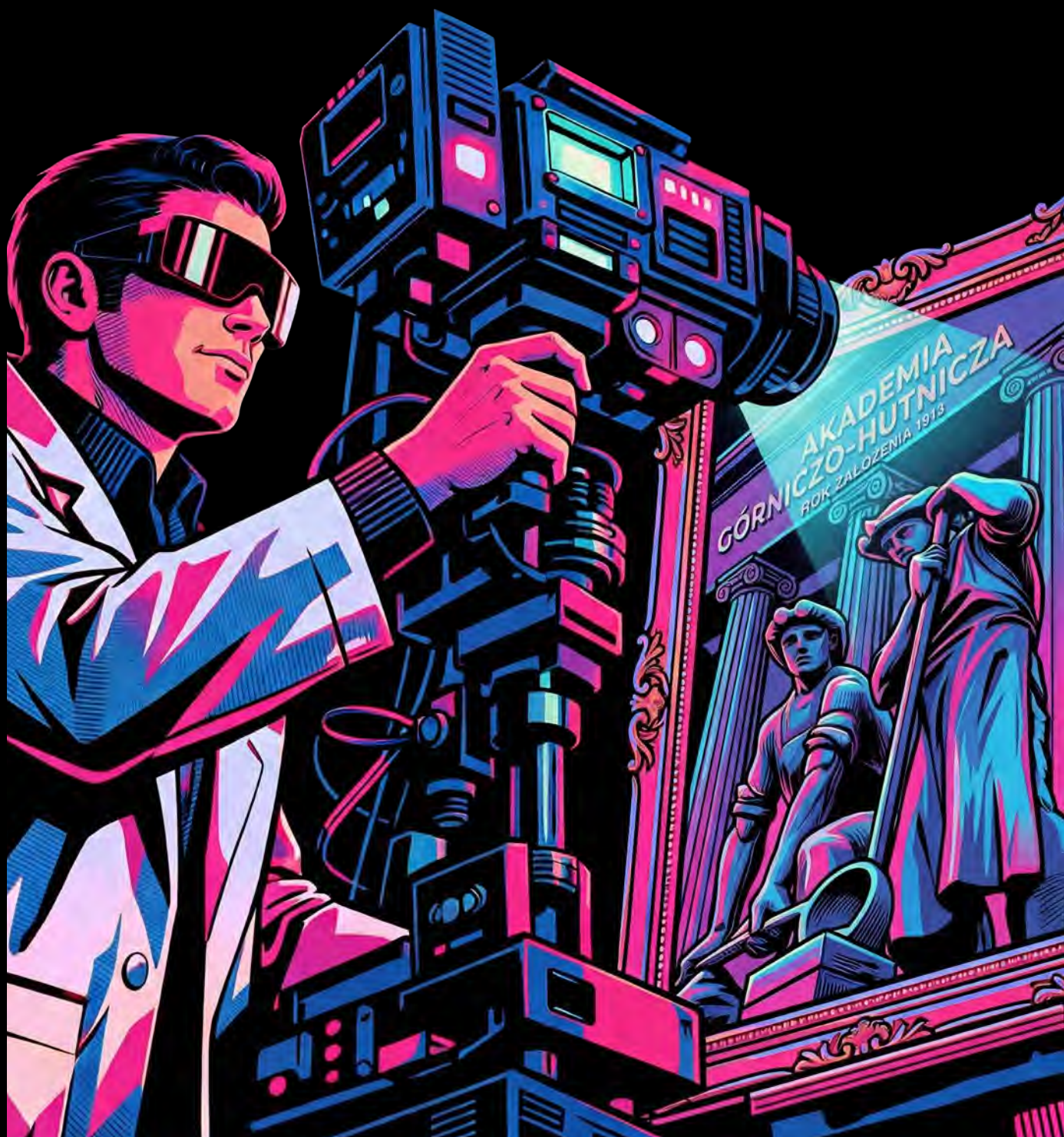


SCIENCE
NAUKA

AGH



NAUKA
SCIENCE

AGH



Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

AGH University of Krakow

2026



Wydawca
Centrum Komunikacji i Marketingu
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Ilustracje powstały z wykorzystaniem sztucznej inteligencji bazującej na graficznych modelach uczenia maszynowego.

Produkcja
NBI Media Mariusz Karpiński-Rzepa

Kraków 2026
agh.edu.pl

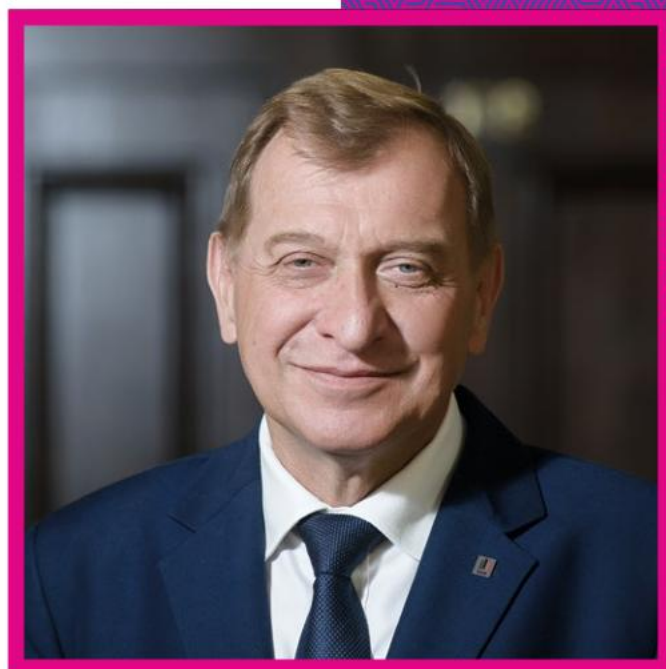
Spis treści

Słowo Rektora	5
Socjolog z AGH: Chciałbym pokazać seniorom alternatywę dla telewizji	6
Góry też mogą być smart. Uczony z AGH rozwija inteligentny system wspomagania ratownictwa górskiego	11
Badania w AGH weryfikują skuteczność form witaminy E w ochronie przed UV	14
Studentka AGH zbudowała stanowisko do badania baterii litowo-jonowych w stratosferze	17
Na pomoc strażakom	20
Jak tchnąć życie w dachy	24
Jak zbadać 500-letni szkic Michała Anioła i go nie zniszczyć?	28
Bielik – polski model językowy powstał w AGH	32
Rośliny na podstuchu akustyków z AGH	36
Jak projektować inwestycje odporne na zmiany klimatu?	39
Naukowcy z AGH: Wiele miejsc w Polsce może kryć złoża wodoru	42
W AGH powstają bioimplanty wspomagające regenerację ubytków chrzęstno-kostnych	46
Czy krakowskie powietrze ma dobrą jakość? Zespół z AGH zbadał pył PM _{2,5} przy użyciu synchrotronu	49
Jak udoskonalić leczenie nowotworów?	52
Ołów zbliżył nas do Wielkiego Wybuchu	58
Skąd wziąć wodę na Marsie?	61
Materiał, który wie co robić – efekt międzynarodowej współpracy i niekonwencjonalnej chemii	64
Opaski z MXenami wróciły z kosmosu	68
Analiza danych przestrzennych a wzrost bezpieczeństwa mieszkańców dużych miast	71
Prototyp domu zasilanego wyłącznie wodorem i fotowoltaiką powstał w AGH	74
Sztuczna inteligencja wspiera diagnostykę obrazową – projekt naukowców z AGH w Krakowie pomoże lekarzom	76
Kiedy oddech może uratować zdrowie? Sprawdźmy to!	78
AGH uruchamia kwantową ochronę danych – Kraków zyskuje przewagę w cyberbezpieczeństwie	80
Nauka bywa niezmiernie lekka	83
Laboratorium Geoenergetyki pozyskuje dla AGH energię ze skorupy ziemskiej	87
AGH University SCIENCE	91



Szanowni Państwo,

Innowacje w przemyśle, gospodarce i życiu społecznym to przestrzeń dialogu między światami nauki, biznesu i administracji publicznej – dialogu, który dziś ma znaczenie szczególne. W obliczu dynamicznych zmian technologicznych, transformacji energetycznej, cyfryzacji oraz rosnącej konkurencji globalnej współpraca tych środowisk staje się warunkiem trwałego rozwoju.



Oddajemy w Państwa ręce publikację zawierającą wybrane artykuły popularnonaukowe przygotowane przez ekspertów Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie – opracowane z myślą o praktycznym zastosowaniu prezentowanych osiągnięć. To spojrzenie na potencjał badawczy AGH przez pryzmat realnych potrzeb: od nowoczesnego przemysłu, przez zieloną energię i gospodarkę obiegu zamkniętego, po nowoczesne materiały, technologie cyfrowe i rozwiązania dla inteligentnych miast.

Jako uczelnia techniczna o ponad stuletniej tradycji konsekwentnie rozwijamy model uniwersytetu badawczego, który nie tylko tworzy wiedzę, lecz także skutecznie ją transferuje. Współpracujemy z partnerami przemysłowymi na każdym etapie – od badań podstawowych, przez projekty rozwojowe, po wdrożenia i komercjalizację. Naszą ambicją jest bycie wiarygodnym i długofalowym partnerem dla biznesu – instytucją, która łączy kompetencje naukowe z rozumieniem realiów rynku.

W niniejszej publikacji pokazujemy, że nauka nie jest teorią, lecz źródłem konkretnych rozwiązań: zwiększających efektywność procesów, obniżających koszty, wspierających zrównoważony rozwój oraz budujących przewagę konkurencyjną przedsiębiorstw. Wierzę, że zaprezentowane przykłady staną się inspiracją do nowych partnerstw, wspólnych projektów badawczo-rozwojowych oraz wdrożeń, które będą wzmacniać polską i europejską gospodarkę.

Porozmawiajmy o przyszłości!

Prof. dr hab. inż. Jerzy Lis

Rektor Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie

Socjolog z AGH: Chciałbym pokazać seniorom alternatywę dla telewizji



– Korzystanie z mediów ekranowych przez osoby starsze polega przeważnie na wielogodzinnej konsumpcji tradycyjnej telewizji. Wolałbym w związku z tym, żeby podjęły one wysiłek skorzystania z mediów interaktywnych, do których należą gry cyfrowe – mówi dr Damian Gałuszka z Wydziału Humanistycznego AGH, autor monografii *Wirtualna jesień życia. Rozważania o roli gier cyfrowych w życiu osób starszych*, która ukazała się w otwartym dostępie nakładem Wydawnictw AGH.

Naukowiec w swojej prekursorskiej na polskim rynku publikacji poddaje analizie literaturę oraz inne opracowania poświęcone korzystaniu z gier cyfrowych przez seniorów, przyglądając się społecznym, kulturowym i demograficznym podstawom omawianego przez siebie zjawiska. Istotną część jego książki stanowi również omówienie 20 wywiadów przeprowadzonych przez autora z seniorami i seniorkami korzystającymi z gier, a także z ekspertami dysponującymi wiedzą lub doświadczeniem w zakresie wykorzystania gier oraz innych mediów cyfrowych w pracy z osobami starszymi. Dopelnieniem przeprowadzonych badań były obserwacje zajęć z wykorzystaniem gier prowadzonych w ośrodku dla seniorów w duńskim Odense oraz zajęć komputerowych w jednym z krakowskich centrów aktywności senioralnej (CAS). Odwołując się do zgromadzonego przez siebie materiału, autor dzieli się rekomendacjami, w jaki sposób popularyzacja oraz wykorzystanie gier cyfrowych wśród seniorów może wspierać proces pomysłnego starzenia się.

Piotr Włodarczyk (Centrum Komunikacji i Marketingu AGH): Temat seniorów korzystających z gier cyfrowych pojawiał się dotąd w dyskursie publicznym przede wszystkim jako medialna ciekawostka. Pan wkroczył na ten grunt jako socjolog. Czy łatwo było dotrzeć do osób o profilu, który pana interesował?

Damian Gałuszka: Uzyskanie dostępu do takich ludzi, którzy mieli duże doświadczenie z grami cyfrowymi, okazało się trudniejsze, niż pierwotnie zakładałem. Kiedy prowadziłem wcześniej badania z udziałem osób dorosłych, często trudnością był brak czasu z ich strony. W przypadku seniorów naiwnie sądziłem, że będzie odwrotnie i będą chętniej zgadzać się na rozmowę. Nie zawsze jednak tak było. Pojawiały się różnego rodzaju bariery, na przykład niedefiniowanie siebie jako osoby grającej – zdarzało się, że ludzie bagatelizowali własne doświadczenie i wiedzę w tym zakresie, w związku z czym brakowało im motywacji, żeby w ogóle wejść ze mną w dialog. Zdarzały się też sytuacje, że ktoś po

prostu rezygnował bez żadnego szczególnego powodu, nie decydując się ostatecznie na rozmowę. Mówię o tym, bo każda taka osoba była dla mnie na wagę złota – po pierwsze, takich ludzi nie ma w Polsce dużo, a po drugie, poza kilkoma znanymi z mediów przypadkami, są to osoby niewidoczne i pozostające w rozproszeniu. Stosowałem więc metodę kuli śnieżnej, bazując na sieci kontaktów i rekomendacjach.

Jaki portret srebrnego gracza, jak określa się seniorów korzystających z gier cyfrowych, można narysować na podstawie wywiadów z osobami, do których udało się panu dotrzeć?

W tej relatywnie niewielkiej próbie, na której udało mi się przeprowadzić badania, można zauważyć pewne zróżnicowanie. Część stanowią osoby, które zaczynały swoją przygodę z grami jeszcze w okresie dorosłości. Wówczas istotnym kontekstem, który się pojawiał w naszych rozmowach, były inspiracje ze strony osób młodszych. Jeżeli w życiu rozmówcy pojawiały się dzieci, do domu trafiało również urządzenie cyfrowe. Najczęściej był to komputer, który w przeciwieństwie do popularnych na Zachodzie konsol do gier, przy porównywalnej bądź niższej cenie, był urządzeniem bardziej uniwersalnym. Wówczas zainteresowanie grami ze strony badanych osób pojawiało się w wyniku obserwacji najbliższego otoczenia. Nie zawsze była to jednak rodzina. Mogli to być młodszy współpracownicy bądź jacyś podopieczni, którzy o grach dyskutowali. Czasem ci ludzie pomagali też osobie starszej wejść w świat cyfrowej rozrywki. W przypadku takich badanych przeze mnie ludzi zdarzało się, że kiedy wraz z dojrzewaniem własnych dzieci ten sytuacyjny kontekst zanikał, tego grania zaczynało być mniej lub ulegało ono przemianom. Jednym z takich przykładów jest rozmówczyni, która przeżyła wraz z całą rodziną okres fascynacji książkami, filmami i grami z Harrym Potterem. Kiedy dzieci z tego wyrosły, ona również przestała się tym interesować. Jej korzystanie z gier zmieniło się w taki sposób, że – jako osoba spędzająca aktywnie dużo czasu poza domem – przerzuciła się na znacznie prostsze produkcje na smartfonie. Były również wśród badanych osoby, które określam jako graczy stabilnych – czyli takich, którzy potrafią przez wiele lat korzystać z jednej gry albo serii gier. Są wreszcie gracze najbardziej zaangażowani, którzy – podobnie jak młodzi ludzie – intensywnie grają w gry z list be-

stsellerów – serie takie jak *Total War*, *The Last of Us*, *Assassin's Creed*, *Wiedźmin* czy nawet wieloosobowe strzelanki, wymagające szczególnej sprawności. Oni też najczęściej wydają na swoje hobby. Potrafią również rezygnować z innych przyjemności, żeby odłożyć środki na zakup gry czy konsoli.

Czy przemysł gamingowy wychodzi naprzeciw takim osobom?

Widzimy, że duzi gracze na rynku podejmują tu pewne działania. Kilka lat temu Nintendo stworzyło markę zależną, która miała promować jedną z konsol i produkowane na nią gry wśród osób, które grają sporadycznie bądź wcale – włączając w to osoby starsze. Choć przedsięwzięcie zostało zamknięte bodajże w 2011 roku, to pokazuje, że już kilka dobrych lat temu niektórzy producenci mieli świadomość tego, że na rynku jest niezagospodarowany dotąd potencjał. Z kolei cztery lata temu na oficjalnym koncercie Xbox na YouTube pojawił się film promujący tę konsolę właśnie w oparciu o historię osoby starszej, która z powodu pandemicznej izolacji nie mogła wejść w bezpośrednią interakcję ze swoimi wnukami, ale dzięki grom sieciowym mogła utrzymać łączność z członkami rodziny.

Uważam, że jeśli branża ma się dalej rozwijać i utrzymać tempo wzrostu generowanych przychodów, musi się otwierać na nowe kategorie odbiorców. Choć trzon tego rynku stanowią nadal ludzie młodzi, to średnia wieku gracza w Stanach Zjednoczonych czy w Europie wynosi nieco ponad 30 lat. Pokutujące wciąż wyobrażenie, że grają głównie dzieci i nastolatki, jest nie do utrzymania w kontekście danych, którymi dysponujemy. Jeśli chodzi o najmłodsze grupy wiekowe, to po pierwsze, ten segment jest już dosyć wysyceny graniem, a po drugie, dzieci i nastolatki nie dysponują własnymi pieniędzmi, w związku z czym są ograniczone finansowo. Jeżeli chodzi o ludzi w średnim wieku, to choć mają środki na zakup sprzętu i gier, z uwagi na obowiązki rodzinne i zawodowe brakuje im zasobów czasowych, żeby intensywnie zaangażować się w granie. Zostają więc osoby starsze – badania ze Stanów Zjednoczonych czy Europy Zachodniej pokazują, że od kilku do kilkadziesiątu procent badanych graczy to osoby – w zależności od tego, jak posegmentujemy dane – 45+, 50+ i 55+. I właśnie w przypadku tej grupy jest jeszcze dużo do zrobienia, jeżeli chodzi o popularyzację i sprzedaż gier.

Makrospołeczne procesy demograficzne starzenia się oraz cyfryzacji i ludyfikacji kultury powodują, że grupa potencjalnych młodych graczy będzie się kurczyć, a tych srebrnych – rosnać. Rynek gamingowy będzie musiał się jakoś odnaleźć w tej nowej rzeczywistości.

I możemy już dostrzec ruchy, które mogą być zwiastunem szerszego trendu. W 2024 roku na targach CES w Las Vegas odbyły się panele dyskusyjne i wystąpienia poświęcone tworzeniu gier dostępnych i gaminowemu wśród osób starszych. Natomiast rok wcześniej odbył się szczyt „AARP Games Summit” poświęcony srebrnym graczom, gdzie zaproszeni zostali przedstawiciele branży gamedev.

[W swojej książce stawia pan pytanie badawcze, czy granie może wspierać proces pomysłnego starzenia. Co rozumie pan przez to w kontekście korzystania z gier cyfrowych?](#)

Traktuję silver gaming jako aktywność, którą podejmujemy na późniejszych etapach życia, stanowiącą stymulant do większego wysiłku poznawczego, nabywania istotnych obecnie kompetencji cyfrowych i nawiązywania relacji z innymi ludźmi. Korzystanie z mediów ekranowych przez osoby starsze polega przeważnie na wielogodzinnej konsumpcji tradycyjnej telewizji, bo nie mówimy w tym przypadku nawet o personalizacji podobnych doświadczeń przy użyciu VOD. Wolałbym w związku z tym, żeby podjęły one wysiłek skorzystania z mediów interaktywnych, do których należą gry cyfrowe. Chciałbym jednak zastrzec, że nie każdy sposób wykorzystania gier przez seniorów uważam za pożądany. Jeśli ktoś od wielu lat korzysta z jednej prostej gry smartfonowej lub przeglądarkowej, nie robi to jakościowej różnicy. Korzystne użycie gier, które chciałbym promować, to sięganie po różnorodne produkcje, stawiające gracza przed koniecznością opanowywania coraz to nowych zasad i strategii – chodzi o to, aby dostarczać sobie różnych bodźców. Poza tym granie powinno być elementem zróżnicowanego spektrum podejmowanych aktywności. To ogranicza negatywny potencjał tej praktyki, mogący prowadzić do alienacji czy uzależnienia. Taki właśnie „rozwojowo korzystny” schemat grania propaguję od 2024 roku w Małopolsce i Krakowie w ramach projektu „Senioralne Granie (Silver Gamification)”, którego partnerem jest Fundacja Małopolska Izba Samorządowa (MIS). Jest to zadanie publiczne współfinan-

sowane ze środków rządowego programu wieloletniego na rzecz Osób Starszych „Aktywni+” na lata 2021–2025.

[Jakie przeszkody stoją na drodze do tego, żeby seniorzy niekorzystający dotąd z gier mogli wkroczyć w świat gamingu z prawdziwego zdarzenia?](#)

Można wymienić tu kilka kategorii, ale na pierwszym miejscu postawiłbym uprzedzenia związane z wiekiem – zarówno te przejawiane przez członków rodziny czy przyjaciół, którzy mówią starszej osobie: „Granie jest dla młodych, nie poradzisz sobie z tym”, jak też podobne autostereotypy na temat własnej sprawczości i umiejętności. Takie poglądy samoograniczają człowieka i nie pozwalają mu podjąć trudu, żeby nauczyć się obsługi urządzenia, instalacji oprogramowania oraz zasad gry. Kolejną kategorią to przeszkody finansowe. Nawet najbardziej zaangażowani gracze, jak to określił jeden z moich rozmówców, „żyją na ZUS-owskim stypendium”. Wysokość emerytur w Polsce powoduje, że niewiele środków pozostaje na wydatki spoza kategorii pierwszej potrzeby. Część moich rozmówców przyznawała, że zdarzało im się kupować gry na wyprzedających w supermarketach, albo bardzo długo korzystała z jednej gry, co raczej nie zdarza się w przypadku młodszych graczy, którzy mogą pozwolić sobie na przeznaczenie na swoje hobby większej sumy pieniędzy lub potrafią dokonywać zakupów oszczędniej – nabywają gry używane, korzystają z subskrypcji bądź kupują w promocyjnych cenach gry w wersji cyfrowej. Przeszkodą jest też specyfika samego medium w połączeniu z deficytem kompetencji cyfrowych u osób starszych – jeżeli gra nie pozwala na dopasowanie interfejsu, zmianę czcionki czy zmniejszenie poziomu trudności, nie wspominając już o bardziej rozbudowanych opcjach, jak na przykład wspomaganie w trakcie rozgrywki przez drugą osobę w czasie trudniejszych fragmentów, wówczas starsza osoba może się od takiej gry odbić.

[Jeśli seniorzy, którzy chcieliby spróbować cyfrowej rozrywki, nie mogą liczyć na pomoc najbliższego otoczenia, pozostają instytucje, których misją jest niesienie pomocy osobom starszym. Czy takie placówki są obecnie do tego przygotowane?](#)

Statystycznie rzecz biorąc, w różnych projektach mających na celu rozwijanie kompetencji niezbędnych do funkcjonowania w społeczeństwie cyfrowym dzieje się

całkiem sporo. Problem w tym, że zarówno z rozmów, które sam przeprowadziłem, jak też z przeanalizowanych przeze mnie innych źródeł wynika, że w tej edukacji pomijane są kwestie rozrywki i możliwości wykorzystania smartfonów, komputerów czy konsol do gier, czyli do celów ludycznych. Można to po części zrozumieć, bo prowadzące ją instytucje muszą niekiedy działać w warunkach ograniczeń finansowych i kadrowych. Jeżeli nie ma w okolicy szkoleniowca, który dysponuje wiedzą i posiada umiejętności do jej przekazania, to trudno oczekiwać, że kontekst cyfrowej rozrywki się pojawi. Szczególnie jeżeli same osoby starsze nie zgłaszają takiego zapotrzebowania, bo na przykład nie mają świadomości, że gry w ogóle istnieją i mogłyby cokolwiek dobrego wnieść do ich życia, oraz przejawiają niekiedy wręcz negatywne nastawienie do tego medium bądź dzielają stereotypy na temat własnych niskich kompetencji w tym zakresie. Pojawiło się co prawda kilka inicjatyw wartych uwagi, jak na przykład projekt zrealizowany w Katowicach przez Urszulę Kłosińską, która wykorzystwała konsolę Xbox wraz z kontrolerem ruchowym Kinect w jednym ze szpitalnych oddziałów geriatrycznych, żeby aktywizować osoby cierpiące na demencję i stwarzać przestrzeń do wspólnego spędzania czasu z najbliższymi czy personelem szpitala. Powstały też pierwsze webinary poświęcone grom w kontekście osób starszych. Ale w sferze instytucjonalnej są to wszystko rozproszone, nieskoordynowane i okazjne inicjatywy. Nawet państwowe kampanie, które mają zachęcać osoby starsze do wejścia w cyfrowy świat, pomijają kontekst rozrywkowy, tak jakbyśmy nie wykorzystywali komputerów i innych urządzeń do zabawy. Można się też spotkać z przejawami zwykłego ageizmu, kiedy w poradnikach na temat korzystania ze smartfonów przez osoby starsze zaleca się, żeby odinstalować z ich urządzeń proste gry, bo jeszcze nieopatrznie w coś klikną i narażą się na niepotrzebne koszty. Pewną próbą wyjścia naprzeciw tym brakom jest wspomniany przeze mnie wcześniej projekt „Senioralne granie”, w którego ramach przygotowana została grupa trenerów zdolnych do uczenia osób starszych przy użyciu gier cyfrowych.

Czyli niektórzy zamiast właściwie edukować, wolą wczasu pozbyc się problemu.

Takie podejście dodatkowo potęguje strach związany z użyciem tych urządzeń. Miałem okazję obserwować szkolenie z obsługi komputera, podczas którego se-

niorzy zdanie po zdaniu zapisywali w zeszytach każdy kolejny krok. A przecież to oczywiste, że kiedy wrócą do domów i uruchomią swoje urządzenia, mogą pojawić się sytuacje, które nie były przewidziane w tym schemacie – pojawi się jakiś pop-up czy komunikat, który będzie wymagał od użytkownika podjęcia decyzji. To właśnie wtedy pojawiają się obawy, że jeśli zrobi się coś nie tak, można uszkodzić urządzenie i narażać się na koszty jego naprawy. My podobnego lęku w sobie nie mamy, a części seniorów wtłacza się do głowy takie przekonania. To pokazuje, jak wiele jest jeszcze do zmiany, jeżeli chodzi o świadomość tych starszych uczestników cyberprze-strzeni.

