniach lub cementowniach. Teraz są mielone na proszek i dodawane do asfaltu, po to żeby nawierzchnia była bardziej ela-

styczna, a właściwości asfaltu były podobne do gumy. Nawierzchnie gumowo-asfaltowe z niewielkim dodatkiem gumy są układane już i w Polsce, podobnie jak na całym świecie.

### **Sprytne rozwiązania! Jak wyglądają prace zespołu badawczego przy tego typu wyzwaniach?**

Zrównoważony rozwój to inteligentne materiały. A gdyby wprowadzić inteligentną nawierzchnię? To jest rozwiązanie pionierskie i naprawdę przyszłościowe. Od strony technologicznej, chemicy działający w Zespole badawczym Wydziału Inżynierii Lądowej PW opracowują mikrokapsułki, pracują nad poprawianiem ich właściwości, żeby były bardziej kruche, bardziej sztywne albo elastyczne, bo one nie mogą pęknąć w trakcie produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej (kiedy

temperatura może sięgać 200°C), czy podczas budowy (kiedy jeździ po nawierzchni walec). My, jako inżynierowie drogowi, umiemy dodać mikrokapsułki do naszego materiału i zbadać mikroskopowo i tomograficznie czy one się otworzyły, wywołać mikrorysę w laboratorium, stworzyć symulację warunków rzeczywistych. Ponadto, w badaniach uczestniczą inżynierowie z Wydziału Inżynierii Materiałowej PW, którzy oceniają kapsułki już w samym kompozycje mineralno-asfaltowym: czy one się otworzyły, czy przetrwały, czy są odporne na wysoką temperaturę.

### **Co zyskujemy dzięki inteligentnym nawierzchniom?**

Lepsze gospodarowanie siecią dróg, rzadsze ich remonty, niższy koszt społeczny związany z tymi remontami. Amerykanie już od ponad 30 lat te koszty wyliczają - mają na to odpowiednie wzory. Jeśli jeździmy objaz-

„My, jako inżynierowie drogowi, umiemy dodać mikrokapsułki do naszego materiału i zbadać mikroskopowo i tomograficznie czy one się otworzyły, wywołać mikrorysę w laboratorium, stworzyć symulację warunków rzeczywistych”.

dem przez rok, zamiast przykładowo prostym odcinkiem drogowym przez most, to konieczność wykonania ob-

jazdów, czas spędzony w korkach, spóźnienia do pracy, wcześniejsze wstawanie by zdążyć, dłuższa jazda, spalanie większej ilości benzyny, generują dodatkowe koszty. Wszystko da się wyliczyć: obciążenie dla gospodarki, obciążenie dla społeczeństwa. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, która jest głównym zlecniodawcą budowy polskich autostrad i dróg ekspresowych wprowadza już sposoby analizy kosztów społecznych, analizy cyklu życia materiału budowlanego i całej nawierzchni. Inteligentna nawierzchnia ma więc wspomóc ideę zrównoważonego rozwoju w budownictwie.

### **To skoro już tak liczymy, pomówmy o koszcie nowej nawierzchni: czy ona jest dużo droższa? Czy ten rachunek kosztów i korzyści łatwo jest obronić, przekonując do wykorzystania nowej nawierzchni?**

Z nowymi technologiami w drogownictwie prawie zawsze jest tak samo. Na początku jest droższa i wydaje się być bardziej skomplikowana technologicznie. Mało firm umie ją wykonać, boją się tego, a to się przekłada na nieufność inwestorów. W miarę rozwoju danej technologii i pokazywania jej pierwszych, udanych zastosowań, na początku na odcinku testowym, potem w pierwszej realizacji, stopniowo przekonuje się do tego więcej podmiotów. I tak,

powoli, pojawiają się pierwsze przemysłowe zastosowania. Zaczynają o tym mówić dziennikarze. W pewnym momencie okazuje się, że coraz więcej firm jest w stanie wykonać taką nawierzchnię i że wcale nie jest ona taka droga. Mimo, że jest droższa na etapie produkcji, to po wyliczeniu cyklu jej życia okazuje się, że jest ostatecznie tańsza, bo ją remontujemy rzadziej. Wtedy do nowej technologii przekonują się samorządowcy i inni zarządcy dróg.