Jednocześnie nie chcę generalizować, bo rozmawiałem również z seniorami, którzy prowadzili grupy na Facebooku, blogi czy nawet ze wsparciem dziecka realizowali streaming na YouTube. Trzeba jednak spojrzeć na proporcje – ilu odnajduje się w tym cyfrowym świecie, a ilu wciąż ma problemy z podstawowymi kompetencjami w tym zakresie?

Czy nie boi się pan, że wnioski z pańskich badań szybko się zdezaktualizują, ponieważ w okres senioralny będzie wchodzić coraz więcej osób, które już pewnie funkcjonują w tym cyfrowym świecie?

Wiele dekad temu amerykański socjolog William Ogburn ukuł hipotezę opóźnienia kulturowego. Chodziło mu o to, że technologie tak intensywnie zmieniają się w warstwie materialnej, że ludzie nie nadążają w warstwie kulturowej. Cały czas musimy więc gonić tego technologicznego króliczka. W mojej książce odwołuję się do przykładu prostego wynalazku, jakim jest telewizor. Jeżeli ktoś, kto nauczył się używać telewizora w latach 90. XX wieku, dziś dostałby smart TV i próbował korzystać z niego w taki sposób, jak się wcześniej nauczył, wykorzystałby jedynie niewielki procent potencjału tej technologii.

W literaturze anglojęzycznej można znaleźć wiele artykułów naukowych i raportów poświęconych zagadnieniu silver gamingu. Książek już nie ma aż tak dużo, a w Polsce moja publikacja jest pierwszą, która się z tym tematem mierzy. Zawsze jest ryzyko, że pojawią się badaczki i badacze, którzy pozytywnie lub negatywnie zweryfikują postawione przeze mnie wnioski – i bardzo bym sobie tego życzył, na tym właśnie polega nauka. Być może część moich ustaleń zdezaktualizuje się

w przypadku tych osób, które dzisiaj już grają i będą miały bardzo długą historię grania. Ale pozostaną w mocy w przypadku ludzi, którzy będą wchodzić do gamingu na późniejszym etapie życia. Sporo barier i problemów nie zniknie tak szybko i będzie trzeba szukać rozwiązań.

A czy ma pan sygnały, że pańska publikacja spotyka się z zainteresowaniem środowiska naukowego czy instytucjonalnego?

Odbiór – zarówno jeśli chodzi o sam pomysł, jak i sposób przedstawienia go w książce – jest bardzo pozytywny. Takie nowe i nieoczywiste tematy jak granie osób starszych w sposób naturalny przyciągają na początku uwagę. Trudności pojawiają się wówczas, gdy chcemy zacząć coś zmieniać w praktyce. Trzeba to

wtedy sensownie zaplanować i znaleźć na to fundusze. Moim marzeniem jest, aby po lekturze tych ponad 300 stron teorii przejść do działań praktycznych. Gdyby kogoś to na tyle zainspirowało, że widziałby możliwość realizacji warsztatów czy kampanii społecznej, jestem bardzo chętny do podjęcia współpracy. W skali lokalnej działamy już z Fundacją MIS, natomiast życzylibym sobie, aby te praktyczne działania zyskały ogólnopolski zasięg. To konieczność wobec obserwowanych przemian demograficznych i technologicznych. Zauważyło to nawet Ministerstwo Cyfryzacji, które w opublikowanej pod koniec 2024 roku „Strategii Cyfryzacji Polski” wprost odwołało się do zjawiska silver gamingu, podkreślając istotność wzmiankowanych przeze mnie przemian oraz trendów.

Dr Damian Gałuszka – socjolog, adiunkt na Wydziale Humanistycznym AGH, wieloletni pasjonat gier wideo. Współpracownik Laboratorium EduVRGameLab. Zajmuje się analizą wpływu technologii na funkcjonowanie społeczeństw i ludzi, ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań cyfrowych. Autor licznych badań, wystąpień oraz tekstów naukowych, między innymi monografii *Gry wideo w środowisku rodzinnym. Diagnoza i rekomendacje* (do pobrania: www.grywrozdzie.pl).

Kontakt: **dr Damian Gałuszka**, dagal@agh.edu.pl

Góry też mogą być smart. Uczony z AGH rozwija inteligentny system wspomaganie ratownictwa górskiego

Choć częstym motywem wyjazdów w góry jest ucieczka od cywilizacji, to współcześnie są one niewiele mniej nasycone elektroniką niż duże metropolie – w dodatku taką, którą sami ze sobą przywozimy. Dr hab. inż. Radosław Klimek, prof. AGH wykorzystał ten fakt, projektując system komputerowy monitorujący bezpieczeństwo turystów. Aplikacja, korzystając z danych lokalizacyjnych, potrafi alarmować ratowników o zgubieniu przez kogoś szlaku czy przebywaniu na nim w czasie załamania pogody. Może to przyspieszyć decyzję o wysłaniu wsparcia w sytuacjach, kiedy dotarcie pomocy na czas przesądza o czyimś życiu.



Troje turystów wyrusza zimą na wycieczkę w góry. Początkowo wszyscy poruszają się równym tempem, jednak po kilku godzinach marszu jedna z osób słabnie i zaczyna pozostawać w tyle. Mgła ogranicza widoczność do kilku metrów, więc pozostali członkowie grupy nie mają ze sobą kontaktu wzrokowego i nie dostrzegają, że ich towarzysz opadł z sił. Zaczyna wiać mroźny wiatr i padać śnieg, który zasypuje ślady. Turysta idący w grupie jako ostatni zbacza z wyznaczonego szlaku i traci orientację w terenie. Dwójka pozostałych, która w końcu dostrzegła, że towarzysz nie podąża za nimi, wyrusza na poszukiwania. Wkrótce jednak sami gubią się w śnieżnej zamieci. Zapada zmrok, a nikt z grupy nie był przygotowany do biwakowania w górach. Wszystkim grozi śmierć z wychłodzenia, jednak system elektroniczny monitorujący ruch turystyczny już wcześniej alarmuje ratowników, że grupa porusza się w trudnych warunkach pogodowych i jedna z osób zesłała ze szlaku. Dyżurny zaczyna bacznie obserwować punkty symbolizujące lokalizację turystów na monitorze. Gdy orientuje

się, że grupa utknęła w miejscu, podjęta zostaje decyzja o wysłaniu patrolu na skuterach śnieżnych. Ratownikom udaje się szybko odnaleźć feralnych turystów i bezpiecznie zwieźć ich do najbliższego schroniska.

Tak mogłaby wyglądać rzeczywista akcja ratowników górskich w rejonach, gdzie udatoby się wdrożyć system zaprojektowany i rozwijany przy udziale studentów przez dr. hab. Radosława Klimka, prof. AGH na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH. Jego prototypowa wersja została opisana przez naukowca w artykule na łamach prestiżowego czasopisma „Information Sciences”. Oprogramowanie potrafi w czasie rzeczywistym oceniać stopień narażenia danego turysty na niebezpieczeństwo w danej lokalizacji, w zależności od warunków atmosferycznych rejestrowanych przez najbliższą stację meteorologiczną, pory dnia czy stopnia trudności szlaku. Do ustalania położenia osób w terenie może wykorzystywać zarówno udostępnione przez turystów urządzenia GPS, jak i sieć stacji bazowych telefonii komórkowej (BTS). Obsługuje również

informacje przesyłane przez obroże telemetryczne noszone przez dzikie zwierzęta, co umożliwi na przykład zapobieganie spotkaniom ludzi z dużymi drapieżnikami. Konfigurowalne środowisko pozwala na wprowadzanie danych na temat specyfiki danego terenu czy definiowanie sytuacji, kiedy system powinien generować alert o zagrożeniu. Całość dopełnia moduł wizualny, który pozwala śledzić obraz sytuacyjny nałożony na mapę terenu wyświetlaną na monitorze.

Kiedy pomoc w górach dociera za późno

– Wszystko zaczęło się od doniesień medialnych na temat Babiej Góry. Słuchałem ze zdumieniem, że co roku ginie tam kilku turystów, mimo że nie jest to góra typu alpejskiego. Do niebezpiecznych sytuacji dochodzi jednak, kiedy pogarszają się warunki pogodowe. Z informacji, które uzyskaliśmy od ratowników, wynika, że wielu takim tragicznym zdarzeniom mogliby zapobiec, gdyby otrzymali wcześniej informację, że ktoś zszedł ze szlaku. Pojawił się wówczas pomysł, że dobrze byłoby mieć system, który monitoruje zachowanie osób znajdujących się w obszarze górskim i ocenia na bieżąco sytuację pod kątem potencjalnych zagrożeń. Chodzi o to, aby dyżurujący ratownicy, obserwując sytuację na monitorze, mogli w razie potrzeby wysłać na miejsce wsparcie – opisuje motywację do rozpoczęcia prac nad systemem prof. Radosław Klimek.

Poprawność działania aplikacji została przetestowana w trakcie symulacji komputerowych, które odpowiadały dobowemu monitoringowi obszaru Babiogórskiego Parku Narodowego. Scenariusze testów uwzględniały różne pory roku i warunki atmosferyczne, a także ruch turystyczny typowy dla symulowanego okresu. Podczas obsługi wszystkich możliwych strumieni danych (GPS, BTS, obroże telemetryczne, odczyty stacji meteorologicznych itd.) aplikacja działała w pełni wydajnie na standardowym komputerze przy jednoczesnym monitoringu 3000 turystów, co znacząco przewyższa szczyty notowane przez BPN w sezonie letnim. Co więcej, przeprowadzone później testy obciążeniowe pokazały, że jest w stanie działać wydajnie również przy ponad dwukrotnie większej liczbie turystów. Tam, gdzie udało się ją faktycznie wdrożyć, nie tylko mogłaby pomóc

zwiększyć bezpieczeństwo osób przebywających w górach, ale również dostarczyć cennych danych na temat ich zachowania, które pozwoliłyby gospodarzom danego terenu efektywniej zarządzać ruchem turystycznym. Według wiedzy prof. Radosława Klimka zaprojektowana przez niego aplikacja jest pierwszym na świecie tego typu rozwiązaniem powstałym z myślą o środowisku górskim.

Systemy dostrzegają kontekst w danych

Opracowane w AGH rozwiązanie należy do kategorii tak zwanych context-aware services (pol. usługi kontekstowe), czyli rozwiązań informatycznych zdolnych do czerpania danych o użytkowniku i jego otoczeniu z różnego rodzaju sensorów oraz dopasowywania swojego działania w zależności od koincydencji między tymi danymi. Żadna informacja nie jest traktowana w takim przypadku jako autonomiczny byt, ale występuje w określonym kontekście, który nadają jej pozostałe informacje. Przykładem takich rozwiązań są na przykład popularne aplikacje do nawigacji samochodowej, które w oparciu o lokalizację użytkownika nie tylko są w stanie wskazać najkrótszą drogę i czas dotarcia do celu, ale również na bieżąco korygować trasę przejazdu w zależności od nieustannie aktualizowanych informacji o utrudnieniach na drogach. W coraz większej liczbie miast wdrażane są również rozwiązania z zakresu smart city, których zadaniem jest ułatwienie poruszania się komunikacją publiczną. Wykorzystując lokalizację użytkownika oraz dane o położeniu przesyłane przez autobusy czy tramwaje, są w stanie w czasie rzeczywistym podawać opóźnienia i wskazywać dogodne przesiadki. Inteligentne rozwiązania są również wykorzystywane do zarządzania sygnalizacją świetlną czy oświetleniem ulicznym.

– Skoro mówimy o smart city, dlaczego mielibyśmy nie mówić o smart mountain environment? – zastanawia się prof. Radosław Klimek. – Co prawda w miastach łatwiej wdrażać takie pomysły z uwagi na duże wysycenie terenu różnymi sensorami, ale również obszary górskie bardzo dobrze się do tego nadają. Tymczasem z tego, co mi wiadomo, nasz system jest pierwszym opracowanym dla tego środowiska i nigdzie na świecie podobne rozwiązania dotąd nie funkcjonują.

Amerykański wizjoner i proliferacja liczących maszyn

Choć systemy wykorzystujące do komunikacji ze sobą urządzenia w celu dostarczania różnego rodzaju usług pojawiają się dopiero od kilkunastu lat, to sama idea ma nieco dłuższą historię.

Prof. Radosław Klimek przywołuje tutaj postać amerykańskiego prof. Marka Weisera:

– Ten wizjoner informatyki, który pracował w prestiżowym Palo Alto Research Center w Kalifornii, już w latach 90. XX wieku pisał w artykule w „Scientific American” o głębokich technologiach, które przenikają do życia codziennego do tego stopnia, że ludzie przestają je dostrzegać. Weiser głosił, że również w przypadku informatyki celem jest dojście do sytuacji, kiedy komputery będą przeprowadzać dla nas różne obliczenia, a my nawet nie będziemy tego świadomi. Wprowadził pojęcie obliczeń wszechobecnych [ang. ubiquitous computing; współcześnie częściej używa się w tym kontekście sformułowania pervasive computing], które będą zwiększać komfort i bezpieczeństwo naszego życia. Należy podkreślić, że napisał to w czasach, kiedy komputery stały przede wszystkim na biurkach. Od tego czasu musiało dokonać się wiele rzeczy, żeby ta idea mogła się urzeczywistnić.

Warto zwrócić w tym kontekście uwagę na tak zwane fale obliczeniowe. Podczas pierwszej fali mieliśmy do czynienia z sytuacją, gdy na jeden komputer przypadało wielu użytkowników – ludzie musieli rywalizować o dostęp do nich, podobnie jak jest współcześnie w przypadku superkomputerów, które wykonują superszybkie obliczenia. W trakcie kolejnej fali każdy miał już komputer osobisty, a w czasie ostatniej na jedną osobę przypada już wiele komputerów – PC-ty, smartfony oraz różne inne urządzenia. Wszystkie te urządzenia mogą się ze sobą łączyć – również w tej dziedzinie nastąpił bardzo duży postęp, nie tylko w zakresie samych technologii komunikacyjnych, ale również protokołów przesyłowych. Mimo iż korzystamy na co dzień z urządzeń różnych producentów, mogą one bez problemu wymieniać informacje między sobą. Wszystko to sprawia, że wizja zaprezentowana w latach 90. XX wieku przez Marka Weisera nie tylko się urzeczywistnia, ale też zmienia nasz sposób myślenia o programowaniu – wcześniej z góry zakładaliśmy, w jaki sposób dane wejściowe powinny być sortowane, natomiast obecnie to systemy powinny być świadome kontekstu i dopiero w zależności od niego realizować swoje obliczenia.

Oprócz opisanego systemu wspomagania ratownictwa górskiego prof. Radosław Klimek jest również autorem innych prac poświęconych rozwiązaniom z kategorii smart city, dotyczących między innymi zarządzania ruchem turystycznym, automobilnością czy oświetleniem ulicznym.

Kontakt: **dr hab. inż. Radosław Klimek, prof. AGH**, rklimek@agh.edu.pl

Badania w AGH weryfikują skuteczność form witaminy E w ochronie przed UV



Choć gama związków o działaniu witaminy E jest szeroka, w kosmetykach używany jest wyłącznie α - tokoferol. Tymczasem nowe ustalenia dowodzą, że wcale nie posiada on najlepszych fotoprotekcyjnych właściwości na tle pozostałych związków należących do tej samej grupy.

Nadmierna ekspozycja na słońce powoduje nie tylko poparzenia skóry, ale też nadprodukcję reaktywnych form tlenu (RFT), w tym wolnych rodników. Ich długotrwałe działanie prowadzi do utleniania lipidów tworzących błony komórkowe, a także składników samych komórek, co skutkuje między innymi powstawaniem zmarszczek oraz mutacji DNA sprzyjających nowotworom. Do stresu oksydacyjnego dochodzi wtedy, gdy naturalne przeciwutleniacze nie nadążają z neutralizacją RFT.

Jednym z najważniejszych antyoksydantów jest witamina E, często dodawana do emulsji chroniących skórę przed promieniowaniem UV. W naturze występuje osiem jej form: α -, β -, γ -, δ - tokoferole i α -, β -, γ -, δ - tokotrienole, różniące się budową chemiczną. W kosmetykach używany jest jednak wyłącznie α - tokoferol, który jest też homologiem witaminy E najlepiej przyswajalnym przez człowieka wraz z pożywieniem.

Nowe badania wskazują jednak na potencjał innych form witaminy E. Dr hab. Renata Szymańska,

prof. AGH na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH w Krakowie, podczas doktoratu na Uniwersytecie Jagiellońskim opisała dwie nowe: plastochromanol-8 oraz jego hydroksylową pochodną, które pod względem struktury chemicznej są najbliższe γ -formom witaminy E. Kontynuując te badania, uczona wraz z zespołem – dr inż. Aleksandrą Orzechowską oraz mgr inż. Ewą Olbińską-Dudek (doktorantką Szkoły Doktorskiej AGH) postanowiła sprawdzić, czy plastochromanol-8 mógłby zastąpić α - tokoferol w kosmetykach chroniących przed promieniowaniem UV.

Efekty tych prac, zrealizowanych w ramach projektu „Analiza fotoprotekcyjnych właściwości preparatów zawierających kapsułkowane pochodne witaminy E”, finansowanego z grantu uczelnianego ze środków programu Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza, zespół opublikował na łamach prestiżowego czasopisma „International Journal of Pharmaceutics”.

Cztery związki pod lupą

W pracy poddano analizie cztery formy witaminy E – oprócz opisanego przez prof. Szymańską plastochromanolu-8, także α -tokoferol, γ -tokoferol i γ -tokotrienol. Celem było uzyskanie nie tylko odpowiedzi na pytanie, które z nich wykazują najwyższą aktywność antyoksydacyjną *in vitro*, ale również czy same pozostają odporne na działanie promieniowania UV. Zbadano również, jak na te właściwości wpływa zamknięcie ich w liposomowych i niosomowych nanokapsułkach. Uzyskane wnioski zaskakują.

Okazało się, że powszechnie używany w kosmetykach α -tokoferol w formie wolnej spośród badanych związków wykazywał najniższą zdolność do neutralizacji wolnych rodników. Co więcej, miał również najmniejszą fotostabilność. Po godzinie oświetlenia promieniami UV-B aktywność antyoksydacyjna związku spadła o około 40%, a jego zawartość zmniejszyła się o ponad 50% w stosunku do poziomu wyjściowego. W przypadku γ -tokoferolu, γ -tokotrienolu i plastochromanolu-8 te wartości mieściły się w przedziale 5–30%.

W kolejnym kroku zespół sprawdził, jak na stabilność związków wpływa zamknięcie ich w nanokapsułkach – liposomach oraz niosomach. Pierwsze mają organiczne pochodzenie, drugie są częściowo syntetyczne, ich zaletą jest natomiast niski koszt produkcji. Używanie takich kapsułkowanych form witaminy E przy produkcji kosmetyków jest standardową praktyką, ponieważ bardzo słabo rozpuszcza się ona w wodzie, która oprócz oleju wchodzi w skład emulsji kosmetycznych. Umieszczenie jej w nanoosiłkach polepsza biodystrybucję w preparacie, umożliwiając jego skutecznie działanie na całej aplikowanej powierzchni, a do tego chroni samą witaminę E przed degradacją.

Przeprowadzone badanie wykazało, że uwięzienie w liposomowych kapsułkach poprawiło fotostabilność badanych związków. W przypadku α -tokoferolu odnotowany spadek aktywności antyoksydacyjnej był mniejszy niż w przypadku formy wolnej, ale wciąż istotny – wynosił około 27%. Największe korzyści udało się natomiast osiągnąć w przypadku γ -tokoferolu i plastochromanolu-8, które po godzinie ekspozycji na promieniowanie UV wykazywały praktycznie niezmienioną aktywność antyoksydacyjną.

Znacznie gorzej z wyznaczonej im roli wywiązały się niosomy, w przypadku których zaobserwowano silniejszy spadek stabilności wszystkich badanych związków.

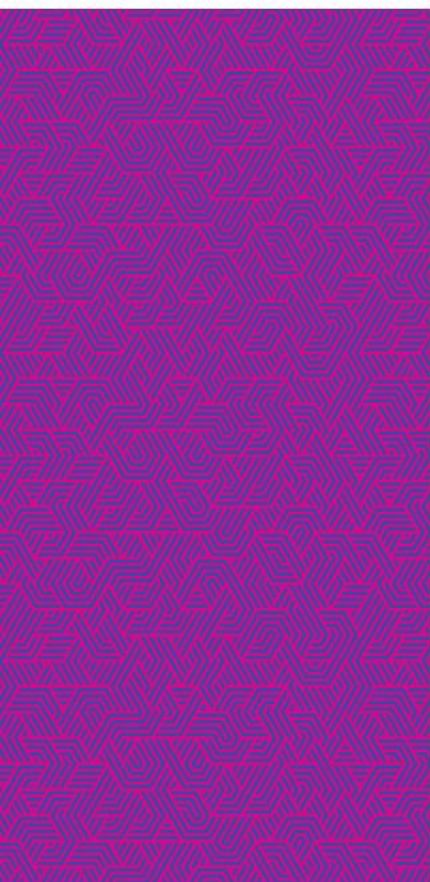
– Można sobie wyobrazić to w ten sposób, że jakaś pula związków zostaje wbudowana w wewnętrzną strukturę niosomów, a inna pozostaje luźniej związana z ich powierzchnią. Wydaje się, że ta słabiej związana część zostaje zużyta jako pierwsza, a pozostała potrzebuje znacznie więcej czasu na uwolnienie. Taka dwufazowa odpowiedź związków wbudowanych w niosomy jest opisywana w literaturze – komentuje uzyskane wyniki prof. Szymańska.

Jaka forma zapewnia najwyższy SPF?

Na koniec zespół podjął się oszacowania powszechnie używanego w przypadku kosmetycznych filtrów UV wskaźnika ochrony przeciwśonecznej (SPF, ang. Sun Protection Factor). Wszystkie badane związki w formie wolnej wykazały niskie właściwości fotoprotekcyjne, mieszczące się w przedziale około 1,1–2,7 SPF (w przypadku tego wskaźnika za niskie uznaje się już wartości w przedziale 2–6, a za bardzo wysokie 30–50). Najlepiej w tym teście znowu wypadły γ -tokoferol i plastochromanol-8, dla których SPF wynosił około 2,7.

Sytuacja zmieniła się diametralnie, gdy testom poddano te same związki zamknięte w liposomowych nanokapsułkach. W przypadku α -tokoferolu odnotowano kilkukrotny wzrost wartości wskaźnika, natomiast dla γ -tokoferolu i plastochromanolu-8 progres ten był odpowiednio 10-krotny i 15-krotny. To oznacza, że zwłaszcza kapsułkowany plastochromanol-8 daje podobną ochronę jak kosmetyczne preparaty z tak zwanym wysokim filtrem.

W przypadku testów dopuszczających preparaty do użytku w krajach Unii Europejskiej wyznaczenie wskaźnika SPF wymaga badań *in vivo*. W opisanym badaniu zespół posłużył się natomiast zoptymalizowaną metodą *in vitro* bazującą na analizie spektrofotometrycznej w celu precyzyjnego wyznaczenia współczynnika SPF. „Udało nam się tę metodę dodatkowo zmodyfikować, co spotkało się z uznaniem” – relacjonuje badaczka.



Bezpieczeństwo dla skóry

Obecnie zespół opracowuje wyniki kolejnego badania przeprowadzonego we współpracy z zespołem dr hab. Pauliny Koczurkiewicz-Adamczyk z Collegium Medicum UJ, które uzupełnia wiedzę uzyskaną w wyniku wcześniejszych prac. Jego celem było sprawdzenie, czy wolne oraz kapsułkowane formy witaminy E są bezpieczne dla komórek skóry. Testom laboratoryjnym zostały poddane linie ludzkich fibroblastów i keratynocytów. Ich wstępna analiza wskazuje, że i w tym przypadku α -tokoferol wypada słabiej niż γ -formy witaminy E.

– Sprawdzaliśmy różne stężenia, rozcieńczenia itd., badając ich wpływ na przeżywalność komórek. Na tej podstawie szacuje się, czy związki są bezpieczne dla komórek skóry. Wszystkie uzyskane wyniki mieściły się w uznanych przez ekspertów normach, jednak w przypadku α -tokoferolu był on znacznie gorszy niż dla γ -form. Jesteśmy więc bliższe stwierdzenia, że są one bardziej biokompatybilne w tym układzie niż α -tokoferol – podsumowuje prof. Szymańska.

Wkrótce zespół planuje powtórzyć dotychczasowe badania, tym razem dla wolnych i kapsułkowanych związków witaminy E rozpuszczonych w przygotowanej przez siebie specjalnie do tego celu emulsji oraz sprawdzić ich skuteczność pod wpływem UV.

Studentka AGH zbudowała stanowisko do badania baterii litowo-jonowych w stratosferze

Niewielkie urządzenie, które może być wynieszone w powietrze przez balony meteorologiczne, powstało z myślą o badaniu zjawiska przyspieszonej degradacji ogniw bateryjnych w warunkach niskiej temperatury i ciśnienia. Zebrane w ten sposób dane mogą pomóc w rozwoju technologii kosmicznych, transportowych czy wojskowych.



Akumulatory litowo-jonowe (Li-Ion) od ponad trzydziestu lat zasilają większość używanej przez ludzi elektroniki – od komputerów i smartfonów po drony i samochody elektryczne. Do ich głównych zalet należy wysoka pojemność przy stosunkowo niewielkiej masie.

Gabriela Bergiel, studentka Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH, baterii litowo-jonowych używa do zadań realizowanych w ramach projektów Studenckiego Koła Naukowego „AstroBio”.

– Regularnie przeprowadzamy różne eksperymenty w stratosferze z wykorzystaniem balonów meteorologicznych. Do zasilania wynoszonej w tym celu aparatury używamy akumulatorów litowo-jonowych, które są pierwszym wyborem w przypadku projektów hobbystycznych i studenckich. Naturalnie więc zadaliśmy sobie pytanie, jak znoszą one pracę w ekstremalnych warunkach – opowiada.

– Baterie litowo-jonowe, które wykorzystywane są w produktach konsumenckich – i używane też przez naszych studentów – są przygotowane do działania w temperaturach od +60 do -20°C. Tymczasem w stratosferze temperatura może wynosić nawet -60°C, w związku z czym muszą one pracować na skraju swojego zakresu roboczego albo daleko poza nim. W takich warunkach, a do tego przy niskim ciśnieniu panującym na dużych wysokościach, akumulatory ulegają przyspieszonej degradacji. Chcieliśmy poddać to zjawisko obserwacji i analizie – uzupełnia dr inż. Mateusz Daniol, jeden z opiekunów SKN „AstroBio”.

Niskie ciśnienie nie służy bateriom

Do obserwowanych objawów starzenia się baterii, które negatywnie wpływają na ich użyteczność i wydajność, należą spadek pojemności, wzrost wewnętrznego oporu elektrycznego oraz spadek mocy.

Bazując na doniesieniach literatury naukowej, zespół postawił kilka hipotez wyjaśniających przyczynę przyspieszonej degradacji. Według pierwszej z nich spadek ciśnienia atmosferycznego w stratosferze powoduje osłabienie kontaktu między cząsteczkami elektrolitu i elektrodą. Może to powodować nierównomierny przepływ prądu w obrębie ogniwa, co prowadzi do miejscowych uszkodzeń, które wpływają na zmniejszenie ogólnej wydajności akumulatora.

Drugi czynnik, który potencjalnie powoduje przyspieszoną degradację baterii Li-Ion, również związany jest z pracą w warunkach niskiego ciśnienia. Spada wówczas przewodnictwo cieplne elektrod, zwłaszcza w kierunku poprzecznym do warstw elektrod. Może to mieć krytyczne znaczenie zwłaszcza w sytuacji, kiedy z ogniwa pobierane jest dużo prądu. Wpływa to również na naprężenia mechaniczne, którym elementy ogniwa poddawane są w wyniku dynamicznie zmieniających się warunków atmosferycznych w stratosferze. Może to przyspieszać proces tworzenia się warstwy międzyfazowej w elektrolicie (ang. SEI, solid-electrolyte interphase), co w dalszej kolejności skutkuje wzrostem oporu elektrycznego wewnątrz ogniwa.

Laboratorium w przestworzach

Weryfikacja tych hipotez na rzeczywistym poligonie doświadczalnym nie byłaby możliwa przy wykorzystaniu aparatury, która używana jest do badania akumulatorów w warunkach laboratoryjnych.

– Standardowe zestawy do testowania baterii są duże i ciężkie, w związku z czym nie można umieścić ich na pokładzie balonu stratosferycznego. Bezsukcesnie szukałam na rynku urządzeń, które mają odpowiednio małe gabaryty i umożliwiają stosowanie różnych profili prądu do testowania baterii. Zaczęłam więc samodzielnie projektować i prototypować taki system – opowiada Gabriela Bergiel.

Skonstruowane przez studentkę AGH urządzenie pozwala na pomiar prądu wypływającego z ogniwa oraz napięcia na samym ogniwie, podczas gdy jest ono rozładowywane impulsami prądu. Stwarza to możliwość badania wewnętrznej rezystancji ogniwa akumulatora przy różnych stanach naładowania oraz krzywej relaksacji na-

pięcia. Dzięki porównaniu pomiarów wykonanych przed lotem, w trakcie oraz po locie istnieje możliwość określenia wpływu lotu stratosferycznego na moc ogniwa oraz potencjalnie wykrycia pewnych zmian strukturalnych w ogniwie zachodzących podczas lotu. Oprócz tego aparat rejestruje również temperaturę i ciśnienie atmosferyczne oraz temperaturę na powierzchni ogniwa.

Pierwsze loty urządzenia

Aparat skonstruowany przez Gabrielę Bergiel odbył loty na pokładzie balonów stratosferycznych. W ich trakcie przetestowano działanie urządzenia przy niskiej temperaturze i ciśnieniu, a także jego odporność na uszkodzenia w wyniku wydarzeń będących stałym elementem misji balonów stratosferycznych: rotacji w trakcie wznoszenia, pęknięcia powłoki balonu po osiągnięciu wysokości krytycznej, opadania ładunku na spadochronie oraz jego uderzenia w ziemię.

Udało się także zebrać dane na temat wpływu warunków panujących w stratosferze na pojemność baterii. Badania polegały na porównaniu procesu rozładowywania ogniw w normalnych warunkach roboczych, a następnie powtórzeniu tego procesu przy zachowaniu tego samego profilu prądu w stratosferze.

– Zapisaliśmy szereg zmian, które w kolejnej iteracji tego urządzenia będziemy implementować. Należą do nich na przykład poprawa kontaktu na styku ogniwo-moduł testujący w celu uzyskiwania bardziej precyzyjnych wyników, usprawnienia pod kątem skrócenia czasu pomiarów czy zwiększania możliwości zadawania sygnału wymuszającego zmiany obciążenia ogniwa. Przygotowywana jest również publikacja, w której opisujemy, co udało się na ten moment zaobserwować – opisuje dr inż. Mateusz Daniol.

Modelowanie matematyczne

Gromadzone dane w dalszej kolejności posłużą do opracowania modelu matematycznego, który pozwoli szacować stopień degradacji akumulatorów Li-Ion w środowisku niskiej temperatury i ciśnienia.

– Chcemy zrozumieć procesy zachodzące w baterii, a następnie odzwierciedlić je w ramach modelu.

Aktualnie skupiamy się na oporze wewnętrznym i mocy wyjściowej, będącymi jednymi z głównych wskaźników degradacji ogniwa – wyjaśnia studentka AGH.

– Modelowanie procesów starzenia w bateriach litowo-jonowych może przyjmować różne formy – od modeli fizycznych, opartych na równaniach różniczkowych opisujących mechanizmy chemiczne i elektrochemiczne, przez modele empiryczne, bazujące na danych eksperymentalnych, aż po podejścia hybrydowe, które łączą te dwie metody. Modele te są implementowane w oprogramowaniu specjalistycznym lub w formie aplikacji działających na dedykowanym sprzęcie, a coraz częściej także na platformach internetowych. Chcemy zbadać, jak różne podejścia i narzędzia radzą sobie z przewidywaniem kluczowych parametrów baterii, takich jak zmiana pojemności, wzrost rezystancji wewnętrznej czy liczba możliwych cykli pracy. Celem jest ocena ich przydatności zarówno dla naukowców, jak i dla przemysłu, ze szczególnym uwzględnieniem dokładności, wydajności obliczeniowej oraz łatwości integracji z systemami użytkowymi – dodaje dr inż. Mateusz Danoł.

Aktualnie zespół skupia na się rozbudowie zaplecza aparaturowego oraz software'owego, które umożliwi lepszą walidację pomiarów prowadzonych w warunkach stratosferycznych.

Wsparcie od firmy Greenectra

Prace realizowane przez Gabriellę Bergiel wsparł również dr Frank Richter, założyciel firmy szkoleniowej i doradczej Greenectra, której działalność koncentruje się na rozwiązaniach z zakresu elektrochemicznego magazynowania energii, przede wszystkim w bateriach litowo-jonowych. Studentka AGH otrzymała od przedsiębiorstwa stypendium, które firma przyznaje rocznie jedynie trzem studiującym osobom na świecie.

W ramach stypendium firma zapewnia kompleksowy pakiet certyfikowanych szkoleń przemysłowych dotyczących podstaw działania, testowania i bezpieczeństwa baterii. Oferuje również konsultacje z ekspertami ze świata nauki i przemysłu, a także współpracę projektową oraz program mentoringowy w kooperacji

z wiodącymi ośrodkami badawczymi i przemysłowymi z branży.

Studentka AGH została również studentką ambasadorką programu szkoleniowego BattXcel. Uzyskaną w trakcie szkoleń wiedzę przekazuje osobom zrzeszonym w kołach naukowych, które w swoich projektach wykorzystują baterie litowo-jonowe.

– Mam nadzieję, że specjalistyczna wiedza przekazywana w ramach kursu pomoże pasjonatom i pasjonatkom zrzeszonym w kołach naukowych w realizacji ich projektów zgodnie ze wzorcami, które są realizowane przez przemysł i profesjonalistów, a także przyczyni się do zwiększenia bezpieczeństwa i trwałości rozwiązań opracowywanych przez studentów i studentki – deklaruje Gabriela Bergiel.

– Zależy nam na przyznawaniu stypendiów naprawdę wyjątkowym studentom i studentkom. Nie chcemy wręczać ich osobom, które teraz realizują jakiś projekt, ale w przyszłości z technologią baterii nie będą miały nic do czynienia. Przed przyznaniem wsparcia dyskutowaliśmy, co jest celem projektu. Podczas takiej rozmowy od razu można się przekonać, czy interlokutor jest pasjonatem i jak dobrze jest zorientowany w temacie. Gabriela w jej trakcie odhaczyła wiele pól z checklisty kryteriów, które decydują o przyznaniu stypendium – komentuje dr Frank Richter z firmy Greenectra.

Gabriela Bergiel swoje prace prowadzi w Interdyscyplinarnym Laboratorium Badawczym Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH. Opiekę nad nimi sprawuje zespół laboratorium oraz specjalistów z Katedr Metrologii i Elektroniki, Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii oraz Automatyki i Robotyki, a także Centrum Technologii Kosmicznych AGH oraz firmy Analog Astronaut Training Center z Krakowa.

Kontakt:

Gabriela Bergiel, bergiel@student.agh.edu.pl,
dr inż. Mateusz Danoł, daniel@agh.edu.pl

Na pomoc strażakom



Obecnie nie ma mundurów, które zapewniałyby strażakom i strażaczkom wystarczające bezpieczeństwo podczas akcji. Testy spalania pokazują, że przędza z nanocząsteczkami sadzy opracowana przez dr. inż. Piotra Szewczyka z Wydziału Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej AGH może przewyższać wytrzymałością nawet najbardziej odporne włókna dostępne na rynku.

Czasem jedynym, co dzieli strażaka lub strażaczkę od śmiertelnego niebezpieczeństwa, jest jego/jej strój – kombinezon, który ma ochronić go/ją przed płomieniami. Badania, które ujrzały światło dzienne w ciągu ostatnich lat, podważają jednak założenie, że ochrona zapewniona strażakom i strażaczkom jest odpowiednia i wystarczająca. Doniesienia sugerują, że zwiększona zapadalność tej grupy zawodowej na nowotwory wynika nie tylko z wielorazowej ekspozycji na dym i częste przebywanie w oparach płonących materiałów czy chemikaliów, ale także z rakotwórczych materiałów wykorzystywanych do produkcji ubrań bojowych.

Dr inż. Piotr Szewczyk opracowuje ognioodporne włókniny, które nawet w wyniku uszkodzenia czy bezpośredniej styczności z płomieniami nie będą wydzielaly szkodliwych dla zdrowia ludzkiego substancji. Jego projekt „Ogniotrwałe włókniny elektroprzędzone o wysokiej wytrzymałości mechanicznej” otrzymał finansowanie w konkursie MINIATURA 8 Narodowego Centrum Nauki, a obecnie jest rozwijany w ramach projektu

współfinansowanego przez Europejską Agencję Kosmiczną (ESA).

– To zawód, który już i tak podejmuje olbrzymie ryzyko – mówi o motywacji do ulepszenia strojów strażackich dr inż. Piotr Szewczyk – wypadłoby więc pozbyć się ryzyka występującego w rzeczach, których muszą używać. Obecnie strażacy i strażaczki często nie mają wyboru, bo nie ma innych materiałów, które oferowałyby na przykład podobne własności wytrzymałościowe w danej temperaturze, więc wolą pracować w potencjalnie rakotwórczych mundurach, niż zrezygnować z ochrony, która dzieli ich od utraty zdrowia i życia.

Szkodliwa ochrona

Dostępne na rynku kombinezony przeznaczone do użytku w sektorze podwyższonego ryzyka często zawierają tak zwane PFASy (substancje per- i poliflu-

oroalkilowe), czyli związki fluoru. Choć w pewnych postaciach są one nieszkodliwe i dają odporność na wysokie temperatury, to najnowsze badania przekonują, że w wyniku uszkodzenia ich struktury zaczynają działać szkodliwie i mogą negatywnie wpływać na zdrowie człowieka, a w szczególności przyczyniać się do powstawania nowotworów. Tak jak na przykład teflon, który na nieuszkodzonej powłoce patelni jest inertny i nie może negatywnie wpływać na zdrowie, ale po zarysowaniu zaczyna wydzielać związki rakotwórcze, tak samo uszkodzony strój strażacki zawierający związki fluoru może zacząć uwalniać związki mające negatywny wpływ na zdrowie ludzi. Niestety, takie uszkodzenia podczas akcji nie są rzadkością. Według obecnej wiedzy stroje strażackie mogą w ten sposób przyczyniać się do epidemii chorób nowotworowych u strażaków/strażaczek.

Jedne z najbardziej wytrzymałych i najdroższych strojów dla strażaków produkuje się obecnie z polimeru PBI. Wykonane z niego stroje pokrywa się ekspandowanym teflonem, który w wysokich temperaturach lub po mechanicznym uszkodzeniu zaczyna wydzielać szkodliwe związki. Wciąż uznaje się go jednak za materiał nieszkodliwy, bo testy w tym zakresie polegają na hodowaniu komórek na materiale – a w tych warunkach szkodliwość materiałów się nie ujawnia.

Włókniny, nad którymi pracuje dr inż. Piotr Szewczyk, mają składać się z włókien pokrytych nanocząstkami, które zapewnią polimerom ochronę przed spalaniem i wyeliminują problem wydzielania szkodliwych substancji. Naukowiec z AGH opracowuje metodę produkcji przędzy przy użyciu elektroprzędzenia. To technika pozwalająca na uzyskiwanie nanowłókien z polimerów, do których na etapie produkcji można dodawać różne cząsteczki. Prace rozpoczyna się od przygotowania roztworu – polimer, z którego chcemy uzyskać włókno, rozpuszcza się w konkretnym rozpuszczalniku. Następnie ten roztwór wprowadza się do strzykawki, którą montuje się w pompie. Stamtąd roztwór trafia do dyszy, czyli zwykłej igły. Kluczowe jest to, że ta dysza znajduje się pod wysokim napięciem, rzędu dziesiątek kilowoltów, a w odległości kilkunastu centymetrów znajduje się kolektor. W ten sposób między igłą a kolektorem powstaje bardzo silne pole elektrostatyczne, które zaczyna wyciągać strugę polimeru, a ta zaczyna odkładać się na kolektorze, najczęściej metalicznym cylindrze. Struga polimeru jest na tyle cienka, że cały

rozpuszczalnik, który znajduje się w roztworze, odparowuje, zanim dotrze do kolektora.

Wyzwanie polega na tym, by cząsteczki, które mają stworzyć wierzchnią, ognioodporną warstwę włókna, nie mieszały się z polimerem, ale owinęły się wokół niego i stworzyły swego rodzaju otulinę.

– Do wytwarzania zaawansowanych włókien kompozytowych stosuje się tak zwaną technologię *core-shell*, czyli mamy rdzeń z polimeru i z zewnątrz znajduje się druga igła, z której możemy podawać inny polimer albo na przykład nanocząstki. Wtedy te cząstki, wychodząc z dyszy, łączą się powierzchniowo z powstającym włóknem i dostajemy strukturę, gdzie w środku jest polimer, a z zewnątrz są chroniące go cząstki – wyjaśnia naukowiec.

Siła w popiołach

Właściwości wymagane do modyfikacji i pokrywania włókien posiadają nanocząsteczki sadzy (*carbon black*). Sadza jest materiałem węglowym powstającym w wyniku niecałkowitego spalania lub termicznego rozkładu węglowodorów w warunkach ograniczonego dostępu tlenu. Składa się głównie z elementarnego węgla o strukturze quasi-grafitowej, który charakteryzuje się wysoką stabilnością termiczną oraz niską reaktywnością chemiczną.

W praktyce oznacza to, że materiał, który powstaje w wyniku kontrolowanego procesu spalania, sam jest odporny na dalsze spalanie w typowych warunkach pożarowych – to, co mogło ulec utlenieniu, już zostało przekształcone. Dzięki temu sadza może pełnić funkcję bariery ochronnej, ograniczając rozprzestrzenianie się płomienia i degradację materiału bazowego.

Znaczące ilości sadzy powstają jako produkt uboczny w przemyśle naftowym i gazowym, między innymi podczas produkcji paliw i procesów petrochemicznych. Z tego względu poszukiwanie nowych, wartościowych zastosowań dla tego materiału ma istotne znaczenie zarówno technologiczne, jak i środowiskowe. Podobne materiały węglowe mogą być również otrzymywane z biomasy, na przykład poprzez kontrolowaną pirolizę zużytych ziaren kawy, których globalna dostępność jest bardzo duża, co pozwala przekształcić odpady w funkcjonalne nanomateriały, zamiast kierować je wyłącznie do kompostowania.

Nanocząstki sadzy mogą być otrzymywane poprzez mechaniczne rozdrabnianie cząstek pierwotnych, na przykład z wykorzystaniem młynów kulowych lub innych metod wysokoenergetycznego mielenia, co pozwala uzyskać frakcje o rozmiarach odpowiednich do integracji z włóknami polimerowymi.

– Plan jest taki, aby cząsteczki były jak najmniej i równomiernie rozproszone. W momencie, gdy rozpoczyna się proces spalania włókna, płomień napotyka barierę węglową, która nie ulega spalaniu w temperaturach charakterystycznych dla tego procesu, tworząc warstwę ochronną. Moim założeniem jest to, aby opracowane materiały nie inicjowały spalania i nie prowadziły do powstawania szkodliwych produktów rozkładu – wyjaśnia dr inż. Piotr Szewczyk.

Im mniejsze będą cząsteczki, tym szczelniej będą mogły otoczyć polimer i tym skuteczniej odetną dostęp tlenu, tworząc wokół niego ognioodporną barierę. Dodatkowo nanocząsteczki sadzy mają tę zaletę, że ich obecność zwiększa wytrzymałość (już i tak bardzo wytrzymałych) włókien polimerowych. Łańcuchy polimerów zaplątują się o nanocząstki, na których zbierają się naprężenia, co umożliwia przenoszenie większych obciążeń.

Do wytworzenia powłoki można by wykorzystać także nanocząstki ceramiczne, ale chociaż jest to często stosowana i skuteczna metoda, jest też bardzo droga. Co więcej, wymaga wykorzystania szkodliwej chemii, na przykład stężonych kwasów trifluorooctowych, więc wykorzystanie sadzy wydaje się bezpieczniejsze i bardziej ekologiczne.

Włókna powstałe w procesie elektroprzędzenia są bardzo cienkie – makroskopowy wygląd takiej włókni-ny można porównać z wyglądem chusteczki higienicznej, ale jej wytrzymałość jest wielokrotnie większa. Dla porównania: mikrofibra to włókna, które mają średnicę poniżej 10 mikronów, a nanowłókna mają średnicę poniżej mikrona. Te, które bada dr inż. Piotr Szewczyk, mają średnicę około 700–800 nanometrów, czyli ponad 10 razy mniej. Im cieńsze będzie włókno, tym większa będzie jego użyteczność.

Popularne obecnie stroje strażackie są bardzo grube i w dużym stopniu ograniczają ruchy strażaków i strażaczek, przeszkadzając w akcji. Obecnie brakuje technolo-

gii, które dawałyby swobodę ruchów i zapewniały odpowiednią izolację, bo tę najłatwiej uzyskać poprzez grube warstwy materiału. Włóknami elektroprzędzonymi można pokryć w zasadzie każdy rodzaj materiału, praktycznie nie zwiększając jego objętości. Ognioodporna membrana, nad którą pracuje naukowiec z AGH, nie stanowiłaby całego stroju, ale jedną z warstw, skutecznie chroniącą przed wpływem płomieni. Dawałaby tym samym szansę na zapewnienie strażakom i strażaczkom większej swobody.

Pierwsze próby spalania

Otrzymany grant pozwolił naukowcowi sfinansować zakup sprzętu niezbędnego do sprawdzenia właściwości opracowywanych włókien. Pierwsze etapy weryfikacji odbyły się z wykorzystaniem aparatury dostępnej już w AGH, na przykład elektronowego mikroskopu skaningowego, który pozwala na osiągnięcie powiększenia sięgającego 150 tysięcy razy i tym samym umożliwia obserwację poziomu dyspersji cząsteczek sadzy na powierzchni polimeru. Zastosowanie w badaniach znalazł także mikroskop sił atomowych, który pozwolił na zbadanie topografii takiego włókna, zmierzenie własności cząstek oraz zbadanie jego własności termicznych, co informuje o tym, jak skutecznie materiał odprowadza ciepło, a więc czy spełnia się w roli bariery ognioodpornej.

– Żeby zobaczyć włókna na wskroś, można wykorzystać kilka sposobów. Jedną z technik jest łamanie włókien w ciekłym azocie, co jest prostym, tanim i szybkim rozwiązaniem. Włókna umieszcza się w ciekłym azocie, a następnie nacina żyłką, co powoduje ich pęknięcie ze względu na zamrożenie. Pęknięcia te odkrywają strukturę wewnętrzną materiału. Można również wykorzystać jony galu do przecięcia materiału w mikroskopie skaningowym z działem jonowym. Jeśli zajdzie taka potrzeba, można zastosować bardziej zaawansowaną i czasochłonną technikę, jaką jest transmisyjna mikroskopia elektronowa, która również pozwala na uzyskanie obrazu przekroju poprzecznego włókien – opowiada badacz.

Przeprowadzone testy spalania oraz własności mechaniczne wykazały, że opracowany materiał prze-

wyższą wytrzymałością materiał rodziwy oraz materiały referencyjne. Jednocześnie potwierdzono także, że zastosowane rozwiązania materiałowe nie zawierają związków PFAS. To jednoznacznie wskazuje, że założenia projektu były uzasadnione, a jego kontynuacja ma dużą przyszłość.

Uratują życie albo polecą w kosmos

Na obecnym etapie rozwoju technologia jest jeszcze zbyt kosztowna dla zastosowań masowych, jednak jej potencjał znajduje szczególne uzasadnienie w sektorach o wysokich wymaganiach funkcjonalnych, takich jak przemysł kosmiczny lub obronny, gdzie kluczowe znaczenie mają użyteczność i innowacyjność rozwiązań, a ograniczenia budżetowe odgrywają mniejszą rolę. Opracowana przez naukowca technika jest obecnie testowana i rozwijana w AGH również dla innych materiałów polimerowych w ramach projektu współfinansowanego przez ESA.

W ramach projektu udało się już przetestować technologię core shell z zastosowaniem sadzy przy wykorzystaniu jako rdzenia innych polimerów – między innymi PAN, kaptonu i PBI. Dofinansowanie projektu pozwoliło badaczowi na nabycie urządzeń certyfikowanych przez amerykańską Federalną Administrację Lotnictwa (FAA), które pozwalają sprawdzać palność wytworzonych przędz. Testy potwierdziły skuteczność techniki opracowanej przez dr. inż. Piotra Szewczyka – nadrukowanie sadzy sprawia, że materiał jest bardziej odporny na spalanie, ulega mu wolniej, a dodatkowo szybciej dogasza się po zaprzestaniu działania wysokiej temperatury. Wynika z nich, że dodanie sadzy zwiększa odporność termiczną materiału rodzimego nawet o 30–40%. Dotyczy to także porównań z polimerem PBI.

– Piękno tej technologii polega na tym, że tak naprawdę nie ma znaczenia, jaki polimer jest w środku, bo ta sadza ma dużo wyższe warunki spalania niż sam polimer, nieważne jaki – wyjaśnia dr inż. Piotr Szewczyk.

Ponadto badacz rozwija pomysł, by używać przędzy z nanocząsteczkami sadzy jako sensora – dzięki temu, że sadza przewodzi prąd, uszkodzenie przędzy czy zmiana jej temperatury może wywoływać zmiany oporu i po podpięciu do elektrod te zmiany mogłyby być wykrywane. Na podstawie odczytów dałoby się nawet stwierdzić, czy osoba w takim stroju aktualnie się porusza – co mogłoby być przydatne choćby podczas akcji, w których panują utrudnione warunki dostępu.

– Moim obowiązkiem jako naukowca jest to, że ja ten materiał postaram się opracować, interesuje mnie znalezienie rozwiązania i udostępnienie go światu. Na tym etapie nie myślę o patencie. (...) Gdyby udało się opracować tę ognioodporną włókninę, pokazałoby to innym naukowcom, że jesteśmy w stanie wytworzyć materiał, który ma podobne własności, bez używania szkodliwej chemii. To jest podejście skomplikowane, ale moim zdaniem gra jest warta świeczki, bo do opinii publicznej coraz częściej dostają się informacje, że mamy mikroplastiki, mamy chemikalia, które na zawsze pozostają w glebie, a potem przez tę glebę migrują do wody, a z wody do roślin, a z roślin do zwierząt i z nich do nas. Tak więc koło się zamyka i trzeba próbować z tym aktywnie walczyć. Nie mówię, że ekologia za wszelką cenę, ale tam, gdzie się da, to jak najbardziej trzeba się o to postarać – podsumowuje naukowiec.

Dr inż. Piotr Szewczyk jest członkiem Grupy Badawczej Elektroprzędzenia Polimerów prowadzonej przez prof. dr hab. inż. Urszulę Stachewicz na Wydziale Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej AGH. Grupa specjalizuje się w zaawansowanych badaniach w dziedzinie inżynierii materiałowej, ze szczególnym uwzględnieniem włókien polimerowych. Więcej informacji o jej działalności oraz najnowszych projektach badawczych realizowanych przez jej członków można znaleźć na stronie fibers.agh.edu.pl.