Najlepszym przykładem tego procesu jest wprowadzanie technologii nawierzchni z dodatkiem rozdrobnionej gumy ze zużytych opon samochodowych, czyli nawierzchni gumowo-asfaltowych. Na początku faktycznie wykonanie było droższe. W tej chwili koszt wyprodukowania mieszanki mineralno-gumowo-asfaltowej jest niższy niż tej standardowej, bo okazuje się, że rozdrobniona guma jest tańsza niż kruszywo, które ta guma zastępuje, a asfalt z dodatkiem gumy jest tańszy niż stosowany powszechnie polimeroasfalt. Ostatecznie to są stare opony, to jest odpad. Technologia ta, na początku nie była w Polsce zbyt chętnie stosowana, a teraz jest nie tylko tańsza, ale i daje lepszy efekt w postaci bardziej sprężystej nawierzchni, która pracuje jak guma i rzadziej się ją w związku z tym remontuje. W perspektywie 20-30 lat eksploatacji takiej nawierzchni, okazuje się, że jest tańsza dla inwestora, np. dla gminy.

## **Co jest najciekawszym wyzwaniem badawczym w kontekście projektu nawierzchni samonaprawialnej?**

Ogólnie rzecz biorąc to problem z wywołaniem pęknięcia, ze zmuszeniem kapsułki do jej otwarcia. Obecnie, otwieramy ją w laboratorium, ale jak ona się zachowa za kilka lat w nawierzchni? Czy tak samo się otworzy? A czy się nie zestarzeje? Czy my prowadząc badania w laboratorium idealnie symulujemy warunki, które będą panowały na drodze, zmuszając kapsułkę do otwarcia? Obciążamy i udajemy, że to TIR przyjeżdża i odjeżdża, ale czy my to dobrze robimy? Nie jesteśmy pewni, nie ma na ten temat literatury. Każdy ośrodek naukowy bada po swojemu, a jak wchodzimy w literaturę światową, poszukując szczegółów, to robi się niejasno.

Nadal nie jesteśmy całkowicie pewni, czy idziemy w dobrym kierunku. Już kilkakrotnie zmienialiśmy kierunki badań, kiedy wiedzieliśmy, że błądzimy. To nie jest tak, jak z poprzednimi wdrażanymi technologiami, że na ogół są już gdzieś na świecie sprawdzone. Amerykanie stosują rozdrobioną gumę od 50-60 lat, ale w Europie pierwsze próby wprowadzania tej technologii obserwujemy od 20-30 lat, przy czym w Polsce na szeroką skalę dopiero od 10. Z nawierzchniami samonaprawialnymi z dodatkiem mikrokapsułek może być podobnie. Jest wiele meandrów badawczych, ten projekt jest wybitnie pod tym



względem skomplikowany i trudny. Mamy to wpisane w ryzyko projektu, że „może się nie udać”, ale w takim wypadku, po zakończeniu projektu i tak będziemy dalej próbować. Jestem pewien, że gdybyśmy przerwali to ktoś inny – w kraju czy za granicą – podejmie ten ciekawy temat. Trzeba się spieszyć, jeżeli chcemy być pionierami.

### **Jaka jest rola naukowca? Co oznacza dla Pana określenie „społeczna odpowiedzialność nauki”?**

Rola naukowca to dociekanie prawdy. Każde działanie człowieka, które ma aspekty naukowe, powinno prowadzić ostatecznie do tego, żeby zwykłym ludziom żyło się lepiej, bardziej komfortowo: żeby lepiej się jeździło, żeby budynki były ciepłe, przyjazne, żeby rzadko trzeba było je naprawiać. Można powiedzieć, że na przestrzeni wieków różne technologie najszybciej rozwijały się podczas wojen, po czym opracowane wtedy rozwiązania przechodzą do cywilnych zastosowań. Tylko, że jakim kosztem! To jest smutne. Na szczęście teraz nie jest to warunek konieczny do powstawania innowacyjnych technologii.