Kontakt: dr inż. Piotr Szewczyk, pszew@agh.edu.pl

Jak tchnąć życie w dachy



Kruszywa, które stanowią składnik podłoża zielonych dachów, powinny mieć określone właściwości – między innymi stanowić odpowiednie źródło odżywienia, chłonąć wystarczająco dużo wody i niewiele ważyć. Naukowcy z AGH opracowali kruszywa spełniające te kryteria – i to z wykorzystaniem surowców drugiej kategorii.

Walka ze zmianami klimatycznymi to nie tylko podejmowanie działań na rzecz ich zapobiegania, to także szukanie rozwiązań, które pozwolą poradzić sobie ze skutkami zmian, których nie da się już powstrzymać. Jednym z takich rozwiązań są zielone dachy, czyli zagospodarowanie przestrzeni na budynkach roślinami. To rozwiązanie, które ma wiele zalet. Przede wszystkim może zatrzymywać wodę w trakcie nawałnych opadów i pozwala ograniczyć występowanie „miejskich plam – lub wysp – ciepła”, bo porośnięte roślinnością powierzchnie nie nagrzewają się tak jak beton czy asfalt. Poza tym po prostu pozwala zwiększyć obszar terenów zielonych, co wpływa pozytywnie na samopoczucie osób zamieszkujących okolice.

Podstawą do stworzenia takich miejsc są innowacyjne rozwiązania, które sprawiają, że infrastruktura jest optymalnie przystosowana do pełnienia zamierzonych funkcji. Naukowcy i naukowice z Katedry Inżynierii Środowiska na Wydziale Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami AGH – dr inż. Agata Stempkow-

ska oraz dr hab. inż. Tomasz Gawenda, prof. AGH – pracują nad różnego rodzaju kruszywami, z których część powinna świetnie sprawdzić się właśnie jako podłoże dla roślin na zielonych dachach. W porównaniu do cegły (która także jest wypalana i pochodzi z surowców ilastych), której nasiąkliwość wynosi 7%, kruszywa uzyskiwane przez zespół z AGH osiągają nasiąkliwość rzędu 40–60%.

Ukryta wartość surowców drugiej kategorii

Rośliny na zielonych dachach nie mogą rosnąć w glebie – ta, szczególnie po nasiąknięciu, jest zbyt ciężka, ulega pyleniu i może powodować niedrożność rur spływowych. Zgodnie z regulacjami części organiczne nie powinny stanowić więcej niż 10% masy ogrodu umieszczonego na konstrukcji budynku. Niezbędne jest więc podłoże, które będzie w stanie absorbować duże ilości wody z opadów, umożliwi zapewnienie roślinom wszystkich niezbędnych do życia substancji, a jednocześnie

będzie składać się z lekkiego materiału, który sam w sobie nie będzie stanowił zbyt dużego obciążenia.

– Nie można też dopuścić, żeby te rośliny rosły zbyt szybko – wyjaśnia dr inż. Agata Stempkowska. – One powinny być zielone, ale nie mogą być wybujałe, dlatego że tym też obciążamy konstrukcję. Rośliny co jakiś czas się nawozi, albo stosuje się granulaty nawozowe, i w ten sposób się je odżywia. My staramy się robić kruszywa z dodatkiem różnych surowców mineralnych, które już w sobie mają te najistotniejsze składniki – potas, magnez, fosfor i inne.

Praca naukowców z AGH, w której skupili się na opracowaniu tak zwanych sztucznych kruszyw lekkich, ukazała się w „Scientific Reports”. Opracowane kruszywa nie tylko posiadają właściwości niezbędne, by stać się wartościowym podłożem dla roślin, ale także sam ich proces powstawania niesie dodatkowe korzyści ekologiczne – opiera się na wykorzystaniu materiałów, które do tej pory stanowiły kłopotliwy odpad.

– Prekursorskie w kontekście tego projektu były zupełnie inne badania, które robiliśmy z Politechniką Krakowską. Polegały one na tym, że rozdrabniane były płyty betonowe, takie jak peerelowska wielka płyta, ale co ciekawe, trafiły do nas z byłego NRD. Kruszywo, które wykonaliśmy wtedy, było bardzo dobre, ale powstały też wielkie ilości pyłu. No i pojawiło się pytanie: co z tym zrobić? Mając na uwadze gospodarkę obiegu zamkniętego, nie powinniśmy mieć żadnych odpadów. Doszliśmy więc do wniosku, że spróbujemy to scalić i połączyć z glinkami – opowiada dr inż. Agata Stempkowska.

Odpady budowlane stanowią około 32% całkowitej masy odpadów na świecie, a gruz stanowi ich znaczną część. Jego przetwarzanie przyniosłoby więc dużą korzyść ekologiczną. Dodanie go do kruszyw, które opracowali naukowcy z AGH, ma zmniejszać plastyczność masy. Posiada on też właściwości wiążące, które regenerują się w trakcie wypalania.

Kolejnymi składnikami były gliny towarzyszące surowcom podstawowym oraz stanowiące materiał poprocesowy. Ich zadaniem jest uplastycznienie i zespolenie powstałej masy. Do wykorzystywanych glinek

naukowcy często dodają także różne formy biomasy – na przykład pod postacią odpadów spożywczych jak fusy z kawy czy otręby, które w procesie się wypalają i tworzą w glince dodatkowe przestrzenie.

Wysuszyć, by zmoczyć

Na wstępnym etapie prac do zgranulowania materiałów wykorzystywano metodę granulacji bębnowej i dynamicznej, jednak ta pierwsza okazała się mało efektywna i badacze zrezygnowali z jej stosowania.

– Metoda granulacji dynamicznej jest szybsza, a uzyskiwane z niej granule są liczniejsze, ale przeważnie mniejsze. Przeprowadza się ją w młynku bębnowo-mieszalnikowym. Specjalna misa obraca się w jednym kierunku, a mieszalnik w przeciwnym – oba się reguluje. Dzięki zmniejszeniu i zwiększeniu obrotów, przyspieszeniu, zwalnianiu i dodawaniu wody grudki powstają bardzo szybko – w kilkanaście lub kilkadziesiąt sekund – wyjaśnia dr hab. inż. Tomasz Gawenda, prof. AGH.

W wyniku granulacji dynamicznej powstałe kulki mogą być nie do końca kształtne i nie całkiem zbite, ale dzięki temu mają większą porowatość. Wadą tej metody są natomiast niższe parametry ścieralności granulatu, które mogą przeszkadzać na przykład przy jego transporcie.

– Temperatura przy wypale powoduje, że pył betonowy, który tam włożyliśmy jako odpad, zregenerował się. Potem te kruszywa były pielęgnowane w wodzie. Początkowo badania nie napawały mnie zbytnim optymizmem, ponieważ okazało się, że mamy zbyt wysokie pH. I takie kruszywa po prostu nie mogłyby być stosowane do żadnych celów ogrodniczych czy rolniczych – zdradza naukowczyni. – Później zauważyłam, że po pierwsze pH się zmienia, a po drugie, kruszywa minimalnie zmieniają swoją masę. I to pozwoliło mi stwierdzić, że nastąpiła wtórna krystalizacja. Potem oczywiście kruszywa zostały przebadane mikroskopowo i z wykorzystaniem innych technik, jak na przykład XRD (dyfraktometria rentgenowska), i to potwierdziło, że możemy utwardzać nasze kruszywa jakby w dwóch kierunkach.

Efektom tych obserwacji było zastosowanie do utworzenia kruszyw metody hybrydowej, a więc oprócz wypalania zastosowano również metodę tak zwanej wtórnej hydratacji faz klinkierowych zawartych w kruszywie, dzięki czemu stało się twardsze. Hydratacja nie zamknęła jednak porowatości, dzięki czemu woda wciąż będzie mogła wnikać do kruszyw, a rośliny będą mogły pozyskiwać z niej wilgoć.

Aż tyle wody nie musi upłynąć

Porowatość to jedna z najważniejszych cech kruszyw przeznaczonych do podłoża roślinnych – duża ilość porów oznacza, że kruszywo może pomieścić większe ilości wody. Ale samo zwiększenie porowatości nie wystarczy, by rośliny mogły z tej wody korzystać. By to zadziałało, porowatość musi być otwarta, czyli woda zawarta w porach musi być dostępna z zewnątrz. Na przykład keramzyt, który bywa wykorzystywany do wykładania dachowych ogrodów, charakteryzuje się wysoką porowatością, ale pory znajdują się wewnątrz grudek, dlatego nawet jeśli zgromadzi się w nich woda, rośliny nie będą w stanie jej pobrać.

Nie będą mogły z niej korzystać także wtedy, gdyby porowatość była otwarta, ale zbyt drobna. Optymalna jest porowatość w skali mezo-, czyli o wielkości około 30–100 µm, dzięki której woda jest dostępna dla roślin. Uzyskane przez naukowców z AGH kolejną opracowaną metodą kruszywa płaskie charakteryzują się porowatością otwartą właśnie w mezoskali, dzięki czemu będą mogły służyć do magazynowania wody oraz jej pozyskiwania przez rośliny.

Dzięki takim kruszywom dachy mogą uzyskać dużą zdolność retencji wodnej. Jest ona szczególnie istotna w obliczu zmian klimatycznych, które wpływają na charakter opadów, także w Polsce. Deszcze stają się rzadsze, ale bardziej nawalne. Ani zabetonowane miasta, ani wysuszona długim okresem bez opadów gleba nie są w stanie szybko ich wchłoniąć. To wywołuje zalania, ale paradoksalnie także suszę – bo woda nie zatrzymuje się w lokalnym ekosystemie, tylko szybko spływa.

Nie bez znaczenia dla pełnionych funkcji pozostaje także sam kształt ziaren kruszyw – to, czy są one kuliste czy płaskie, wpływa na ich jamistość, a więc na to, ile powietrza czy wody zmieści się w tej samej objętości podłoża składającego się z ziaren. Opracowane przez naukowców z AGH ziarna mogą być także w cało-

ści płaskie, i to w tej formie dają największe korzyści. W ich próbce zmieści się nawet 30% więcej powietrza niż w takiej samej objętościowo próbce ziaren kulistych. Z tej przyczyny kruszywa foremne są korzystniejsze przy produkcji betonów czy asfaltów, bo gromadzi się w nich mniej wody, która podczas wielokrotnego przechodzenia ze stanu ciekłego w stały doprowadzałaby do pęknięcia materiału. Dodatkowo kruszywa nieforemne, którymi są kruszywa płaskie czy wydłużone ze względu na swoją większą powierzchnię właściwą, sprawiają, że wzrasta zapotrzebowanie na bitumin czy cement z wodą niezbędne do otoczenia kruszyw. Z tego samego powodu kruszywa płaskie mają szansę świetnie sprawdzić się jako podłoża dla roślin. Duże przestrzenie pomiędzy ziarnami kruszywa zapewnią korzeniom roślin dobrą aercję, a więc dostarczą im odpowiednią ilość powietrza.

– Woda będzie wsiąkać w strukturę tego ziarna (jeśli jest porowate, to do niego trafi), ale też będzie przylegać do każdej cząstki siłami adhezyjnymi. Ta woda wypełni te przestrzenie i będzie dłużej zatrzymana. Dłuższy czas jest korzystny dla nasiąkania ziaren. Oczywiście ona tak czy inaczej spłynie i musi spłynąć, bo przecież korzenie nie mogą stać w wodzie, ale wilgoć będzie się trzymać dłużej, co jest bardzo istotne dla roślin. Chodzi przecież o to, żeby w okresach pomiędzy naturalnymi opadami można było ograniczyć nawadnianie. Jeżeli mamy ziarna okrągłe, podłoże przesuszy się szybciej – mamy to zbadane. Więc kształt ziaren, jak i optymalny skład ziarnowy mają znaczenie w tworzeniu podłoża – wyjaśnia naukowiec.

W walce ze skutkami zmian klimatycznych korzystne jest także to, że zielone dachy to teren obsadzony roślinnością, która nagrzewa się znacznie mniej niż beton. Tereny, na których dominuje beton, tworzą zjawisko tak zwanych miejskich plam ciepła, bo mocno się nagrzewają i powoli oddają ciepło. Zielone dachy pozwalają na użytkowe wykorzystanie terenu, niezbędne na terenach silnie zurbanizowanych, gdzie zapotrzebowanie na zabudowę mieszkalną, użytkową i biurową jest bardzo wysokie, a jednocześnie na utrzymanie terenów zielonych, które nagrzewają się znacznie mniej. W przeciwdziałaniu temu aspektowi również mogą pomóc podłoża – jednym z wyzwań badawczych, jakie

postawili sobie naukowcy, było opracowanie kruszyw, które odbijałyby jak najwięcej światła, a więc nagrzewały się znacznie mniej od innych.

Jednymi z kruszyw, które mogą stanowić odpowiedź na problem nagrzewania, są te opisane przez dr inż. Agatę Stempkowską w czasopiśmie „Scientific Reports”. Zaproponowane tam kruszywa zostały wykonane z odpadu kaolinowego, czyli tej części skały, która przez zanieczyszczenie piaskiem nie mogłaby zostać wykorzystana na przykład do produkcji ceramiki. Ze względu na swoją jasną barwę ma szansę jednak doskonale sprawdzić się w ograniczaniu miejskich wysp ciepła – pokrycie dachów jasnym materiałem ma sprawić, że promieniowanie będzie się odbijać, a więc będą one miały tak zwane wysokie albedo (parametr określający zdolność powierzchni do odbijania promieniowania słonecznego). Dodatkowo, poprzez zmniejszenie nagrzewania się dachów, stworzą lepsze warunki do wzrostu znajdujących się na dachach roślin.

Naukowcy podkreślają, że wykorzystywane odpady nie są w żaden sposób niebezpieczne. Wszystkie składniki i surowce są kompleksowo badane przed wykonaniem kruszyw, by mieć pewność, że nie będą one szkodliwe ani dla środowiska, ani dla ludzi. Kruszywa nie mogą zawierać żadnych pierwiastków ciężkich czy innych szkodliwych substancji.

Tanio, ale za to wydajnie

W Polsce nie istnieją regulacje, które wymuszałyby wprowadzenie zielonych dachów na szeroką skalę. Nie wykluczone jednak, że w przyszłości takie regulacje wprowadzi choćby Unia Europejska. W Niemczech już 30% budynków musi mieć zielony dach, a materiały wykorzystywane do tworzenia podłoży są obecnie drogie. Najczęściej to akadama, wermikulit, keramzyt czy perlit, które powstają z trudno dostępnych i drogich surowców naturalnych. Wykorzystywanie do produkcji kruszyw odpadów jest szansą na uzyskanie odpowiedniego materiału znacznie mniejszym kosztem. Naukowcy z AGH szacują, że cena wytworzenia ich kruszywa mogłaby wynosić ok. 700 złotych za tonę – a więc byłaby nawet czternastokrotnie niższa niż cena akadamy, sprzedawanej obecnie na przykład do uprawy bonsai. Takie kruszywo stanowiłoby kilkadziesiąt procent składu mieszanki potrzebnej do stworzenia podłoża zielonych dachów.

Ponadto naukowcy podkreślają, że im większą mamy gamę dostępnych kruszyw, tym większej ilości roślin będziemy w stanie zapewnić optymalne warunki wzrostu. Choćby ze względu na wskaźnik pH nie mogą powstać kruszywa uniwersalne – różne rośliny będą miały różne wymagania. Na przykład kruszywa o wyższym pH, które nie będą odpowiednie dla większości roślin, skutecznie wspomogą wzrost winorośli.

Dr inż. Agata Stempkowska oraz dr hab. inż. Tomasz Gawenda, prof. AGH, pracują także nad specjalnymi rdzeniami powietrzno-mineralno-nawadniającymi, które mają wspomóc rozwój roślin. To specjalna konstrukcja, zawierająca między innymi porowate kruszywa, które mogą być nasączone różnymi nawozami długofalowo uwalnianymi do gleby i wchłanianymi przez rośliny. Takie rozwiązanie może być szczególnie korzystne na obszarach miejskich, gdzie rośliny nie mają optymalnych warunków do rozwoju.

Kontakt:

**dr hab. inż. Tomasz Gawenda, prof. AGH, gawenda@agh.edu.pl,
dr inż. Agata Stempkowska, stemp@agh.edu.pl**

Jak zbadać 500-letni szkic Michała Anioła i go nie zniszczyć?



Co mają ze sobą wspólnego *Krzyk* Edvarda Muncha, listy Adama Mickiewicza, arrasy na Wawelu, Biblia Gutenberga z XV wieku, sarkofagi z Egiptu, szkice Michała Anioła, Konstytucja 3 Maja czy najstarszy zachowany drewniany budynek mieszkalny na świecie? Nad wszystkimi tymi obiektami pochylał się naukowo i dosłownie badacz z Akademii Górniczo-Hutniczej. Dr hab. Tomasz Łojewski, prof. AGH z Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH prowadzi nieinwazyjne badania najbardziej wartościowych i unikatowych dzieł sztuki na świecie.

Badania prowadzone w Laboratorium Badań Dziedzictwa przez prof. Tomasza Łojewskiego mają odpowiedzieć między innymi na pytania, jak uchronić przed zniszczeniem najcenniejsze dzieła powstałe setki, a nawet tysiące lat temu. Jak właściwie przechowywać oraz eksponować najbardziej unikatowe wytwory rąk ludzkich, aby czas i światło nie odbierały im uroku i wyrazistości. W ramach realizowanych prac prof. Łojewski zajmuje się na co dzień odczytywaniem niewidocznych treści manuskryptów, obrazów, druków.

Jak zobaczyć to, czego nie widać?

Z pomocą konserwatorom sztuki i muzeom przychodzą różnorodne metody badawcze. Jedną z nich jest mikrofedometria (MFT), która pozwala na prognozowanie zmian wywoływanych przez światło i może dostarczyć wyników niezbędnych dla stworzenia planu konserwacji prewencyjnej dzieła sztuki.

– Mikrofedometria to stosunkowo młoda metoda badawcza pozwalająca na określenie w sposób nieniszczący odporności zabytku na działanie światła. Badania tą techniką mogą być prowadzone dla wszystkich klas materiałów występujących w kolekcjach muzealnych. W szczególności użyteczne są dla dzieł wykonanych na podłożu papierowym, takich jak manuskrypty, druki, akwarele, a także obrazów czy zabytkowych tkanin. Mikrofedometria pozwala wielokrotnie, z dni do minut, skrócić czas wykonania badania światłotrwałości i, co szczególnie ważne, nie pozostawia śladów przeprowadzonych testów – wyjaśnia naukowiec.

Mikrofedometria służy do pomiaru zmian barwy w trakcie testów starzeniowych, podczas których obiekt oświetlany jest punktowo światłem o mocy ponad 10 milionów luksów (dla porównania, w galeriach sztuki stosuje się zwykle oświetlenie 50–200 luksów). Dzięki temu, że punkt pomiarowy ma średnicę zaled-

wie pół milimetra, zmiany barwy powstające w trakcie badania nie są dostrzegalne ludzkim okiem. Metoda ta w związku z tym uznawana jest w środowisku konserwatorskim jako nieniszcząca, a więc pozwalająca badać oryginały, w tym te z najwyższej półki skarbów dziedzictwa.

Pomiary mikrofedometryczne pozwalają uzyskać wgląd w to, jak zmieni się badana barwa w wyniku ekspozycji na światło. Czy linia atramentowa wyblaknie i straci czytelność, czy ściemnieje i zyska na widoczności? Czy współczesne ingerencje konserwatora, uzupełniającego ubytki w obrazie olejnym lub tkaninie szybko się postarzą i staną się wyraźnie widoczne na tle oryginału? Czy ekspozycja na ścianie galerii przy stosowanym obecnie oświetleniu na pewno jest bezpieczna? A może warunki oświetlenia ustalono zbyt rygorystycznie i można zwiększyć komfort zwiedzających, rozświetlając galerie? Pytania tego rodzaju frapują muzealników z całego świata i zapotrzebowanie na badania techniką MFT ciągle rośnie. Zwiększa się też zainteresowanie aparaturą umożliwiającą wykonywanie takich testów, a jedynym producentem mikrofedometrów jest krakowska firma Instytut Fotonowy. Aparat, którego współtwórcą jest prof. Tomasz Łojewski, pracuje już w 15 krajach, w takich instytucjach jak Biblioteka Kongresu USA, Muzeum Sztuki Nowoczesnej w Nowym Jorku, Muzeum Brytyjskie czy Muzeum Historii Polski.

Inną metodą wykorzystywaną przez Laboratorium Badań Dziedzictwa jest obrazowanie multispektralne (MSI).

– To technika, w której poprzez rejestrację wielu monochromatycznych obrazów dla wąskich zakresów fali i ich późniejszą analizę statystyczną uzyskuje się nowe, syntetyczne obrazy w barwach fałszywych, na których możliwe bywa dostrzeżenie elementów niewidocznych zarówno okiem człowieka, jak i przy użyciu zwykłej fotografii – tłumaczy badacz.

Naukowcy stosują także wielomianowe mapy tekstury, zwane również obrazowaniem z przekształceniem odbicia, czyli technikę fotografii komputerowej pozwalającą na uczynienie elementów tekstury materiałów w sposób niedostępny w bezpośredniej obserwacji.

– Dokumentując obiekty z użyciem typowych narzędzi – aparatu cyfrowego lub skanera – rejestrujemy trzy obrazy składowe: czerwony, zielony i niebieski. Ich złożenie daje obraz barwny zgodny z tym, jak postrzegamy świat swoimi oczami. W zdecydowanej większości jesteśmy trójchromatyczni – nasze widzenie barwne wynika z obecności w siatkówce oka trzech receptorów, które rejestrują właśnie te trzy barwy podstawowe. Widzenie barw u człowieka ma szereg ograniczeń – nie widzimy promieniowania podczerwonego ani ultrafioletowego, nasza zdolność rozróżniania odcieni barw (ok. 1 miliona) nie dorównuje tej u ptaków czy niektórych owadów (4 lub 5 różnych receptorów barw). Użycie odpowiednich urządzeń rejestrujących obraz pozwala pokonać te ludzkie ograniczenia i zobaczyć więcej. Obrazowanie multispektralne służy właśnie osiągnięciu tego celu – precyzuje prof. Tomasz Łojewski.

Głównym polem wykorzystania techniki obrazowania multispektralnego w obszarze dziedzictwa kulturowego jest uczynienie manuskryptów, wydruków, map czy rysunków. MSI pozwala czasem również wykryć przemalowania lub rysunek wstępny na pracach malarzskich powstałych w różnych technikach.

Czy król potrafił pisać?

Badanie zabytków z zasobów jednostek kultury w Polsce i za granicą prof. Tomasz Łojewski uczynił swoją naukową specjalizacją. Lista obiektów, które miał okazję analizować, zdaje się nie mieć końca. Spośród obiektów na podłożu papierowym (starodruki, manuskrypty, dzieła plastyczne na papierze) i na pergaminie, historycznych tkanin, malarstwa olejnego, rzeźby polichromowanej, numizmatów, ceramiki z wykopalisk archeologicznych na uwagę zasługują z pewnością:

- zapiski znajdujące się na ścianach cel więziennych w obozie Auschwitz-Birkenau, ocenzone listy więźniów oraz zakopany na terenie obozu notatnik więźnia – członka Sonderkommando,
- tajnopisy więźniarek z KL Ravensbrück,
- Biblia Gutenberga z XV wieku,
- egipskie sarkofagi, datowane na X–VIII wiek p.n.e.,
- tatuaże prekolumbijskiej mumii z Peru,

Jak zbadać 500-letni szkic Michała Anioła i go nie zniszczyć

- znaki na ścianach neolitycznej kopalni krzemienia w Krzemionkach,
- list Roalda Amundsena do króla Haakona VII, pozostawiony na biegunie południowym, świadectwo walki o pierwszeństwo odkrywcy z początku XX wieku,
- XIII-wieczny rękopis grecki ze zbiorów berlińskich Biblioteki Jagiellońskiej,
- obrazy Edvarda Muncha, w tym kilka wersji jego słynnego *Krzyku*,
- zapisy z posiedzenia Sejmu, tworzące tekst Konstytucji 3 Maja z 1791 roku,
- rękopisy ze zbiorów Biblioteki Narodowej w Warszawie, między innymi *Oda do młodości* Mickiewicza, rękopisy Kochanowskiego, Norwida, Baczyńskiego, Herberta,
- tekstury drewnianych elementów konstrukcyjnych kurnej chaty (Oslo), która datowana jest na połowę XIII wieku, co czyni ją najstarszym zachowanym drewnianym budynkiem mieszkalnym na świecie,
- szkice Rafaela czy praca pt. *Epifania* Michała Anioła ze zbiorów Muzeum Brytyjskiego w Londynie.

Wszystkie te obiekty łączy to, że mają duże znaczenie dla kultury i historii, a są wrażliwe na niszczące działanie środowiska i mogą stać się niedostępne dla kolejnych pokoleń. Dla naukowców wspierających historyków i konserwatorów kluczowe jest zrozumienie przyczyn degradacji oraz znalezienie najlepszych sposobów ich konserwacji, w tym konserwacji prewencyjnej, zabezpieczającej przed przyszłymi możliwymi zmianami. Jednym z niedawno prowadzonych projektów były badania MFT wykonywane w Pracowni Konserwacji Tkanin na Zamku Królewskim na Wawelu. Arrasy wytypowane do konserwacji i badań to grupa cennych dzieł, która w czasie ewakuacji w 1939 roku uległa zamoczeniu w skrzyniach transportowych. Ślady tego epizodu są do dzisiaj widoczne między innymi w postaci odbarwień na niektórych fragmentach.

– W ramach projektu realizujemy badania arrasów pod względem ich światłotrwałości, metodą mikrofedometrii, oraz składu chemicznego i mikrobiologii, w czym wspierają nas naukowcy i naukowczynie z Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH. Określimy między innymi, jak

odporne na światło są wybarwienia nici wykorzystywanych do napraw arrasów.

Ciekawym i wartościowym dokumentem analizowanym przez prof. Łojewskiego były także *Pacta conventa* z XVI wieku. Pisemne zobowiązanie wybranego w wolnej elekcji króla zawierało szereg obietnic, których niedopełnienie groziło utratą królewskich przywilejów.

– Henryk Walezy w 1573 roku podpisał w Paryżu przywieziony mu z Polski dokument, ale atrament, w którym zamoczył swe pióro, wyblakł do dzisiaj i prezentuje się dosyć niewyraźnie. Jako wychowanek Akademii Krakowskiej z przyjemnością podjąłem się uczytelnienia podpisu króla, który obiecywał między innymi internacjonalizację studiów i dofinansowanie tej właśnie uczelni.

Jednym z najcenniejszych dzieł badanych przez prof. Tomasza Łojewskiego jest Biblia Gutenberga z XV wieku. Spośród blisko 200 egzemplarzy pierwszej książki, jaką Jan Gutenberg wydrukował w latach 1452–1455, do dzisiejszych czasów przetrwało 48, w tym 20 kompletnych. Jeden z nich, świetnie zachowany, znajduje się w Polsce, w Pelplinie, w zbiorach tamtejszego Muzeum Diecezjalnego. Gutenbergowskie wydanie Biblii ma formę dwutomową i zawiera jej łacińskie tłumaczenie, tak zwaną Wulgatę. W egzemplarzu pelplińskim (papierowym) czcionki są świetnie czytelne, bardzo dobrze zachowały się barwne inicjały. Skórzane oprawy i metalowe okucia obu tomów również przetrwały w dobrym stanie.

– Prace przez nas prowadzone koncentrowały się wokół badań i konserwacji tego unikalnego i bardzo wartościowego obiektu. Miałem przyjemność wykonać badania światłotrwałości wybranych elementów dzieła oraz zarejestrować obrazy multispektralne niektórych kart. Dobra wiadomość jest taka, że niską światłotrwałość mają jedynie linie tekstu, prawdopodobnie zapisane atramentem żelazowo-galusowym, na wyklejce zamocowanej na grzbiecie oprawy jednego z tomów. Inne testowane nośniki pisma, zdobienia i druk oraz sam papier wykazują dużo większą odporność na niszczące działanie światła – wyjaśnia naukowiec z AGH.

Wyniki opisywanych analiz wykorzystują przede wszystkim muzealnicy, opracowując między innymi plany ochrony dziedzictwa kulturowego, jednak badania wykorzystujące obrazowanie multispektralne czy wielomianowe mapy tekstury mogą być także stosowane w innych dyscyplinach. Kryminalistyka to obszar, gdzie wymienione metody mogą pomóc odczytać treści zatarte przez czynniki atmosferyczne, człowieka czy upływ czasu. Jedną z prac dyplomowych realizowaną obecnie w AGH pod kierunkiem prof. Łojewskiego dotyczy właśnie wykorzystania techniki MSI w analizie kryminalistycznej współczesnych atramentów. Dodatkowo studenci i studentki AGH mają możliwość poznania specyfiki badań dzieł sztuki i zabytków w ramach przedmiotu obieralnego „Wprowadzenie do nauki o konserwacji i zabezpieczaniu dzieł sztuki i zabytków” oraz samodzielnego zbadania wybranych prac.



Dzięki włączeniu Polski w 2025 roku do europejskiej struktury European Research Infrastructure for Heritage Science (ERIHS.eu) badania wykonywane przez Heritage Science Lab z AGH stały się dostępne dla każdej instytucji kultury z naszego kontynentu. Szczegółowe informacje dotyczące realizowanych projektów dostępne są na stronie: home.agh.edu.pl/~lojewski.

Kontakt: **dr hab. Tomasz Łojewski, prof. AGH**, lojewski@agh.edu.pl

Bielik – polski model językowy powstał w AGH



Akademickie Centrum Komputerowe Cyfronet AGH udostępniło zasoby obliczeniowe dwóch aktualnie najszybszych superkomputerów w Polsce, Heliosa i Atheny, do stworzenia Bielika – polskiego modelu językowego.

Bielik-11B-v3 – nowy polski duży model językowy

Bielik powstał w efekcie prac zespołu działającego w ramach Fundacji SpeakLeash oraz Akademickiego Centrum Komputerowego Cyfronet AGH i jest polskim modelem z kategorii LLM (z ang. Large Language Models), tj. dużym modelem językowym, posiadającym 11 miliardów parametrów.

SpeakLeash – grupa pasjonatów i twórców Bielika

SpeakLeash to fundacja, która połączyła ludzi bardzo różnych profesji. Grupa entuzjastów za cel postawiła sobie stworzenie największego polskiego zbioru danych tekstowych, wzorując się na zagranicznych inicjatywach jak The Pile. W skład zespołu projektowego wchodzi przede wszystkim pracownicy polskich przedsiębiorstw, badacze z ośrodków naukowych oraz studenci kierunków związanych z obszarami sztucznej inteligencji. Prace zespołu nad polskim modelem językowym

trwały ponad rok, a ich pierwotny zakres obejmował między innymi zbieranie danych, ich przetwarzanie oraz klasyfikację.

– Najtrudniejsze zadanie polegało na pozyskaniu danych w języku polskim. Musimy operować wyłącznie na danych źródłowych, co do których mamy pewność, jakie jest ich pochodzenie – tłumaczy pomysłodawca Bielika, Sebastian Kondraci ze SpeakLeash.

Aktualnie zasoby fundacji SpeakLeash są największym, najlepiej opisanym i udokumentowanym zbiorem danych w języku polskim.

Helios i Athena – moc obliczeniowa dla nauki

Superkomputery z Akademickiego Centrum Komputerowego Cyfronet AGH pozwoliły projektowi Bielik rozwinąć skrzydła.

Współpraca kadry z Akademii Górniczo-Hutniczej z fundacją Speakleash umożliwiła wykorzystanie odpowiednich mocy obliczeniowych niezbędnych do stworzenia modelu, wsparcie zespołu SpeakLeash niezbędną wiedzą ekspercką oraz naukową, gwarantując sukces wspólnego projektu.

Wsparcie zespołu ACK Cyfronet dotyczyło optymalizacji i skalowania procesów treningowych, prac nad potokami przetwarzania danych oraz rozwoju i działania metod generowania danych syntetycznych, a także prac w zakresie metod testowania modeli. Wynikiem tego jest polski ranking modeli (Polish OpenLLM Leaderboard). Cenne doświadczenia i wiedza zebrane w wyniku tej współpracy umożliwiły zespołowi ekspertów PLGrid przygotowanie wytycznych oraz zoptymalizowanych rozwiązań, w tym środowisk obliczeniowych do prac z modelami językowymi na bazie klastrów Atheny i Heliosa dla potrzeb użytkowników naukowych.

– Zasoby Heliosa, najszybszej aktualnie maszyny w Polsce, wykorzystaliśmy do uczenia modeli językowych – precyzuje Łukasz Flis, kierownik Działu Oprogramowania HPC. – Nasza rola polega na wsparciu wiedzą ekspercką, doświadczeniem i przede wszystkim mocą obliczeniową procesu przetwarzania, oczyszczania i oceny danych oraz na wspólnym przeprowadzeniu procesu uczenia modeli językowych. Dzięki pracy zespołu SpeakLeash i Cyfronetu AGH udało nam się stworzyć Bielika, model LLM, który doskonale radzi sobie z naszym językiem oraz kontekstem kulturowym i który może być kluczowym elementem łańcuchów przetwarzania danych tekstowych dla naszego języka w zastosowaniach naukowych, biznesowych oraz wszędzie tam, gdzie potrzebne jest przetwarzanie języka naturalnego. Nowe wersje modeli Bielika doskonale radzą sobie również z językami europejskimi oraz procesami tłumaczenia pomiędzy nimi.

Moc obliczeniowa Heliosa i Atheny w tradycyjnych symulacjach komputerowych to łącznie ponad 45 PFLOPS, a dla obliczeń z zakresu sztucznej inteligencji w niższej precyzji to aż 2 EFLOPS.

– Jeśli operujemy tak dużymi danymi jak w przypadku projektu Bielik, to oczywiście infrastruktura

potrzebna do pracy przekracza zdolności zwykłego komputera. Musimy dysponować mocą obliczeniową potrzebną tylko do tego, żeby przygotowywać dane, porównywać je ze sobą, trenować modele. Bariera dostępności tego typu superkomputerów powoduje, że mało która organizacja jest w stanie takie prace prowadzić samodzielnie. Szczęśliwie AGH dysponuje takim zapleczem – wyjaśnia Marek Magryś, p.o. dyrektora ACK Cyfronet AGH.

Równolegle z zasobów superkomputerów z ACK Cyfronet AGH korzysta kilka tysięcy naukowców reprezentujących wiele dziedzin. Zaawansowane modelowanie i obliczenia numeryczne są wykorzystywane głównie w zakresie: chemii, biologii, fizyki, medycyny i technologii materiałowej, a także astronomii, geologii i ochrony środowiska. Superkomputery w Cyfronecie dostępne w ramach infrastruktury PLGrid są również wykorzystywane na potrzeby fizyki wysokich energii (projekty ATLAS, LHCb, ALICE i CMS), astrofizyki (CTA, LOFAR), nauk o Ziemi (EPOS), europejskiego źródła spalacyjnego (ESS), badań fal grawitacyjnych (LIGO/Virgo) czy biologii (WeNMR).

– Wykorzystujemy do trenowania Bielika dwa najszybsze superkomputery w Polsce, Athenę i Heliosa, ale i tak w porównaniu z infrastrukturą światowych liderów mamy dużo mniejsze zaplecze. Do tego w tym samym czasie z zasobów superkomputerów korzysta kilkuset innych użytkowników – wyjaśnia M. Magryś. – Nasze systemy umożliwiają jednak przeprowadzenie w kilka godzin lub dni obliczeń, które na zwykłych komputerach mogłyby trwać lata lub, w niektórych przypadkach, nawet stulecia.

Bielik a ChatGPT – podstawowe różnice

– Zbiór danych zasilających Bielika cały czas rośnie, jednak trudno będzie nam się ścigać z zasobami wykorzystywanymi przez inne modele, które funkcjonują w języku angielskim. Poza tym liczba treści w internecie, która funkcjonuje w języku polskim, jest znacznie mniejsza niż w angielskim – wyjaśniają twórcy.

Najbardziej popularnym produktem wykorzystującym duży model językowy jest ChatGPT, który powstał

w oparciu o zasoby firmy OpenAI. Konieczność opracowywania modeli językowych w różnych innych językach znajduje jednak swoje uzasadnienie. Łukasz Flis podkreśla:

– Jeśli chcielibyśmy zastosować go w tych właśnie specjalistycznych obszarach i mieć model językowy, który dobrze rozumie w języku polskim i odpowiada poprawną polszczyzną, to nie możemy opierać się wyłącznie na zagranicznych modelach językowych. Budowa takich modeli jak Bielik stanowi ważny element w zapewnieniu suwerenności technologicznej Polski i Europy. Dodatkowo, dzięki relatywnie niewielkiemu rozmiarowi, możliwe jest uruchamianie go we własnym środowisku, na własnych serwerach, co jest często wymogiem przy przetwarzaniu danych poufnych, na przykład danych pacjentów czy obywateli.

Wersja, którą mogą testować użytkownicy, jest utrzymywana nieodpłatnie w domenie publicznej i wciąż udoskonalana. Autorzy udostępniłi, oprócz pełnych wersji opracowanych modeli, także całą gamę wersji skwantyzowanych w najpopularniejszych dostępnych formatach, które umożliwiają uruchomienie modelu na własnym komputerze.

– Warto wiedzieć, że Bielik bardzo dobrze sprawdza się w zakresie na przykład streszczania treści. Już w tym momencie nasz model ma swoją użyteczność w obszarze naukowym oraz biznesowym, może służyć na przykład do usprawnienia komunikacji z użytkownikami podczas obsługi zgłoszeń w helpdesku – wyjaśnia Szymon Mazurek z ACK Cyfronet AGH.

Dlaczego warto budować polskie modele językowe?

Twórcy Bielika wyjaśniają, że usługi sztucznej inteligencji funkcjonujące w internecie, w tym te najpopularniejsze jak ChatGPT, utrzymywane są na serwerach zewnętrznych. Jeśli jakaś firma czy branża rozwija rozwiązanie, które operuje na specjalistycznych danych, na przykład medycznych, lub na tekstach, które z różnych powodów nie mogą opuścić firmy, na przykład są poufne, to jedyną możliwością jest uruchomienie

takiego modelu u siebie. Ten model nie będzie tak doskonały jak ChatGPT, ale nie musi też być tak bardzo ogólny.

Dodatkową korzyścią płynącą z uruchomienia modeli językowych typu Bielik jest wzmocnienie pozycji Polski w obszarze innowacji w sektorze AI. Ponadto, co podkreślają twórcy, warto zabiegać o to, aby budować własne narzędzia i tym samym uniezależnić się od zewnętrznych firm, które w przypadku zawirowań na rynkach, regulacji czy ograniczeń prawnych mogą na przykład uniemożliwić dostęp do swoich zasobów. Tym samym rozwijając i udoskonalając narzędzia w Polsce, budujemy stabilne zaplecze i jesteśmy w stanie zabezpieczać wiele naszych sektorów – bankowy, administracyjny, medyczny lub prawniczy.

– Intensywne działania nad rozwojem AI, modelami językowymi typu Bielik czy innymi narzędziami opartymi o sztuczną inteligencję są w interesie wszystkich dobrze działających gospodarek. Obserwujemy wzmożone prace nad tego typu rozwiązaniami w wielu krajach – wyjaśnia Jan Maria Kowalski z Fundacji Speakleash.

Ostatni fragment, wyjaśniający, dlaczego warto opracowywać modele językowe w językach innych niż angielski, został wygenerowany przez Bielika:

Opracowywanie modeli językowych w językach innych niż angielski może przynieść wiele korzyści, zarówno w badaniach lingwistycznych, jak i w praktycznych zastosowaniach technologii. Oto kilka powodów, dla których warto to robić:

- Lepsze zrozumienie różnorodności językowej: modele językowe oparte na angielskim mogą nie uwzględniać w pełni specyfiki innych języków, co prowadzi do uprzedzeń lub niedokładności w rozumieniu i tłumaczeniu treści w innych językach. Rozwijanie modeli dla innych języków pozwala na lepsze zrozumienie ich gramatyki, słownictwa i kontekstu kulturowego.
- Poprawa jakości tłumaczeń: modele językowe odgrywają kluczową rolę w automatycznym

- tłumaczeniu tekstów. Opracowując modele dla mniej popularnych języków, można poprawić jakość tłumaczeń, eliminując błędy i niejasności wynikające z braku zrozumienia specyfiki tych języków.
- Wsparcie dla społeczności językowych: rozwijanie modeli językowych dla mniejszościowych języków może mieć pozytywny wpływ na te społeczności, ułatwiając komunikację i dostęp do informacji w ich rodzimym języku.
 - Otwieranie drzwi do badań nad różnorodnością językową: modele językowe mogą pomóc w badaniu podobieństw i różnic między językami, co jest kluczowe dla zrozumienia ewolucji i dywergencji języków na całym świecie.
 - Ulepszanie narzędzi AI: rozwój modeli językowych w różnych językach poszerza zakres zastosowań technologii AI, umożliwiając tworzenie bardziej zaawansowanych systemów wykorzystujących języki naturalne w sposób bardziej precyzyjny i trafny.
 - Chronienie językowej różnorodności świata: popularyzacja języków obcych często prowadzi do marginalizacji lokalnych dialektów i języków. Rozwijanie modeli językowych dla mniej znanych języków może pomóc w ochronie różnorodności językowej na całym świecie.

Przydatne linki: możliwość testowania Bielika: bielik.ai
aktualna liczba zebranych danych: speakleash.org/dashboard/

Kontakt:
Akademickie Centrum Komputerowe Cyfronet AGH, cyfronet@cyfronet.pl

Rośliny na podłuchu akustyków z AGH



Naukowcy z Akademii Górniczo-Hutniczej wspólnie z pracownikami Katedry Ochrony Roślin z Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu sprawdzają, czy rośliny w przypadku na przykład niedoboru wody, nadmiernego przesuszenia czy ataku szkodników emitują niesłyszalne dla ludzkiego ucha odgłosy, które mogą wskazywać na to, że znajdują się w sytuacji dla nich stresowej. Z pomocą hodowcom roślin przychodzą akustycy z AGH, którzy przy użyciu specjalistycznych, czułych na ultradźwięki mikrofonów są w stanie rejestrować odgłosy generowane przez rośliny.

Współpraca ze szklarnią doświadczalną w Ośrodku Zaawansowanych Technologii Produkcji Ogrodniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu zaowocowała badaniami, które mogą okazać się przydatne w diagnostyce chorób roślin. Informacje i wnioski z kolejnych eksperymentów mogą być dla hodowców roślin wskazówką, jak jeszcze lepiej zadbać na przykład o wielkopowierzchniowe uprawy i szybciej reagować na zmiany związane z nawodnieniem czy ochroną przed szkodnikami.

Dr inż. Janusz Mazurek z Katedry Ochrony Roślin przyznaje, że badanie dźwięków generowanych przez rośliny ma dla przyrodników bardzo praktyczny wymiar:

– Tego typu badania uznajemy za innowacyjne, a wyniki mogą nam pomóc między innymi w badaniach nad stresem roślin wywołanym przez czynniki fizjologiczne takie jak niedobór wody, nadmierna temperatura, niedostatek składników pokarmowych, jak również tym spowodowanym

przez choroby i szkodniki. W produkcji ogrodniczej szybkie, a w tym wypadku również bezinwazyjne rozpoznanie problemu, determinuje skuteczność działań podejmowanych przez producentów. Wpisuje się to w szeroko pojęte działania związane z produkcją integrowaną.

Odgłosy wydawane przez rośliny to dźwięki o częstotliwościach, które nie są słyszalne dla ludzkiego ucha. Emitowane ultradźwięki mogą być zarejestrowane wyłącznie przy pomocy specjalistycznych mikrofonów, których używają naukowcy i naukowczynie na co dzień pracujący w Laboratorium Akustyki Technicznej w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH.

Nastuch pomidorów w szklarniach

– Pierwszy etap badań przeprowadziliśmy w szklarni doświadczalnej Centrum Innowacyj-

nych Technologii Produkcji Ogrodniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu i badaliśmy małe sadzonki pomidorów, które przy odpowiednich warunkach szybko rosną. Ważne dla nas było, aby warunki dla uprawy roślin były jak najlepsze, a takie mogła zapewnić nam wyłącznie kompetentna kadra, która na co dzień pracuje w szklarniach doświadczalnych i wie, jak takie warunki roślinom stworzyć. Przyrost pomidorów w trakcie naszych pomiarów dochodził do 30 cm na tydzień – wyjaśnia początkowy etap badań członkini zespołu badawczego AGH dr inż. Klara Chojnacka.

– Pomiary w szklarni pokazały, że faktycznie rośliny emitowały impulsy w ultradźwiękach i ich liczba zmieniała się w zależności od pory doby. Więcej impulsów rośliny generowały w ciągu dnia – mówi dr inż. Bartłomiej Chojnacki z Laboratorium Akustyki Technicznej AGH.

Dźwięki generowane przez rośliny to tak zwany hałas impulsowy, który jak wyjaśnia zespół akustyków z AGH, jest łatwy do odróżnienia od hałasu stałego generowanego na przykład przez oświetlenie, sprzęt czy ludzi. Wyniki pozyskane z pomiarów z wrocławskich szklarni potwierdzają zatem nieliczne dotychczasowe badania na roślinach (wyniki badań przeprowadzonych na roślinach opublikował zespół z Uniwersytetu w Tel Awiwie).

Pomiary w komorze bezechowej AGH

Kolejny etap badań przeprowadzony był już w warunkach całkowicie kontrolowanych, w komorze bezechowej Laboratorium Akustyki Technicznej AGH. Pomiary przeprowadzono przy użyciu mikrofonów do zastosowań bioakustycznych. Dzięki takiemu sprzętowi naukowcy są w stanie rejestrować dźwięki powyżej 200 kHz. Zakres pomiarowy sprzętu pozwala tym samym eksperymentować z różnymi roślinami, które emitują impulsy dźwiękowe w różnych zakresach częstotliwości. Badane sadzonki pomidorów hałasowały w zakresie 20–50 kHz.

– Jednak już na przykład zboże czy winorośl wymaga całkiem innego sprzętu o dużo większej czułości na ultradźwięki i szerszego zakresu częstotliwości. Zgodnie z naszymi badaniami rośliny te

emitują impulsy w zakresie 80–150 kHz – tłumaczy dr inż. Bartłomiej Chojnacki.

– Stabilne warunki akustyczne jesteśmy w stanie osiągnąć wyłącznie w naszym laboratorium, w komorze bezechowej. Tutaj mamy pewność, że nic nie zakłóca nam rejestracji. Na etapie badań prowadzonych w AGH zapewniliśmy roślinom odpowiednie warunki pod względem naświetlenia, nawożenia czy nawodnienia. Ten etap był konsultowany z ogrodnikami z Wrocławia, którzy wyznaczyli warunki niezbędne dla odpowiedniego wzrostu roślin – mówi dr inż. Klara Chojnacka.

Drugi etap pomiarów, przeprowadzony w komorze bezechowej AGH, trwał kilka tygodni. Naukowcy umieścili roślinę w kontrolowanym środowisku akustycznym o poziomie tła akustycznego poniżej 0 dB i braku dodatkowych odbić dźwięku, a następnie rozmieścili wokół rośliny 8 specjalistycznych mikrofonów.

– W ten sposób, oprócz samej rejestracji sygnału, mogliśmy sprawdzić także kierunkowość dźwięku, to znaczy określić kierunek, w jakim dźwięk jest emitowany. To stanowi novum w dotychczasowych badaniach nad dźwiękami emitowanymi przez rośliny. Na podstawie tak prowadzonych badań możliwe będzie ustalenie, który element rośliny emituje dźwięk, a następnie szczegółowa analiza jego pochodzenia – precyzuje dr inż. Chojnacki.

Przebadano kilka sadzonek, najpierw podtrzymując odpowiednie nawożenie i podlewanie w celu uzyskania danych kontrolnych, a następnie przesuszając roślinę, aż do jej całkowitego wysuszenia. Wstępna analiza danych pozyskanych z pomiarów w Laboratorium Akustyki Technicznej AGH wskazuje, że podobnie jak w szklarniach pomidory emitowały impulsy dźwiękowe na poziomie 30–50 kHz. Intensyfikacja impulsów następowała w momencie, kiedy roślina była przesuszona.

Aktualnie zespół prowadzi badania w kierunku zdywersyfikowania posiadanych danych – badane są różne rodzaje roślin, między innymi ogórki, winorośl oraz papryka. Badania mają również na celu zweryfikowanie odtwarzalności badań – zebranie odpowiedniej statystyki pomiarów, a przede wszystkim ulepszenie technik

pomiarowych stosowanych w fitoakustyce. Rozwój metod analizy i akwizycji danych pozwoli na sprawniejsze przełożenie technologii laboratoryjno-eksperymentalnych na skalę przemysłową i wdrożenie wyników badań.

Cel badań – diagnostyka roślin w czasie rzeczywistym oraz komunikacja dwukierunkowa z roślinami

Dane z nasłuchu akustycznego mogą podpowiadać sadownikom w czasie rzeczywistym, kiedy uprawa wymaga dodatkowego działania ze strony człowieka. Dzięki tego typu diagnostyce hodowcy roślin będą mogli z jeszcze większą starannością zadbać o swoje uprawy lub zareagować z wyprzedzeniem.

– Badania akustyczne mogłyby zatem znaleźć zastosowanie w kolejnym, bardzo nieoczywistym obszarze, jakim są hodowle kontrolowane roślin, a te, jak wiemy, zyskują coraz większą popularność na świecie. Oprócz danych związanych z wilgotnością czy temperaturą otoczenia hodowcy mogliby na podstawie sygnału bezpośrednio od rośliny decydować o wzmocnieniu nawożenia, intensywniejszym podlewaniu czy ochronie przed szkodnikami, bez fizycznej obecności na miejscu – wyjaśniają naukowcy z AGH.

Jednym z najbardziej nowatorskich aspektów badanych przez akustyków z AGH jest możliwość komunikacji dwukierunkowej.

– Mechanizmy, za pomocą których rośliny emitują rejestrowane przez nas ultradźwięki, zostały

w jakiś sposób w roślinie wyewoluowane, a więc wymagały setek lat rozwoju. Naszym zdaniem rośliny wykonały tę pracę w jakimś celu – komunikacji między sobą w celu informowania o zagrożeniach lub odstraszenia potencjalnych szkodników. Jednym z bardziej przetomowych pomysłów i nadziei w tym zakresie jest możliwość wykorzystania sztucznej stymulacji za pomocą tego samego sygnału ultradźwiękowego w celu wywołania konkretnego efektu na roślinie – mówi dr inż. B. Chojnacki.

Wykazanie możliwego wpływu ultradźwięków, które wywoływałyby konkretny efekt w ramach całej plantacji, może stanowić zupełnie nowy element systemu ochrony roślin oraz wspomagania ich rozwoju bez znaczącego zużycia zasobów w rolnictwie.

– Dzięki dokładnemu zrozumieniu zjawiska dwukierunkowej emisji ultradźwiękowej w roślinach otwiera się także nowa możliwość – wzmocnienia tych naturalnych mechanizmów w celu na przykład poprawy odporności roślin na szkodniki dzięki lepszemu działaniu odstraszących ultradźwięków. Wpisuje się to w tak zwaną agendę smart crops – dodaje dr inż. K. Chojnacka.

Tym samym prowadzone badania wpisują się w założenia przemysłu 4.0, który zakłada wspomaganie decyzyjności człowieka. Dane dostarczane przez akustyków mogą w niedalekiej przyszłości być wsparciem dla sadowników oraz podnieść jakość uprawianych roślin.