### **Co ciekawego czeka nas w ciągu najbliższych 10 lat w inżynierii budowlanej?**

Przyspieszony rozwój. Można by powiedzieć, że wszystko już wymyślono – beton, asfalt, cegłę, cement, ale to nieprawda. Inżyniera budowlana będzie się rozwijała w kierunku inteligentnych materiałów – coraz bardziej

skomplikowanych i precyzyjnych, wymagających bardzo dużej kultury wykonania, początkowo drogich, ale w długiej perspektywie – tańszych.

### **Co sprawiło, że temat nauki tak Pana pochłonął?**

Odpowiedź jest prozaiczna: rynek pracy. Kiedy byłem absolwentem inżynierii lądowej, zawsze marzyłem o tym, żeby pracować na budowie, ale 20 lat temu był zupełnie inny rynek pracy. To nie była przyjazna praca, jak obecnie, kiedy nasi absolwenci otrzymują odpowiednią pensję i możliwości rozwoju. Mój promotor zachęcił mnie do studiów doktoranckich i to mnie bardzo wciągnęło. Okazało się, że pracując w laboratorium drogowym również jesteśmy w pewnym sensie na budowie. Mamy kontakty, wielu przyjaciół, zarówno w wielkich firmach wykonawczych, jak i mniejszych – czasem o wiele odważniejszych we wprowadzaniu nowych technologii, niż te duże podmioty.

Wciągnęło mnie też uczenie studentów. Zawsze byłem bardzo nieśmiały. Występy publiczne były dla mnie koszmarem. A okazało się, że jestem w stanie poprowadzić zajęcia, które, jak mi się wydaje, studentom się podobają. Pracując na uczelni, to jest wspaniałe, że człowiek czuje się młody, nie ma szans, żeby zgnuśnieć w tej pracy. Po pierwsze, obcuje się z nowymi technologiami, tymi z pierwszej linii, po drugie współpracuje się z młodymi ludźmi.

Nie będę mówił o części formalnej,

papierkowej, która sprawia, że my nigdy nie możemy się nudzić, zwłaszcza jeśli chodzi o projekty, które są trudne w przygotowaniu. To jest okropne uczucie, kiedy wiele miesięcy przygotowuje się projekt, a on „nie przechodzi”. Sztab ludzi pracuje wiele miesięcy za darmo, bo przecież za to nie dostajemy dodatkowo pieniędzy, a potem się nie udaje. No, ale trudno, taka jest nauka. Ta praca nie idzie na marne: uczymy się, poprawiamy, doskonalimy, próbujemy jeszcze raz i... udaje się. Ostatecznie mamy dobrą trafność w aplikowaniu o granty - prawie 80% projektów przechodzi, to naprawdę dużo.

**To rzeczywiście dużo. Widać też, że praca naukowa wymaga sporo wytrwałości nie tylko w samych badaniach, ale zadbania o ich finansowanie. Proszę powiedzieć, na zakończenie, z czego jest Pan najbardziej dumny? Co sprawia panu największą satysfakcję?**

To, że, jestem w tym punkcie kariery, w którym teraz jestem i że uczę studentów. To nie jest w pełni naukowe osiągnięcie, ale dla mnie to jest największe osiągnięcie zawodowe i kiedyś nigdy w życiu bym nie przypuszczał, że mogę być nauczycielem akademickim. Cała reszta pracy na uczelni to jest miła pochodna - wynalazki, które się udaje wprowadzić, patenty i innowacje. Już mogę o takich efektach mówić, bo tyle lat pracuje, że widzę efekty działalności naszego zespołu. Należy też podkreślić, że to nie jest tylko moja działalność,

ale całego zespołu. Wiele zespołów naukowych się rozpadło: pokłócili się i poszli swoimi drogami, a my jesteśmy od wielu lat jednością i to jest wielki sukces.

**Rozmowę przeprowadziła:**  
dr Aleksandra Wycisk  
(DBA CZliTT PW)