Kontakt:

**dr inż. Klara Chojnacka, klara.chojnacka@agh.edu.pl,
dr inż. Bartłomiej Chojnacki, bchojnacki@agh.edu.pl**

Jak projektować inwestycje odporne na zmiany klimatu?

Globalne ocieplenie klimatu prowadzi do coraz częstszych występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych, takich jak susze i nawałne deszcze, które dotyczą również naszą część Europy. Zespół naukowy tworzony przez osoby z Akademii Górniczo-Hutniczej oraz Uniwersytetu Technicznego w Koszycach w Słowacji pracował nad nowymi metodykami oceny oddziaływania na środowisko, które pomogą lepiej przygotować nowo powstające inwestycje na czekające nas wyzwania. Rozmawiamy o tym z dr inż. Slávką Gaťas z Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH – koordynatorką projektu.



Piotr Włodarczyk (Centrum Komunikacji i Marketingu AGH): Pani doktor, w jaki sposób zmiany klimatu już dają o sobie znać w Polsce i w Słowacji, a na jakie ich skutki musimy być gotowi w przyszłości?

Dr inż. Slávka Gaťas: W ostatnich kilkudziesięciu latach na terenie Polski obserwujemy trendy zmienności warunków termicznych i opadowych. Liczba dni upalnych i nocy tropikalnych znacząco wzrosła, a także zanotowano zwiększenie średniorocznej sumy opadów. Wzrost tej ostatniej wynika przede wszystkim ze zwiększenia się liczby dni z opadem ekstremalnym, przy niewielkim wzroście liczby dni deszczowych ogółem.

Scenariusze klimatyczne RCP4.5 i RCP8.5 przewidują dla Polski dalszy wzrost średniej rocznej temperatury – odpowiednio o 1,3°C i 2,6–4,5°C w przypadku drugiego wariantu, który zakłada bardziej intensywny charakter tego procesu. Zmiany opadów będą najbardziej zauważalne na północnym wschodzie kraju, natomiast mniej w jego zachodniej części.

Wzrost temperatur nastąpi również w Słowacji, gdzie prognozy wskazują na skok o około 2,0–3,0°C do 2050 roku. Oczekuje się, że dni tropikalnych (30–35°C) i supertropikalnych (powyżej 35°C) będzie znacznie więcej, szczególnie w najcieplejszych regionach. Wzorce opadów staną się bardziej nieregularne, a okresy suszy będą przeplatać się z intensywnymi opadami deszczu. Ze względu na wyższą temperaturę i wilgotność powietrza częstsze mogą być silne i intensywne burze.

Kluczowe znaczenie dla zarządzania tymi zmianami i minimalizowania ich negatywnych skutków dla zdrowia społeczeństwa, gospodarki oraz środowiska będą miały skuteczne strategie adaptacji do nich i ich łagodzenia. Projektowanie nowych inwestycji wymaga w tym kontekście uwzględnienia równowagi pomiędzy potrzebami społecznymi, środowiskowymi i ekonomicznymi.

Jak projektować inwestycje odporne na zmiany klimatu

Na jakie aspekty w zakresie adaptacji do skutków zmian klimatu powinniśmy szczególnie zwracać uwagę, myśląc o nowych inwestycjach w naszej części Europy?

W naszym projekcie realizowanym w ramach wspólnych projektów badawczych w Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej koncentrowaliśmy się przede wszystkim na przedsięwzięciach w gospodarce wodnej oraz w sektorze górniczym. Planowanie inwestycji w gospodarce wodnej – takich jak budowa zbiorników retencyjnych, ochrona i odtwarzanie mokradł – powinno priorytetowo traktować zwiększanie retencji wody. Ma to na celu ograniczenie skutków suszy i zapewnienie zasobów wodnych w okresach deficytu oraz redukcja ryzyka powodziowego. Istotnym elementem jest również minimalizacja zanieczyszczeń wód gruntowych i powierzchniowych poprzez rozwój nowoczesnej infrastruktury do oczyszczania ścieków. Na obszarach zurbanizowanych bardzo istotne znaczenie ma gospodarowanie wodami opadowymi w kontekście rosnącej częstotliwości ekstremalnych opadów i lokalnych podtopień.

Jeśli chodzi o sektor wydobywczy, działania należy skupić głównie na ograniczaniu wpływu jego działalności na środowisko, w tym na poprawie efektywności energetycznej procesów kopalnianych. Ważne jest również uwzględnienie wpływu ekstremalnych zjawisk pogodowych na działalność wydobywczą – takich jak ulewy, powodzie czy ekstremalne temperatury – stanowiących zagrożenie dla sprzętu i infrastruktury.

W jaki sposób projekt, którego była pani koordynatorką, może poprawić odporność inwestycji na kaprysy pogody, z którymi będziemy się mierzyć?

Nasze badania skupiały się na porównywaniu danych, modeli oraz metodyki w zakresie zarządzania ryzykiem klimatycznym w procesach oceny oddziaływania na środowisko (OOŚ) i strategicznej oceny oddziaływania na środowisko (SOOŚ) w państwach Unii Europejskiej, szczególnie w Polsce i Słowacji. Takie porównanie pozwoliło na lepsze zrozumienie różnic i podobieństw w podejściach do oceny podatności inwestycji oraz projektów na zmiany klimatu w różnych kontekstach regionalnych i krajowych.

Chciliśmy dostarczyć nowych wytycznych pomocnych dla administracji państwowej, środowiska biznesowego i społeczności ekspertów zajmujących

się przygotowaniem dokumentacji projektowej oraz uczestniczącymi w procesach OOŚ oraz SOOŚ. Właśnie te wymagane prawem procedury najlepiej nadają się do tego, aby zaimplementować w nich narzędzia do rozwiązywania problemów związanych z klimatyczną odpornością nowych inwestycji. Opracowane przez nas metodyki oceny będą miały na celu udzielenie kompleksowej odpowiedzi na pytanie, czy dany projekt lub inwestycja mogą być istotnie dotknięte niekorzystnymi skutkami zmiany klimatu. Aby tak się stało, należy zidentyfikować ryzyka klimatyczne, ocenić scenariusze zmiany klimatu dla danego obszaru i oszacować podatność projektu na zmiany przewidywane w przyszłości. Istotnym aspektem oceny inwestycji i projektów powinno być również poszukiwanie możliwych alternatyw i rozwiązań w celu zwiększenia ich klimatycznej odporności. Ważne są również pytania o sposób monitorowania niekorzystnych skutków zmian klimatu dla inwestycji i projektów oraz o ocenę skuteczności ewentualnych działań adaptacyjnych.

Dlaczego dotychczasowe kryteria oceny oddziaływania na środowisko są w tym zakresie niewystarczające?

Obecnie mamy do czynienia z dużym stopniem niepewności co do wpływu zmian klimatu na nowe projekty, ponieważ dysponujemy obserwacjami ze stosunkowo krótkiego okresu i brakuje nam jeszcze odpowiednich doświadczeń w zakresie eksploatacji konkretnych typów inwestycji w nowych warunkach. Wyniki naszych analiz wykazały, że strategiczne oceny oddziaływania na środowisko przygotowywane w Polsce rozpatrują problem w sposób bardziej wieloaspektowy, niż ma to miejsce w Słowacji. Jednakże w obu krajach istnieją obszary, w których wdrożenia w tym zakresie są niewystarczające lub w ogóle ich nie ma.

Jakie prace zostały wykonane w ramach projektu, aby mógł on osiągnąć zaplanowany rezultat?

Osiągnięcie celów projektu było w dużej mierze związane z działaniami w zakresie wsparcia mobilności badaczy z obu instytucji, co umożliwiło wymianę osób oraz transfer informacji, dokumentacji badawczej i doświadczenia zespołu projektowego. Wszystkie wspólne działania zaowocowały przygotowaniem artykułów naukowych, wystąpień konferencyjnych i opracowaniem

wniosku o kontynuację realizacji wspólnego projektu naukowo-badawczego.

Zgromadzono odpowiednie dane, w tym historyczne i prognozowane dane klimatyczne, informacje o lokalizacji projektu, infrastrukturze, demografii i ekosystemach. Na ich podstawie przeprowadzono analizę wrażliwości klimatycznej z wykorzystaniem dostępnych modeli i narzędzi analitycznych, co pozwoliło na identyfikację głównych zagrożeń klimatycznych i obszarów wrażliwych. Wyniki analiz posłużyły za podstawę do opracowania metodologii, wytycznych i rekomendacji dotyczących oceny wrażliwości i odporności na zmiany klimatu nowych inwestycji i projektów, które następnie przetestowano w oparciu o dostępne dane i przykłady pilotażowe.

Jakie działania zostały podjęte, żeby projektowane narzędzia adekwatnie uwzględniały lokalną specyfikę?

Współpracowaliśmy z lokalnymi społecznościami, administracją publiczną i partnerami społeczno-gospodarczymi w obydwu krajach w celu zbierania oraz wymiany informacji i doświadczeń. W ramach kooperacji pod-

daliśmy analizie konkretne dane dotyczące inwestycji i projektów, procedur OOS i SOOS oraz przetestowaliśmy opracowane metodyki na konkretnych przypadkach. Mamy nadzieję, że pozwoli to na przyspieszenie wdrażania opracowanych rozwiązań oraz zwiększenie ich rzeczywistego zastosowania.

Ile osób liczyła grupa zaangażowana w prace i kto wchodził w jej skład?

W skład naszego zespołu w AGH weszły cztery osoby z Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska – dwóch pracowników na stanowiskach badawczych i badawczo-dydaktycznych oraz dwóch studentów, którzy aktywnie uczestniczyli w prowadzonych badaniach. Na Uniwersytecie Technicznym w Koszycach grupę badawczą tworzyło pięciu naukowców z Wydziału Górnictwa, Ekologii, Zarządzania i Geotechnologii oraz z Wydziału Budownictwa. Zespół reprezentował dziedziny naukowe związane z inżynierią środowiska, górnictwem i energią oraz naukami o Ziemi i środowisku.

Projekt „Wzmacnianie odporności klimatycznej inwestycji i projektów: Innowacyjne narzędzia i wytyczne dla skutecznego zarządzania ryzykiem” realizowany był w ramach programu Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej – wsparcia mobilności naukowców realizujących wspólne projekty badawcze pomiędzy Rzeczpospolitą Polską a Republiką Słowacką w latach 2024–2025.

Kontakt: **dr inż. Slávka Gałaš**, sgalas@agh.edu.pl

Naukowcy z AGH: Wiele miejsc w Polsce może kryć złoża wodoru



Najbliższe lata pokażą, czy biały wodór będzie odgrywał istotną rolę w przyszłym miksie wodorowym*. O poszukiwaniach i perspektywie eksploatacji podziemnych złóż wodoru rozmawiamy z ekspertami z Katedry Surowców Energetycznych na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH.

Piotr Włodarczyk (Centrum Komunikacji i Marketingu AGH): W 2023 roku media na całym świecie w tonie sensacji informowały o odkryciu w Lotaryngii dużego złoża naturalnego wodoru. Kiedy jednak wczytamy się w szczegóły, to jego szacowana wielkość nie przekracza nawet aktualnego rocznego globalnego zapotrzebowania na ten gaz. Czy nadzieje związane z białym wodorem nie są formułowane na wyrost?

Dr inż. Paweł Poprawa: Przede wszystkim, we Francji nie odkryto żadnego złoża – w trakcie poszukiwań akumulacji metanu w pokładach węgla stwierdzono domieszkę wodoru na głębokości od 800 do 1100 m, przy czym jego stężenie rośnie wraz z głębokością od kilku do kilkunastu procent. Na tej podstawie przyjęto, że jeżeli taki trend się utrzyma, to na głębokości około 3000 m zawartość wodoru będzie wynosiła już co najmniej 90%. Mamy więc do czynienia wyłącznie z hipotezą, a nie odkryciem sensu stricto.

Dr hab. inż. Henryk Sechman, prof. AGH: Tego typu złoża mogą znajdować się na wszystkich kontynentach. Na przykład ostatnio władze Australii udzieliły koncesji kilku firmom, które prowadzą zaawansowane prace poszukiwawcze. Jak donoszą media branżowe, w odwierconych dotąd otworach zarejestrowano obecność wodoru o wysokich stężeniach – nie mamy natomiast informacji, czy wydajność jego przepływu umożliwi prowadzenie eksploatacji. Poszukiwania prowadzone są również w Stanach Zjednoczonych, między innymi w Nebrasce i Kansas. W tamtejszych odwiertach stwierdzono podwyższone stężenia wodoru i helu. Jeśli chodzi o Europę, jedna z firm planowała wiercenia w Hiszpanii po południowej stronie Pirenejów, ale prace na razie zostały zatrzymane przez tamtejszy rząd. Obecnie trwa procedura oceny oddziaływania na środowisko, więc może niedługo sprawa ruszy do przodu.

Skoro jesteśmy przy wpływie na środowisko, to z białym wodorem niektórzy wiążą również obawy. Jego przeciw-

nicy argumentują, że eksploatacji towarzyszyć będą emisje metanu potęgującego efekt cieplarniany. Oprócz tego podnoszą argument, że sam wodór po uwolnieniu do atmosfery może wchodzić w reakcje produkujące ozon, który w jej niższych warstwach działa jak gaz cieplarniany. Co by im panowie odpowiedzieli?

Dr inż. Paweł Poprawa: Nie zgodziłbym się z oboma argumentami. Po pierwsze, w jedynym jak dotąd odkrytym złożu wodoru na świecie – Bourakébougou w Mali – metan w ogóle nie występuje. Po drugie, tam gdzie wodór występuje w asocjacji z innymi gazami, metan nie będzie uwalniany do atmosfery, tylko oddzielany od wodoru i zagospodarowywany w gospodarce jak obecnie. Po trzecie wreszcie, jednym z największych problemów w przypadku użytkowania wodoru jest jego szczelne przechowywanie, ponieważ zbudowany jest z najmniejszych na świecie atomów i nie dysponujemy aktualnie materiałami, które byłyby zdolne zatrzymać go przez dłuższy czas. Ale podobnie dzieje się w przyrodzie, gdzie struktury geologiczne nie są w stanie utrzymać go wiecznie pod ziemią. Pomyślmy więc lepiej, jak zatrzymać i wykorzystać to, co ucieka do atmosfery i bez naszego udziału.

Dr hab. inż. Henryk Sechman, prof. AGH: Drugie tak czyste złożo jak w Mali raczej nam się nie zdarzy, ale dla czego mielibyśmy nie eksploatować mieszanki z azotem i metanem? Gdybyśmy w Polsce znaleźli takie akumulacje złożowe, to dysponujemy potężnymi zakładami potrafiącymi odseparować od siebie te gazy. Metan zresztą stanowiłby domieszkę jak najbardziej pożądaną, więc na pewno nikt nie będzie go od tak sobie wypuszczał do atmosfery.

Działalność grupy Geo-Hydrogen

AGH od 2024 roku wraz Państwowym Instytutem Geologicznym – Państwowym Instytutem Badawczym (PIG-PIB), Instytutem Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN (IGSMiE PAN) oraz ORLEN SA tworzy grupę Geo-Hydrogen. Jakże są szanse na odkrycie złóż wodoru również w Polsce?

Dr inż. Paweł Poprawa: Jest wiele miejsc na obszarze naszego kraju, gdzie warunki geologiczne dostarczają przesłanek dla prowadzenia takich badań. Mowa na przykład o basenach osadowych, które są basenami

naftowymi – jak basen permski w jego zachodniej części czy baseny we wschodniej Polsce. Ale też o zagłębiach węglowych czy nawet obszarach pozbawionych basenów sedymentacyjnych, jak na przykład ofiolity dolnośląskie. Nie można jednak ulegać przesadnemu optymizmowi, trzeba wszystko skrupulatnie zweryfikować.

Dr hab. inż. Henryk Sechman, prof. AGH: W Polsce odwiercono bardzo wiele otworów (głównie w naftowych basenach osadowych), dzięki czemu dysponujemy ogromną bazą danych – trzeba je tylko przeanalizować. Jesteśmy pewni, że wspólna inicjatywa AGH, PIG-PIB, IGSMiE PAN i ORLENU przyniesie nam wymierne sukcesy. W ramach wspomnianego porozumienia zobowiązaliśmy się do wzajemnego wsparcia w prowadzeniu poszukiwań oraz realizacji różnego rodzaju projektów badawczych, a ponadto ORLEN stworzy naszym studentom warunki do odbywania praktyk w zakresie poszukiwań białego wodoru.

Wraz z naszymi partnerami z PIG-PIB i IGSMiE PAN złożyliśmy wniosek do NCBR w XIII konkursie w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych „Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków” – GOSPOSTRATEG. Projekt dotyczy opracowania programu poszukiwania, rozpoznawania i zagospodarowania złóż naturalnego wodoru w celu kształtowania polityki surowcowej i energetycznej Polski.

Gdyby otrzymali panowie nieograniczone środki na prowadzenie badań naukowych w obszarze naturalnego wodoru, to na co by je panowie przeznaczili?

Dr inż. Paweł Poprawa: Moim zdaniem istnieją trzy równoległe wątki badawcze, które rozwijają naszą wiedzę na temat białego wodoru. Pierwszy z nich dotyczy przejawów jego obecności przy powierzchni ziemi, na przykład w glebie – prof. Sechman jest jednym ze światowych liderów w tej dziedzinie. Drugi to wspomniane wcześniej spojrzenie na historię eksploatacji złóż ropy i gazu w celu sprawdzenia, czy badania prowadzone w tym zakresie nie dostarczyły przypadkowo informacji na temat białego wodoru. Trzeci natomiast to analiza procesów odpowiedzialnych za powstawanie naturalnego wodoru i typowanie obszarów, gdzie mogą one zachodzić.

Dr hab. inż. Henryk Sechman, prof. AGH: Faktycznie od ponad trzydziestu lat zajmuję się badaniami z zakresu

geochemii powierzchniowej, które wcześniej były ukierunkowane na poszukiwanie złóż węglowodorów i znalazły zastosowanie w Polsce i na świecie. W trakcie tych badań wodór był oznaczany niemal w każdej próbce gazu glebowego, ale nikt nie przykładał wówczas do tego wagi. Teraz, rzecz jasna, patrzymy na ten wskaźnik inaczej – niedługo powinna ukazać się publikacja naszego zespołu badawczego, w której wracamy do składu próbek z basenów sedimentacyjnych z obszaru Polski. Analizujemy w niej, gdzie odczyty wodoru były najsilniejsze. Oprócz tego zajmujemy się również tak zwanymi bajkowymi kręgami (ang. fairy circles), czyli opisanymi kilka lat temu w różnych artykułach anomaliami morfologicznymi w formie kolistych obniżen terenu. Są one dobrze udokumentowanym efektem silnych emanacji wodoru – w Polsce również takie znaleźliśmy, zbadaliśmy i ogłosiliśmy ich istnienie na konferencjach naukowych. Nasza publikacja na ten temat również jest w opracowaniu.

A wracając do pana pytania, myślę, że warto byłoby zainwestować w interdyscyplinarne badania geofizyczno-geologiczno-geochemiczne, w tym oczywiście w powierzchniowe badania geochemiczne, których efektem byłoby wytypowanie optymalnych stref dla wykonania wierceń. Badania takie powinny być prowadzone szczególnie poza obszarami tak zwanych basenów naftowych, które jak wspominałem wcześniej, są dość dokładnie rozpoznane wiertniczo. Z kolei wiercenia ukierunkowane na poszukiwanie wodoru należałoby prowadzić z uwzględnieniem specyficznych właściwości tego gazu.

Perspektywy eksploatacji białego wodoru

Jeśli faktycznie w Polsce lub na świecie zostaną odkryte złoża wodoru, co zdecyduje o opłacalności ich wydobywania i roli w globalnej gospodarce?

Dr inż. Paweł Poprawa: Tak jak w przypadku wszystkich innych rodzajów interesujących ludzkość złóż, istotny parametr uzasadniający działalność wydobywczą stanowić będzie koncentracja surowca. Ideałem w tym względzie jest złożo w Mali, gdzie stężenie wodoru wynosi 98% – nie należy jednak oczekiwać, że taka sytuacja powtórzy się w każdym innym miejscu na Ziemi. Drugi decydujący czynnik to wielkość zasobów – im większa będzie akumulacja wodoru, tym pewniejszy będzie zwrot środków zainwestowanych w infrastruk-

ture służącą do jego wydobycia. Kolejny aspekt wymagający rozważenia to głębokość złoża, ponieważ koszt wykonania prac wiertniczych wzrasta wykładniczo wraz z głębokością. Złożo Bourakébougou znajduje się na głębokości rzędu 100 m – takie wiercenia są bardzo tanie. Jeżeli złożo byłoby na głębokości na przykład 4 km, musiałoby zawierać odpowiednio więcej surowca, żeby zrekompensować wartość wykonanych prac. Ostatnim elementem kalkulacji jest dostęp do rynku zbytu i koszt wybudowania infrastruktury przesyłowej. Każdy przypadek jest indywidualny, ale zdaniem większości analityków rynku eksploatacja podziemnych złóż wodoru jest najtańszą metodą jego pozyskiwania spośród wszystkich dostępnych. Żebyśmy jednak z nich korzystali, muszą być odpowiednio duże. Jeśli globalne zasoby okażą się niewielkie, znaczenie białego wodoru w światowej gospodarce również będzie marginalne.

Dr hab. inż. Henryk Sechman, prof. AGH: W pełni zgadzam się z panem dr. Pawłem Poprawą i chciałbym dodać, że eksploatacja złóż naturalnego wodoru będzie stanowiła uzupełnienie tego pozyskiwanego obecnie innymi metodami. Gospodarka niskoemisyjna będzie się rozwijać i wodór jako taki będzie odgrywał w niej duże znaczenie. Najbliższe lata zweryfikują, czy będzie to wodór biały.

Jeśli spełni się optymistyczny scenariusz, na jak długo starczy nam tego nowego źródła energii?

Dr inż. Paweł Poprawa: Warto wrócić w tym miejscu do problemu z magazynowaniem wodoru, o którym wspominaliśmy wcześniej. Jeżeli obecnie nie jesteśmy w stanie zbudować w pełni szczelnego zbiornika na wodór, to w strukturach geologicznych też nie utrzymywałby się on przez wiele milionów lat. Stąd sądzimy, że powstaje niemal współcześnie.

Dr hab. inż. Henryk Sechman, prof. AGH: Procesy radiolizy i serpentynizacji w odpowiednich warunkach geologicznych zachodzą relatywnie szybko, wobec czego do formowania się złóż wodoru nie potrzeba milionów lat – jak ma to miejsce w przypadku ropy naftowej i gazu ziemnego. Jeden z geochemików – prof. Alain Prinzhofer z Brazylii – twierdzi wręcz, że proces ten odbywa się w przedziale czasowym od 10 do 100 lat. Podobnie jak większość naukowców przychylamy się opinii, że biały wodór to zasób odnawialny. Aczkolwiek

potrzeba dalszych badań, aby potwierdzić, czy jego zasoby odnawiają się w sposób ciągły i jakie jest tempo ich generowania.

* Wodór i transformacja energetyczna

Wodór może być jednym z zielonych paliw napędzającym transformację energetyczną, ponieważ jedynym produktem jego spalania jest para wodna ($2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$). Większość wodoru na świecie produkowana jest jednak obecnie metodą reformingu parowego metanu (wodór szary), która sama w sobie wiąże się z emisjami CO_2 . Emisje można ograniczyć – stosując w procesie produkcji technologie wychwytu i składowania CO_2 (wodór niebieski), lub całkowicie wyeliminować – produkując wodór z wody metodą elektrolizy zasilanej odnawialnymi źródłami energii (wodór zielony). Ta ostatnia jest niestety energochłonna i kosztowna.

Wodór biały to wodór produkowany wyłącznie siłami przyrody. Powstaje w wyniku przepływu wody przez bogate w żelazo i magnez skały ultramaficzne (serpentyzacja), rozszczepiania wody na skutek promienionowania radioaktywnych pierwiastków zawartych w skałach (radioliza) lub jest produktem ubocznym procesów mikrobiologicznych. Na całym świecie trwają poszukiwania naturalnych źródeł wodoru, bo przyroda z tytułu prowadzonej działalności produkcyjnej szczęśliwym znalazcom nie będzie wystawiać rachunków.

Bourakébougou w Mali to jedyne miejsce na świecie, gdzie złoża wodoru jest eksploatowane przemysłowo. Jego odkrycie zostało dokonane w 1987 roku przypadkowo, podczas próby wiercenia studni, a wydobywanie prowadzone jest od kilkunastu lat przez firmę założoną przez miejscowego przedsiębiorcę. Wydobywany tam wodór wykorzystywany jest jako paliwo w elektrowni, która dostarcza prąd dla lokalnej społeczności.

Kontakt:

dr inż. Paweł Poprawa, pawel.poprawa@agh.edu.pl,

dr hab. inż. Henryk Sechman, prof. AGH, sechman@agh.edu.pl

W AGH powstają bioimplanty wspomagające regenerację ubytków chrzęstno-kostnych



Tkanka chrzęstna w przestrzeniach stawowych ulega degradacji w wyniku procesów zwyrodnieniowych, a organizm samodzielnie nie radzi sobie z odbudową powstałych ubytków. Naukowcy z AGH mają pomysł, jak wspomóc jej regenerację poprzez dostarczenie w miejsce schorzenia biomateriałów aktywujących naturalne procesy regeneracyjne.

Kości w stawach mogą płynnie przesuwać się względem siebie między innymi dzięki temu, że ich powierzchnię stawową pokrywa tkanka chrzęstna. Jest ona gładka i elastyczna, w związku z czym minimalizuje tarcia zachodzące w trakcie ruchów. Jednak na skutek długotrwałych obciążeń stawów związanych z wykonywaną aktywnością czy naturalnych procesów starzenia tkanka chrzęstna ulega stopniowej degradacji, co w dalszej kolejności prowadzi do zmian w kości podchrzęstnej. Osoby dotknięte zaawansowanymi procesami zwyrodnieniowymi zmagają się z bólem i ograniczeniami ruchowymi, których skuteczne leczenie wymaga interwencji chirurgicznej.

– Zachowawcze leczenie ubytków osteochondralnych jest zwykle nieskuteczne z uwagi na to, że chrząstki stawowe nie są ani unaczynione, ani unerwione. Po pierwsze, ze względu na brak naczyń krwionośnych do tkanki nie są dostarczane składniki odżywcze, które umożliwiają organi-

zmowi samodzielną odbudowę ubytku. Po drugie, z uwagi na brak połączeń nerwowych symptomy bólowe pojawiają się u pacjentów dopiero wtedy, gdy tkanki chrzęstnej praktycznie już nie ma i uszkodzenie dochodzi do kości – wyjaśnia prof. dr hab. inż. Elżbieta Pamuła z Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH, która specjalizuje się w projektowaniu materiałów na potrzeby medycyny regeneracyjnej.

Wykorzystanie naturalnych zdolności organizmu

Kierowany przez prof. Pamulę zespół Biomateriały Regeneracyjne i Systemy Dostarczania Leków uczestniczy w pracach międzynarodowego konsorcjum, które w ramach projektu finansowanego ze środków programu Horyzont Europa pracuje nad innowacyjną metodą wytwarzania bioimplantów przywracających stawom ich pierwotną funkcjonalność. Takie implanty nie przejmowałyby od razu upośledzonych funkcji stawu, ale

umożliwiałyby organizmowi aktywowanie niewykorzystywanych miejscowo naturalnych zdolności regeneracyjnych do samodzielnej odbudowy tkanek.

– Te materiały powinny mieć strukturę biometryczną, czyli pod względem właściwości mechanicznych i struktury na różnych poziomach odzwierciedlać naturę tkanki (na przykład liczbę porów i ich ułożenia względem siebie) – wskazuje prof. Pamuła.

Zadanie to wymaga zaprojektowania dwufazowego materiału, którego jedna faza będzie odpowiadała tkance kostnej, a druga chrzęstnej. Pierwsza stanowiłaby ceramiczne odwzorowanie (tak zwane rusztowanie) istoty gąbczastej – budującej wewnątrz kości – i byłaby wzbogacona bioczynnikami przyciągający komórki macierzyste (multipotencjalne). Takie komórki, których w ludzkim organizmie rezerwuarem jest między innymi szpik kostny, posiadają zdolność do różnicowania się w kierunku dowolnych innych typów komórek. Kiedy komórki takie osiadałyby na części rusztowania odwzorowującego istotę gąbczastą, ulegałyby przemianie w osteoblasty – komórki kościotwórcze.

Druga faza – jej zaprojektowanie to właśnie rola zespołu z AGH – stanowiłaby hydrożelową imitację tkanki chrzęstnej. Byłaby ona zmodyfikowana komórkami pobranymi od pacjenta bądź wyselekcjonowanymi z banków tkanek, które byłyby zdolne do samodzielnego namnażania i odbudowy istniejącego ubytku.

Rozważane jest też inne podejście – zaprojektowanie materiału dwufazowego, który nie zawierałby takiego wzbogacenia komórkowego. Wówczas wytwarzane przez organizm pacjenta komórki multipotencjalne po dotarciu do miejsca, gdzie powinna zregenerować się tkanka kostna, różnicowałyby się w kierunku osteoblastów. Te natomiast przenikające wyżej trafiłyby na środowisko sprzyjające ich różnicowaniu się w kierunku chondrocytów – komórek tkanki chrzęstnej.

Redukcja liczby testów na zwierzętach

W zamierzeniu naukowców początkiem terapii chorego byłaby szczegółowa diagnostyka obrazowa miejsca ubytku. W oparciu o dostarczone przez nią dane, ze wsparciem metod modelowania matematycznego i sztucznej inteligencji byłby projektowany dokładnie

dopasowany do każdego pacjenta implant, który odzwierciedlałby jego nano-, mikro- i makrostrukturę tkanek oraz ich właściwości mechaniczne. Obie fazy tworzącego go materiału mogłyby szybko i relatywnie tanio powstawać z wykorzystaniem druku 3D.

Prof. Pamuła zastrzega, że w przypadku fazy opracowywanej przez jej zespół to technika obiecująca, ale będąca aktualnie na etapie prototypowania. – Jest dużo grup, które pracują obecnie nad tak zwanym biodrukiem – wykonują go w sterylnych warunkach za pomocą specjalistycznych drukarek, używając do tego procesu hydrożelu z zawieszonymi w nim komórkami. Wykorzystując tę technikę, można tworzyć implanty dokładnie dopasowane do powstałych u pacjentów ubytków. Jednak na drodze do tego, żeby komórki przeżywały, namnażały się i odbudowywały tkankę, istnieje wciąż wiele wyzwań do pokonania.

W trakcie prowadzonych prac naukowcy będą rozwijać innowacyjne metody badawcze wykorzystujące tak zwane organy na chipach oraz trójwymiarowe fizjologiczne modele in vitro. Nie tylko są one w stanie dostarczyć większej ilości danych niż hodowle komórkowe prowadzone tradycyjnymi metodami, ale też mogą w przyszłości zredukować bądź całkowicie wyeliminować konieczność wykonywania testów biochemicznych na zwierzętach.

– Będziemy pracować na modelach organoidowych, czyli modułach tkankowych umożliwiających jednoczesne badanie naszych materiałów i komórek w skali mikroskopowej. Możemy uzyskać dzięki temu wiele informacji biologicznych, których nie są w stanie dostarczyć nam hodowle komórkowe prowadzone na płaskich podłożach – wyjaśnia prof. Pamuła.

Ulga dla pacjentów i szpitali

Obecnie w celu aktywowania w organizmie procesu regeneracji tkanki chrzęstnej stosuje się zabiegi chirurgiczne. Do najczęściej wykonywanych należy technika mikroślamań – polega ona na usunięciu uszkodzonej chrząstki i nawierceniu w kości mikrootworów w celu uwolnienia znajdującego się w niej szpiku wraz ze znajdującymi się w nim komórkami macierzystymi. Te ostatnie różnicują się wówczas w kierunku chondrocytów i namnażając się, odbudowują istniejący ubytek.

W AGH powstają bioimplanty wspomagające regenerację ubytków chrzęstno-kostnych

Stosuje się również zabiegi mozaikoplastyki, polegające na przeszczepie w miejsce uszkodzenia fragmentu kości wraz ze zdrową chrząstką z innego nieobciążonego miejsca w stawie. W nielicznych przypadkach przeprowadza się też implantację chondrocytów, które zostały wcześniej namnożone w laboratorium z komórek pobranych od pacjenta.

Prof. Pamuła ma nadzieję, że nowa metoda terapii umożliwi szybką pomoc osobom ze zwyrodnieniami i odblokuje system opieki zdrowotnej:

– Jestem zdania, że w przypadku ubytków tkanki chrzęstno-kostnej należy korzystać z mało inwazyjnych metod leczenia, umożliwiających pacjentowi udanie się do domu krótko po zabiegu i satysfakcjonujące funkcjonowanie. Wstrzykiwanie implantów byłoby dobrym sposobem na to, żeby jego pobyt w placówce medycznej był jak najmniej obciążający dla systemu ochrony zdrowia i niego samego.

AGH w renomowanym gronie

Prace prowadzone w ramach projektu „EngVIPO Engineering Vascularized Implants for Personalised Osteochondral Tissue Regeneration: From medical imaging to pre-clinical validation” zaplanowane są na cztery lata. Projekt jest finansowany przez Komisję Europejską w ramach programu Marie Skłodowska-Curie Actions – Staff Exchanges 2023 (HORIZON-MSCA-2023-SE-01-01). Oprócz AGH w konsorcjum uczestniczy siedem renomowanych instytucji badawczych i firm z różnych krajów: Uniwersytet Minho (Portugalia), Uniwersytet w Kragujevacu (Serbia), Uniwersytet Fryderyka i Aleksandra w Erlangen i Norymberdze (Niemcy), Uniwersytet w Grenadzie (Hiszpania), Ti-COM sp. z o.o. (Polska), A4TEC (Portugalia) oraz The Seventh Affiliated Hospital, Uniwersytet Sun Yat-sen (Chiny).

Kontakt: **prof. dr hab. inż. Elżbieta Pamuła**, epamula@agh.edu.pl

Czy krakowskie powietrze ma dobrą jakość? Zespół z AGH zbadał pył PM2,5 przy użyciu synchrotronu

Grupa naukowców i naukowców z Akademii Górniczo-Hutniczej przeprowadziła pierwsze w Polsce badanie pyłu zawieszonego zaawansowaną metodą XANES, która umożliwia precyzyjną identyfikację form chemicznych występujących w nim pierwiastków. Ich znajomość pozwala na wskazanie źródeł zanieczyszczeń powietrza, a także oszacowanie ich wpływu na zdrowie i środowisko.



Pył PM2,5 to bardzo niebezpieczny dla zdrowia typ zanieczyszczenia, ponieważ tworzące go cząsteczki o średnicy aerodynamicznej mniejszej niż 2,5 μm mogą wnikać przez płuca wdychających go osób bezpośrednio do krwiobiegu. W skład pyłu mogą wchodzić nie tylko spaliny z kominów czy rur wydechowych samochodów, ale też na przykład drobiny pochodzące ze ścierających się jezdni, opon czy klocków hamulcowych. W celu rozpoznania, jakie są źródła zanieczyszczenia pyłem w wybranej lokalizacji oraz jak może ono wpływać na organizm ludzki, niezbędne jest przeprowadzenie analizy chemicznej tego zanieczyszczenia. O ile badania w kierunku ustalenia występujących w pyłach pierwiastków oraz ich mas i stężeń są stosunkowo częste, o tyle analizy w celu ustalenia ich specjacji chemicznej należą do rzadkości. Tymczasem forma, w jakiej dany pierwiastek występuje, nie tylko niesie informację o źródle jego pochodzenia, ale również determinuje jego toksyczność i reaktywność.

Badania zainicjowane przez dr hab. inż. Lucynę Samek, prof. AGH na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH, uzupełniają wiedzę w tym zakresie. Kierowany przez nią zespół przeprowadził analizę specjacji chemicznej próbek pyłu PM2,5 pobranych zimą i latem 2018/2019 i 2020/2021 na stacji monitoringu jakości powietrza AGH w Krakowie. Grupa za pomocą zaawansowanej metody XANES (X-ray Absorption Near Edge Structure) zidentyfikowała obecne w nich związki siarki, potasu, chloru, cynku i żelaza. Wyniki analizy zostały opublikowane na łamach prestiżowego czasopisma „Scientific Reports”.

To nie tylko pierwsze w Polsce wykorzystanie tej metody w przypadku pyłu PM2,5, ale też jedno z niewielu na świecie. „Dopiero teraz dotarliśmy do nielicznych tego typu badań z Niemiec, Japonii i Stanów Zjednoczonych” – wylicza prof. Samek.

Metoda XANES – czemu służy „ostrzeliwanie” atomów promieniami X

W metodzie XANES próbkę bada się za pomocą wiązki promieniowania rentgenowskiego (X). Oddziaływanie fotonów rentgenowskich z atomami prowadzi do absorpcji przez nie energii i wybitcia elektronów z ich powłok wewnętrznych. Minimalna energia potrzebna do wyrwania elektronu z danej powłoki nazywana jest krawędzią absorpcji. Ta krawędź jest silnie zależna od lokalnego otoczenia chemicznego atomu, w szczególności od jego stopnia utlenienia. Dzięki temu analiza tak zwanych widm absorbcyjnych i porównanie ich ze znanymi wzorcami umożliwia dokładną charakterystykę stanów chemicznych badanych pierwiastków.

Do uzyskania wiązki promieniowania o wysokiej jasności i precyzyjnie kontrolowanej energii wykorzystuje się synchrotrony elektronowe. Mają one formę pierścienia, w którym elektrony przyspieszane są do prędkości bliskiej prędkości światła. Gdy takie pędzące elektrony zostają zmuszone w urządzeniu do zmiany kierunku swojego ruchu, emitują bardzo intensywne promieniowanie elektromagnetyczne, obejmujące zakres od podczerwieni aż po promieniowanie rentgenowskie.

Synchrotron SOLARIS w Krakowie – jedyny w naszej części Europy

Synchrotrony elektronowe to najczęściej olbrzymie urządzenia, których obwody mierzone są w dziesiątkach i setkach metrów (podobieństwo ze słynnym Wielkim Zderzaczem Hadronów, który został jednak zbudowany w zupełnie innym celu, nie jest tu przypadkowe). Koszty budowy takiej aparatury oraz towarzyszącej jej infrastruktury są bardzo duże, w związku z czym miejsc umożliwiających tego typu badania znajduje się na świecie jedynie kilkadziesiąt. Jednym z nich jest Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS, od 2015 roku działające przy Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie. Placówka, która położona jest w południowej części miasta, na terenie Kampusu 600-lecia Odnowienia UJ, dysponuje jedynym synchrotronem w Europie Środkowo-Wschodniej – jego obwód to 96 metrów – i udostępnia badaczom osiem linii pomiarowych, a dwie kolejne są w przygotowaniu.

Prof. Samek w celu przeprowadzenia badania próbek pyłu PM_{2,5} uruchomiła projekt na linii ASTRA (Ab-

sorption Spectroscopy beamline for Tender energy Range and Above), która została specjalnie zaprojektowana do pomiarów w zakresie promieniowania rentgenowskiego, w tym na krawędziach absorpcji K. Linia umożliwia prowadzenie badań podstawowych i stosowanych z zakresu chemii, fizyki, materiałoznawstwa i ochrony środowiska.

– Czasu pomiarowego dostaliśmy w sumie sporo, bo aż trzy doby. Wymagało to jednak zaangażowania grupy osób, ponieważ pomiary na synchrotronie prowadzone są w ramach przyznanego czasu bez chwili przerwy – opisuje prof. Samek.

Synchrotronowe badanie pyłu PM_{2,5} – co zawiera krakowskie powietrze

Na potrzeby badania grupa kierowana przez naukowczynię przygotowała wzorcowe próbki związków chemicznych, które spodziewała się zidentyfikować również w próbkach pozyskanych ze stacji monitoringu jakości powietrza. Używając metody XANES, badacze i badaczki w pierwszej kolejności przeprowadzili pomiary spreparowanych przez siebie wzorców, a następnie tą samą metodą pomierzyli próbki pochodzące ze stacji. Następnie porównali ze sobą wyniki uzyskane dla obu typów źródeł. Przeprowadzone badanie pozwoliło rzucić nowe światło na zanieczyszczenia powietrza w Krakowie i ich źródła.

W próbkach pyłu PM_{2,5} pobranych latem dominowały siarczany – czyli nieorganiczne związki siarki o wysokim stopniu utlenienia. Znalazły się wśród nich siarczany amonu, cynku, potasu i żelaza. Ich źródłem może być między innymi transport i przemysł. Zimą pojawiły się również bisiarczany, siarczki i organiczne związki siarki. Obecność takich związków jak siarczek cynku (ZnS) czy bisiarczan potasu (KHSO₄), będących pochodną ogrzewania domów przy użyciu pieców węglowych, jest kolejnym świadectwem migracji zanieczyszczeń spoza Krakowa – w samym mieście od jesieni 2019 roku obowiązuje zakaz palenia węglem i drewnem.

W pyłach z zimy zespół prof. Samek zidentyfikował również chlorki wapnia i sodu, których źródłem jest prawdopodobnie sól używana do zimowego utrzymania dróg. W jednej z próbek pojawiły się również organiczne związki chloru, mogące pochodzić ze spalania gumy lub odpadów przemysłowych.

Zidentyfikowane zostały również związki żelaza i cynku o różnych stopniach utlenienia, które mogą być pochodną obecności w powietrzu naturalnego pyłu glebowego, jak też na przykład pochodzić z procesów ścierania opon i klocków hamulcowych w samochodach.

Analizy specjacji chemicznej – jak mogą przystąpić się miastu

Analizy takie jak przeprowadzona przez zespół z AGH mogą pomóc w lepszym planowaniu działań na rzecz polepszenia jakości powietrza. Władze, dysponując dokładną wiedzą o formach chemicznych zanieczyszczeń i ich pochodzeniu, w prowadzonych kampaniach mogą na przykład skupić się na eliminacji źródeł zanieczyszczeń najbardziej niebezpiecznych dla mieszkańców. Metoda XANES, choć zbyt skomplikowana i kosztowna do stałego monitoringu, będzie stanowić cenne uzupełnienie innych badań prowadzonych z wysoką częstotliwością.

Zespół prof. Samek stale pracuje nad rozwijaniem możliwości tej metodyki. Aktualnie opracowuje wyniki

badania, które przeprowadził w ramach projektu RIANA (Research Infrastructure Access in Nanoscience & Nanotechnology) realizowanego przez siedem największych europejskich sieci infrastruktur badawczych. Naukowcy i naukowcy z AGH uzyskali dostęp do synchrotronu ALBA w Hiszpanii, gdzie mieli możliwość pracowania na linii badawczej CLAES. W tym przypadku skupili się na badaniu specjacji chemicznej pierwiastków, które w pyłach są rejestrowane w stężeniach nieprzekraczających krajowych i europejskich norm, ale znane są ze swoich toksycznych i kancerogennych właściwości – jak chrom, nikiel i ołów.

Grupa planuje również przeprowadzenie badania próbek pyłu za pomocą transmisyjnego mikroskopu elektronowego, który pozwala oglądać obiekty z nanoskalową rozdzielczością. Wstępne pomiary zostały już przeprowadzone w Akademickim Centrum Materiałów i Nanotechnologii AGH, a finalizacja prac odbędzie się w Centrum Mikroskopii i Spektroskopii im. Ernsta Ruski w Niemczech (Ernst Ruska-Centrum für Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen).

Jak udoskonalić leczenie nowotworów?



Raz wyemitowanej dawki promieniowania nie możemy już cofnąć. Ale co gdybyśmy byli w stanie dokładnie zobaczyć jej działanie, zanim dotrze ona do ciała pacjenta? Projekt Dose-3D powstał po to, by w przyszłości dawki promieniowania dało się testować wielokrotnie – na fantomie. Dzięki temu fizycy i lekarze mieliby pewność, że stosują optymalny plan leczenia. Prototyp urządzenia jest już gotowy, ale etap wprowadzenia do użycia jeszcze przed nim. Prof. dr hab. inż. Tomasz Szumlak z Katedry Oddziaływań i Detekcji Częstek na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH, kierownik projektu, opowiada o jego genezie, realizacji i możliwościach.

Katarzyna Dziadowicz (Centrum Komunikacji i Marketingu AGH): Podobno inspiracją do rozpoczęcia projektu Dose-3D było marzenie fizyka medycznego o narzędziu, które pozwoliłoby na sprawdzenie dawki promieniowania przed podaniem jej pacjentowi.

Prof. dr hab. inż. Tomasz Szumlak: To trochę intrygująca historia. Kończyliśmy projekt, w którym moja grupa uczestniczyła jako specjaliści od oprogramowania. Projekt dotyczył stabilności procedury kalibracji i skupiał się głównie na tym, żeby weryfikować powtarzalność dawek promieniowania. Co ciekawe, ta grupa, która się wtedy zbudowała, doprowadziła też do końca obecny projekt – chociaż nie były ze sobą związane. Byliśmy natomiast grupą osób, które mają doświadczenie w projektowaniu detektorów i w czasie naszego ostatniego spotkania jeden z medyków powiedział, że takim super urządzeniem byłby detektor, który mierzyłby dawkę promieniowania w jednym momencie w całej objętości modelowanej i od razu w czasie rzeczywistym dostar-

czał informacje na temat zdeponowanej dawki terapeutycznej. Ta szybka myśl przerodziła się w serię dyskusji z ekspertami z Narodowego Instytutu Onkologii (NIO) i Politechniki Krakowskiej, co w efekcie zaowocowało pozyskaniem, w ramach projektu Team-NET Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej, funduszy europejskich z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój.

Opracowany przez państwa detektor ma mieć zastosowanie w terapii fotonowej.

Taki był początkowo pomysł. Tamta grupa była zaangażowana w prace Narodowego Instytutu Onkologii, więc zaczęło się od terapii fotonowej, ale obecnie współpracujemy też z Instytutem Fizyki Jądrowej, żeby spróbować użyć naszego detektora w przypadku wiązki protonowej. Pacjenci oczywiście są bezpieczni i w zasadzie weryfikacja jest wysokiej jakości, ale przydałoby się takie urządzenie jak nasz fantom, żeby bezpośrednio zmierzyć wiązkę promieniowania w zadanej objętości.

Teoretycznie dzięki takiemu rozwiązaniu moglibyśmy mieć dostęp do informacji o tym, jak dokładnie wygląda pęczek tych protonów. Są z tym oczywiście problemy, bo taka wiązka protonowa jest jednak potężna (w sensie możliwej do zdeponowania energii); jest jak... pociąg. I „wjeżdżając” do tego detektora, potencjalnie mogłaby dokonać zniszczeń albo wywołać efekt tak zwanego quenchingu jonizacyjnego tej wiązki. To niepożądane zjawisko, które może występować w systemach detekcji promieniowania, gdy mamy do czynienia z wysoko jonizującym promieniowaniem (jakim jest też wiązka protonowa). Mówimy o nim, gdy odpowiedź detektora na zdeponowaną energię jest nieliniowa. Tymczasem pożądaną cechą systemów detekcji promieniowania jest właśnie liniowość odpowiedzi. Quenching jonizacyjny jest więc efektem bardzo istotnym, ale z naszej perspektywy niekorzystnym.

Do tej pory nikt tego nie robił – były tylko różnego rodzaju studia testowe ze scyntylatorami, ale nikt nie badał tego zjawiska przy użyciu urządzenia z granulacją przestrzenną. Scyntylatorami nazywamy zwyczajowo materiały, które są zdolne do emisji fotonów (o szerokim spektrum energii) w odpowiedzi na przekaz energii od promieniowania oddziałującego z nimi. Materiały te mogą występować w stanie ciekłym oraz stałym. W naszych badaniach koncentrujemy się na wyjątkowych, bo drukowanych, plastikach scyntylacyjnych, co ważne – o własnościach zbliżonych do tkanek. Zastosowanie takiego detektora z granulacją wzdłuż wiązki protonowej byłoby rozwiązaniem pionierskim, bo dotychczas więcej prac dotyczyło oddziaływania plastikowego scyntylatora z fotonami. Ale ten fantom ma duży potencjał także w przypadku protonów, więc chcielibyśmy go wydobyć, chociaż te prace są na razie w początkowych stadiach.

Na czym zatem polega terapia fotonowa?

Radioterapia z użyciem wiązek fotonowych jest jednym ze sposobów leczenia onkologicznego. W odróżnieniu od terapii protonowej może być stosowana do bardzo rozległych zmian nowotworowych o skomplikowanych kształtach umiejscowionych w różnych częściach ciała. Istotną różnicą między terapią fotonową i protonową jest sposób dostarczania dawki terapeutycznej, która efektywnie niszczy tkanki nowotworowe. W przypadku protonów jonizacja jest mniej więcej stała, a w momencie utraty znacznej części energii kinetycznej proto-

ny gwałtownie traci energię (to tak zwane maksimum Bragga). Dzięki temu terapia protonowa może być stosowana w przypadku nowotworów umiejscowionych płytko, mówiąc w znacznym uproszczeniu. Oddziaływanie fotonów ma zupełnie inny charakter – nie mamy w tym przypadku nagłych zmian zdeponowanej energii. Terapię fotonową dobrze przedstawia się w zestawieniu z terapią protonową, bo chodzi o to, że w przypadku protonów mamy możliwość precyzyjnego sterowania wiązką. Tam w zasadzie możemy ustawiać energię i intensywność tej wiązki, a procesy fizyczne związane z zdeponowaniem energii są bardzo przewidywalne. Dla danej energii możemy sobie zdefiniować głębokość maksymalnego wnikania – w przypadku protonów jesteśmy w stanie zaplanować, gdzie zostanie zdeponowane nawet 99% tej energii. Dlatego taką wiązką można atakować zmiany nowotworowe, które są blisko jakichś istotnych organów i świetnie nadają się do niej nowotwory, które są zlokalizowane blisko powierzchni, na przykład nowotwory oka, ale także na przykład nowotwory okolic mózgu, bo tkanka do penetracji nie jest rozległa. Problem pojawia się wtedy, gdy zmiana nowotworowa jest rozległa i głęboko umiejscowiona, jak w przypadku tkanek miękkich, takich jak płuca. Tu zaczyna się problem dla terapii protonowej, bo wtedy ten proces jonizacji dotyka też tej zdrowej tkanki „po drodze” i jest dosyć intensywny, bo wiązka ją penetruje, żeby dotrzeć na taką głębokość. Dlatego jeśli mamy rozległe zmiany chorobowe i one są głęboko, to kierujemy się ku terapii fotonowej. W przypadku terapii fotonowej wiązka fotonów jest produkowana przez wiązkę elektronów bombardujących specjalnie dobrany element wykonany z ciężkiego metalu (na przykład wolfram). Elektrony są gwałtownie wyhamowywane, produkując efektywnie promieniowanie X, w zasadzie jest to system podobny do lampy rentgenowskiej, tylko oczywiście o trochę innym zakresie energii i innej intensywności wiązki. Taka maszyna, produkując tę wiązkę fotonową, od razu stwarza problem – bo wiązkę fotonową nie mogę sterować tak jak protonami. To są cząstki nienależące do materii, wytwarzana wiązka jest szeroka, a fotony nie mają określonej energii, ale całe widmo, bo ten proces hamowania elektronów jest nieokreślony. Wiazką protonową mogę skanować wybrany obszar, bardzo łatwo mogę tak ustawić pole magnetyczne, że po prostu wiązkę mogę sobie poruszać w górę – w dół, a dodatkowo mogę zmieniać energię. Natomiast w przypadku wiązki

fotonowej nie mogę czegoś takiego zrobić; fotony nie są sterowalne w ten sposób. Więc tu cała sztuka polega na tym, żeby odpowiednio kondycjonować tę wiązkę fotonową: trzeba ją spłaszczyć, próbować ją jakoś wyrównać; dodatkowo, jeśli zaczynamy mówić o takich aspektach jak leczenie rozległego nowotworu, to ten nowotwór może mieć różny kształt, więc bardzo dużą komplikacją jest samo kształtowanie pola. Są bardzo skomplikowane systemy tak zwanych wielolistkowych kolimatorów, które ustawiają się w taki specyficzny kształt, a do tego jeszcze trzeba wziąć pod uwagę, że ta wiązka to jest projekcja na pewną odległość. Wiązka nie jest kontrolowana, więc będzie rozbieżna – tak jak z rzucaniem zajęczków na ścianę: z odległością ten obraz się zmienia – jest bardziej rozmyty i większy. Więc musimy mieć bardzo zaawansowane narzędzia, które będą modelowały, jak będzie wyglądać projekcja tej wiązki, rzut otwarcia kolimatora na ciało pacjenta. I to są wszystkie te komplikacje w przystosowaniu tej wiązki, żeby ona była wiązką terapeutyczną. Poza tym nie jest łatwo przygotować wiązkę tak, żeby miała stałe natężenie. Czyli mam pewien obszar terapeutyczny i w zasadzie kiedy produkujemy wiązkę fotonową, to ona jest jak fala kulista – ma taki nieregularny kształt na swoim czole. Dodatkowo, o ile takie ciężkie cząstki naładowane, jak protony, mają w zasadzie stałą jonizację w funkcji głębokości penetrowania i jak się cząstka zatrzymuje, to w tym miejscu jest depozyt praktycznie całej energii, o tyle w przypadku fotonów mamy jak gdyby ciągły i bardzo zmienny depozyt. Ta wiązka deponuje energię w sposób bardziej wykładniczy, czyli nie jest tak, że mamy fragment jakiegoś stałego depozytu i gdzieś tam mamy maksymalny depozyt, tylko jest takie stałe osłabianie tej wiązki fotonowej. I to jest kolejny problem, bo nie możemy atakować tej zmiany z jednego kąta, z jednej pozycji. Należy opracować plan leczenia, który będzie naświetlał to miejsce pod kilkoma albo nawet kilkudziesięcioma różnymi kątami – od góry, od dołu, z boku; tak, żeby po prostu jak najmniejszą dawkę energii zdeponować w zdrowych tkankach, a tylko w miejscu chorobowo zmienionym zdeponować jej dużo.

Więc jeśli pacjent przychodzi z jakąś diagnozą do lekarza, to najpierw musi być dyskusja ze specjalistami z dziedziny fizyki medycznej, musi być bardzo dokładnie zdefiniowana ta przestrzeń, gdzie będzie deponowana dawka terapeutyczna, są do tego specjalne programy komputerowe, które robią symulacje, a później opra-

cowują jak najlepsze dostarczenie tej dawki – obliczają, z jakich kierunków najlepiej naświetlać to miejsce, omijając istotne organy, tak żebyśmy w miejscu, gdzie jest chora tkanka, mieli to maksimum depozytu. Tak to wygląda w telegraficznym skrócie.

To, o co my walczymy w naszym projekcie, to żebyśmy mieli urządzenie, które jest bardzo dobrze przygotowane do dokładnego zmierzenia rozkładu dawki przestrzennej i które pozwoli nam pokazać, że to, co symulujemy, jest zgodne ze stanem faktycznym. Normalnie nie ma możliwości takiej weryfikacji, bo pacjentowi, który przechodzi terapię, nie da się włożyć do środka czegoś, co pozwoliłoby bezpośrednio zmierzyć zdeponowane dawki promieniowania. Do tej pory opierało się to raczej na kalibracji tego urządzenia, na analizie danych z fantomów i symulacjach, przy czym te dotychczas używane fantomy miały ograniczone możliwości. W obecnie używanych fantomach mamy sondę, która zmienia pozycję kilkadziesiąt razy, na przykład, żeby odmierzyć jakąś objętość, albo są to fantomy wykonane z materiału zmieniającego swoje własności w wyniku promieniowania. Później trzeba zawieźć taki fantom do odczytu, który jest bardzo skomplikowany i zwykle niestabilny, bo jest podatny na zmianę w wyniku czynników zewnętrznych jak temperatura czy czas.

Nasz pomysł jest taki, żeby zrobić urządzenie, które będzie mieć odpowiednią segmentację pozwalającą na pomiar przestrzenny w zasadzie w czasie rzeczywistym. Wstawimy nasz fantom do wiązki terapeutycznej, a wewnątrz, przy pomocy oprogramowania, będziemy mogli wymodelować, gdzie znajduje się chore miejsce. Moglibyśmy to zrobić nawet dla indywidualnego pacjenta – odczytać ze skanu CT lokalizację chorego miejsca, zobaczyć, jak wygląda, i wymodelować to w naszym fantomie, a później przy użyciu tego fantomu sprawdzić cały plan leczenia, a być może nawet wprowadzić określone korekty.

Czyli fizycznie mamy fantom, do którego celujemy tą wiązką fotonową, a za pośrednictwem oprogramowania zaznaczamy, gdzie są chore miejsca?

Dokładnie. Fantom jest podzielony na małe woksele i przy pomocy oprogramowania oznaczam, które woksele są wewnątrz zmiany chorobowej, a które na zewnątrz. W klasycznych fantomach tego się nie robi – tam zwykle jest jedna ekspozycja, robi się kalibrację i we-

ryfikuje urządzenia. Z takim fantomem jak opracowany przez nas możemy przygotować dokładnie taki plan leczenia jak dla pacjenta, przeprowadzić go na fantomie i dokładnie zmierzyć, jaka jest dawka promieniowania w miejscu, które reprezentuje w fantomie jakąś zmianę chorobową i jaki jest jej rozkład przestrzenny.

Skonstruowany fantom jest modułarny. Co to znaczy?

Modularność w tym momencie możemy rozumieć na kilku poziomach. Przede wszystkim jest związana z konfigurowalnością. Fantom możemy mieć na przykład w konfiguracji takiej wysokiej wieży, albo w konfiguracji dwóch wież obok siebie, czyli w zależności od tego, który organ chciałbym analizować, mogę sobie po prostu z tych moich kosteczek złożyć taką strukturę. W praktyce, jeśli myślelibyśmy o sprzedaży takiego urządzenia, to pewnie mielibyśmy prekonfigurowalne dwie albo trzy takie struktury: powiedzmy dużą, średnią i małą. Natomiast ta pierwsza, podstawowa konfigurowalność jest taka, że mamy pojedyncze woksele ze scyntylatorem, z których możemy składać struktury do detekcji. I teraz modularność, czyli ten wyższy stopień konfigurowalności, polega na tym, że ja mogę po prostu dokładać i dokładać, i dokładać, i budować coraz większe struktury. Taka pojedyncza struktura, którą my nazywamy warstwą albo slice'em, to jest struktura związana z samym odczytem, bo odczyt jest realizowany przez fotopowielacz, który ma określoną liczbę kanałów pozwalających na odczyt 64 wokseli. I teraz mogę sobie po prostu dokładać kolejne moduły – jeden, dwa, trzy, cztery, pięć, w zasadzie tylko koszty są limitem.

Czy dzięki temu będzie można dostosować ten fantom do swoich potrzeb?

Tak, dany szpital mógłby zainwestować w małe urządzenie i wtedy miałby na przykład osiem modułów, albo mógłby zainwestować w większe, i wtedy miałby na przykład 24 moduły. W tym momencie pojedynczy woxsel ma rozmiary $10 \times 10 \times 10$ mm, ale tak naprawdę nasza docelowa miniaturyzacja to byłoby $5 \times 5 \times 5$ mm, czyli objętościowo osiem razy mniej. Można by zejść jeszcze niżej, ale w tym przypadku w zasadzie nie ma to sensu. Robią to koreańskie grupy, ale one pracują nad fantomami, które byłyby fantomami dla skóry, su-

per cieniułkami, na kilkaset mikrometrów. Miałyby mieć one zastosowanie w walce ze skutkami poparzeń w takich przypadkach jak awaria elektrowni jądrowej i opad betaaktywnego nuklidu.

Natomiast my się koncentrujemy na czymś innym i ten kraniec miniaturyzacji jest związany w zasadzie z fizyką tego procesu depozytu energii. Biorąc pod uwagę różnego rodzaju zjawiska, własności fizyczne, wydaje się, że to jest chyba ten kraniec miniaturyzacji. Jak przeprowadzi się testy i takie szybkie oszacowania, to liczba kanałów odczytu to byłoby maksymalnie około 10 tysięcy, dla takiego najbardziej zminiaturyzowanego rozbudowanego układu.

Jakie są przeszkody na drodze do zmniejszenia tych wokseli z obecnego rozmiaru, techniczne czy finansowe?

Głównie finansowe, bo opracowaliśmy szereg technologii przystosowania tych scyntylatorów, budowania, łączenia scyntylator-włókno i włókno-fotopowielacz. Bywa, że to są rzeczy robione przemysłowo w sposób, który nam nie odpowiada. Są też jakieś grupy, które robią podobne rzeczy, ale wtedy zwykle to ukrywają. Więc bardzo wiele rzeczy musieliśmy robić od początku w tym wszystkim, ale w tym momencie wydaje się, że główna przeszkoda w dalszych badaniach to finanse. Skończył się projekt, teraz poszukujemy nowych źródeł finansowania. Natomiast wydaje się, że większość rzeczy mamy na tyle opracowaną, że moglibyśmy przystąpić właśnie do prac nad etapem komercjalizacji takich rozwiązań.

A czy możliwe jest też zaprogramowanie w tym fantomie różnych narządów? Bo chyba nie wszystkie reagują na promieniowanie tak samo?

Oczywiście mamy pewnego rodzaju ograniczenia. Scyntylator jest tak dobrany, że ma własności tkankopodobne, więc przyjmujemy, że on w sposób przybliżony odpowiada tak jak średnia tkanka. Takie uśrednienie stosujemy, tak czy inaczej, w każdej terapii. Wiązka terapeutyczna przechodzi przez różne warstwy naszego organizmu i mówimy, że co do pewnych średnich własności, możemy to modelować materiałem, który ma taką gęstość. Więc ten nasz scyntylator ma tkankopodobne własności w takim sensie średniej tkanki.

I mogę sobie modelować tu różne zmiany chorobowe, na przykład wstawić prostatę czy wstawić kawałek

płuca w tym sensie, że po prostu oznaczam woksele, które na skanie CT odpowiadają tej zmianie nowotworowej. Oczywiście nie jest to banalne, bo później, patrząc w przyszłość, możemy fantazjować nad fantomem, który będzie miał na przykład wydrukowane żebra, wymodelowaną jakąś tkankę miękką, jak skóra, a to urządzenie aktywne gdzieś tam siedzi w środku i może być dostosowywane do potrzeb użytkownika. To wszystko uproszczenia, ale to i tak rewolucyjny skok w porównaniu z tym, co w tym momencie jest dostępne. Więc tu możemy po prostu przeprowadzić dokładny plan leczenia, taki jak dla jakiegoś indywidualnego pacjenta, i po wykonaniu całego planu, po tych wszystkich ekspozycjach, zweryfikować, jaka tu jest dokładnie dawka zdeponowana.

Te scyntylatory opracowywali państwo w czasie trwania projektu?

Takie scyntylatory to bardzo skomplikowany projekt. Za ich tworzenie odpowiadają bardzo dobrze sfinansowane grupy na świecie. My pracujemy nad nimi we współpracy z grupą koreańską i z uniwersytetem Hanyang. Oni podsyłają nam różne typy scyntylatorów i my je testujemy pod kątem naszych potrzeb.

Jakie jeszcze elementy musieli państwo opracować na rzecz tego projektu, żeby ten fantom mógł funkcjonować?

Całą mechanikę, czyli po prostu całe zewnętrzne pudełko, całą strukturę, w której kostki (ze scyntylatorem) były układane. To są rzeczy, które my tutaj projektujemy i drukujemy na miejscu. Stworzyliśmy sobie takie stanowiska do wydruków 3D. Nie było tego w planach, ale w trakcie okazało się, że różnego rodzaju drobne narzędzia bardzo trudno kupić gotowe, więc w ciągu trwania projektu musieliśmy wykonać kilka tysięcy różnego rodzaju detali, między innymi narzędzi pomocniczych do polerowania światłowodów oraz supportów czy tacek do rozkładania pojedynczych kostek scyntylatora. To stanowisko do wydruków 3D okazało się w zasadzie jednym z kluczowych osiągnięć grupy z AGH. No i oczywiście opracowywaliśmy całą elektronikę. Elektronikę odczytu, infrastrukturę dla chipu, który przetwarza sygnał, i później przetwarzanie wstępne na przykład sygnału cyfrowego przy użyciu konfigurowalnych pro-

cesorów FPGA. To wszystko zaprojektowaliśmy i zbudowaliśmy sami, a cała ta warstwa akwizycyjna była stworzona i pewne elementy próbujemy opatentować. Obecnie zgłoszenie patentowe przeszło do kolejnego etapu i patent został opublikowany na stronie Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej.

A czy nie dałoby się zaprogramować takich symulacji bez tego fizycznego fantomu?

Oczywiście da się, ale symulacja to tylko symulacja, to zawsze tylko pewnego rodzaju przybliżenie. My robimy symulacje, mamy całą platformę, nawet doskonalszą niż te tak zwane analityczne narzędzia do symulacji, bo mamy porządny symulator, który po prostu symuluje fizykę użytego promieniowania. Ale to jest symulacja – więc tak czy inaczej, kiedy na przykład budujemy jakieś urządzenie, to symulacja nam pomaga, ale koniec końców musimy zbudować prototyp. Nie możemy zbudować samolotu i od razu powiedzieć: „No to latajcie!”, bo przeprowadziliśmy ileś symulacji. Symulacje pomagają nam jak gdyby wpaść w jakąś optymalną przestrzeń rozwiązania, ale pomiar to jest pomiar, dlatego też te weryfikacje czy kalibracje urządzeń przeprowadza się z fantomami. Są różnego rodzaju fantomy, na których musi być ten proces weryfikacji, bo na przykład maszyna odrobinkę przekłamuje, ma jakieś ograniczenia techniczne. I wtedy symulacja nie jest w stanie tego w żaden sposób odkryć, bo ja symuluję konfiguruję z zaplanowanym ustawieniem maszyny, a fantom jest w stanie pokazać, że jest coś nie tak. Więc mając superprecyzyjne i bardzo drogie urządzenie do naświetlania, za dziesiątki milionów złotych, mając superprecyzyjną symulację, tak czy inaczej potrzebujemy właśnie urządzenia – detektora – który będzie przeprowadzać weryfikację tego wszystkiego.

Obecnie fantom jest w zasadzie gotowy do działania.

Tak, ten projekt zakończył się w grudniu 2023 roku i w zasadzie udowodniliśmy wszystkie principia. Pokazaliśmy, że jesteśmy w stanie zbudować urządzenie, które ma wysoką granularność, odczytywać je w czasie rzeczywistym, wielokrotnie je kalibrować z bardzo dobrą stabilnością. Przede wszystkim pokazaliśmy taki kanoniczny w fizyce medycznej związek między sygnałem i zdeponowaną dawką – on powinien być li-

niowy. My pokazaliśmy go na wykresie, gdzie na jednej osi mieliśmy zdeponowaną dawkę, a na drugiej sygnał z detektora. Więc pokazaliśmy, że koncepcyjnie to urządzenie jest gotowe, możemy je zbudować, powinno działać zgodnie z założeniami. Dodatkowo zespół AGH-NIO przeprowadził w poprzednim roku dwa krytyczne eksperymenty – pomiary dawki w środowisku wodnym oraz pomiar dawki, w którym nasz fantom został umieszczony wewnątrz innego fantomu posiadającego odpowiednie certyfikaty medyczne. Oba eksperymenty były dla nas przełomowe, ponieważ pokazaliśmy że jesteśmy w stanie dokonać poprawnej rekonstrukcji dawki w warunkach identycznych z tymi, w jakich prowadzi się obecnie pomiary weryfikacyjne. Tylko teraz właśnie trzeba je przenieść w realia rzeczywistego urządzenia, popracować nad koncepcją kompletnego urządzenia, które można by oddać w ręce fizyków medycznych odpowiedzialnych za przygotowanie planów leczenia. Urządzenie takie musi działać w bezpośrednim sąsiedztwie maszyny medycznej, nie przeszkadzając w leczeniu i żeby dało się później dla każdego pacjenta wykonać pomiary weryfikacyjne. Musielibyśmy je jakoś przesunąć, w pobliżu stołu ustawić ten fantom i zrobić badania.

Czy lekarze byliby w stanie korzystać z niego samodzielnie?

Zwykle te pomiary niemedyce, stricte, to znaczy kalibracja, weryfikacja są robione przez personel techniczny firmy, która dostarcza urządzenie, i fizyków medycznych. Ważne jest oczywiście pytanie, do czego chcielibyśmy go używać, bo gdy mówimy o aspektach czysto technicznych, jak pomiary pewnych parametrów maszyny, to zdobycie odpowiednich certyfikatów i przekonanie ludzi jest stosunkowo łatwe. Natomiast gdybyśmy chcieli używać go do wspomagania procesu leczenia, jego planowania, określenia, w jaki sposób dostarczać dawkę, to jest to zupełnie inna historia, bo musimy przejść skomplikowany proces, wiele testów, certyfikację medyczną. Ale ten pierwszy krok, pokazanie ludziom, że mamy takie urządzenie i że ono może istotnie zmienić i poprawić jakość weryfikacji własności maszyny i kalibracji – myślę, że to by był nasz główny cel na te następne kilka lat. A później zobaczymy.

Realizacja projektu zakończyła się w grudniu 2023 roku, zaangażowane w nią były: Akademia Górniczo-Hutnicza, Politechnika Krakowska oraz Narodowy Instytut Onkologii w Krakowie. Obecnie projekt jest w fazie trwałości. Dalsze prace badawczo-rozwojowe kontynuowane są przez zespół z AGH i eksperta z NIO.

Kontakt: **prof. dr hab. inż. Tomasz Szumlak**, szumlak@agh.edu.pl

Ołów zbliżył nas do Wielkiego Wybuchu



Zespół naukowy z AGH wykrył obecność kwarków szczytowych w sposób, jaki nikomu wcześniej się to nie udało – w wyniku zderzenia jonów ołowiu. Obserwację opisano w prestiżowym czasopiśmie „Physical Review Letters”, a wkrótce możemy dzięki niej lepiej poznać pierwsze chwile istnienia wszechświata.

Do wielkiego wybuchu miało dojść około 14 miliardów lat temu. Tuż po nim, przez ułamek sekundy, to, co dzisiaj określamy mianem wszechświata, miało mieć postać plazmy kwarkowo-gluonowej – skrajnie gorącej i gęstej materii. Model standardowy, a więc teoria stanowiąca podłoże współczesnej fizyki, przewiduje, że w plazmie kwarkowo-gluonowej występowały między innymi kwarki szczytowe. Według tego modelu to najcięższe z sześciu typów istniejących kwarków. Gdy plazma zaczęła stygnąć, te lżejsze w połączeniu z gluonami zaczęły tworzyć protony i neutrony. Te najcięższe rozpadły się jednak zbyt szybko i obecnie nie występują w przyrodzie samoistnie.

Aby mieć szansę je zaobserwować, naukowcy przeprowadzają zderzenia cząstek w takich akceleratorach jak Wielki Zderzacz Hadronów (LHC) w Szwajcarii. W tym celu rozpędzają protony lub jądra ołowiu do ogromnych prędkości, bliskich prędkości światła, a specjalna aparatura pozwala im wychwycić elementy powstałe w wyniku zderzenia i na ich podstawie zrozumieć zacho-

dzące w trakcie reakcje. Szanse na wytworzenie plazmy kwarkowo-gluonowej rosną, jeśli dwa jądra zderzają się centralnie. Jeśli zderzenie jąder jest peryferyczne – malleją. Zgodnie z przewidywaniami, w wyniku zderzenia jąder atomowych materia powinna na ułamek sekundy przybrać stan bliski temu z pierwszych chwil istnienia wszechświata. W istniejącej wtedy plazmie kwarkowo-gluonowej, zanim ta się ochłodziła, kwarki szczytowe miały swobodnie się poruszać. Poza laboratorium plazma kwarkowo-gluonowa występuje dziś w ścisłym wnętrzu gwiazd neutronowych.

Obserwacja kwarków szczytowych, inaczej kwarków top lub kwarków t, jest niezwykle trudna – ze względu na swoją dużą masę szybko się rozpadają. Ich średni czas życia wynosi 10^{-25} sekundy, czyli jedną dziesięciokwadrilionową sekundy. To mniej niż czas potrzebny fotonowi (cząstce światła) na przebiegnięcie przez pojedynczy atom wodoru! Dlatego zamiast próbować uchwycić same kwarki szczytowe, fizycy badają je, mierząc produkty ich rozpadu.

Pierwszej obserwacji świadczącej o istnieniu kwarków szczytowych dokonano zaledwie 30 lat temu, dlatego ten obszar badawczy to wciąż wiele niewiadomych, które stanowią ciekawy temat badawczy i przyciągają naukowców. Jak przyznaje prof. dr hab. inż. Iwona Grabowska-Bołd z Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH, ze względu na to, że są najcięższymi cząstkami modelu standardowego (cięższymi nawet od bozonu Higgsa), muszą mieć jakieś szczególne właściwości. Mają być bardzo czułe na różne efekty, których fizycy jeszcze nie odkryli, dlatego ich badanie niesie nadzieję na zaobserwowanie czegoś nowego.

Pierwsza obserwacja kwarków szczytowych miała miejsce w USA w wyniku zderzenia proton-antypoton. Zderzacz hadronów LHC, z którego korzystały badaczki z AGH, pozwolił na podniesienie energii zderzenia względem pierwszej obserwacji o cały rząd wielkości – aż do 13,6 teraelektronowoltów (prawie 14 000 000 000 eV!). A to otworzyło przed fizykami nowe możliwości poszukiwania różnych cząstek i pozwoliło im na znacznie bardziej precyzyjne badania przewidywać modelu standardowego.

Co jednak istotne, dotychczas obserwacji kwarków szczytowych udało się dokonywać tylko przy zderzeniach proton-antypoton lub proton-proton. Chociaż ten ostatni rodzaj zderzeń jest najczęściej przeprowadzonym typem zderzeń na LHC, to przeprowadza się także zderzenia mieszane (na przykład proton-otów) czy zderzenia samych jąder atomowych. Prof. Grabowska-Bołd oraz jej ówczesna doktorantka Patrycja Potępa z zespołem zdecydowały się na zbadanie właśnie tej ostatniej możliwości – poszukiwały śladów kwarków szczytowych w zderzeniu jonów otowiu, czyli tak zwanych zderzeniach otów-otów.

Duże znaczenie dla takiego wyboru miał fakt, że zderzenia jonów otowiu szczególnie dobrze nadają się do odtworzenia warunków panujących w bardzo młodym wszechświecie. Jony otowiu to po prostu atomy pozbawione wszystkich elektronów. Ze względu na dużą masę jonów otowiu w zderzeniach powstaje materia o ekstremalnej gęstości i temperaturze. Zaobserwowanie kwarków szczytowych w zderzeniach otów-otów jest jednak trudniejsze niż uchwycenie ich w zderzeniach proton-proton. Jak wyjaśnia dr inż. Patrycja Potępa, liderka grupy przeprowadzającej analizę danych, „otów jako jądro atomowe składa się z wielu nukleonów, z 208 nukleonów – protonów i neutronów. I przy takich zderzeniach,

oprócz tego interesującego procesu, powstaje bardzo dużo tła ze zderzeń innych protonów i neutronów”. Kluczowym zadaniem fizyków jest odsianie z danych tego szumu i stwierdzenie, czy występuje w nich sygnał świadczący o obecności produktów rozpadu kwarka szczytowego, czy nie.

Kwark szczytowy rozpada się na bozon W i kwark b. Ale na tym nie koniec, bo następnie bozon może rozpaść się na dwa kwarki albo na lepton (na przykład mion lub elektron) i neutrino. W tym badaniu naukowcy skupili się na analizie przypadków, w których produkowane były pary kwarków top (jest to bardziej prawdopodobne zdarzenie niż produkcja pojedynczego kwarka top). Następnie uległy one rozpadowi na dwa bozony W i dwa kwarki b. Dalej jeden bozon W rozpada się na elektron i neutrino elektronowe, a drugi na mion i neutrino mionowe. Zatem po rozpadzie dwóch kwarków szczytowych ostatecznie powstają elektron, mion, dwa neutrino i dwa kwarki b.

Czy jeśli je zaobserwujemy, to możemy być pewni, że są pochodnymi właśnie kwarków szczytowych, a nie produktem ubocznym jakiegoś innego procesu?

– Do końca nie możemy być pewni, dlatego musimy rozważyć nie tylko ten proces, który nazywamy sygnałem, czyli produkcję dwóch kwarków t, ale też wszystkie inne procesy, które mają taki sam stan końcowy, i te nazywamy tłem. I teraz w danych widzimy sumę – i sygnału, i tła; wszystko zmieszane. Natomiast żeby stwierdzić, jaki jest procent sygnału, a jaki tła, musimy zrobić symulację – nazywamy ją symulacją Monte Carlo – i przeprowadzić złożoną analizę statystyczną. Dopiero na ich podstawie stwierdzamy, że tyle procent jest sygnału, a tyle procent tła – wyjaśnia dr inż. Potępa.

Wyniki uzyskane przez zespół badaczek z AGH pozwalają stwierdzić, że w wyniku zderzenia otów-otów na LHC rzeczywiście powstały kwarki szczytowe – była to pierwsza tego typu obserwacja. Mimo to ilość zaobserwowanych przypadków była na tyle wysoka (22), a prawdopodobieństwo uzyskania takiego wyniku w drodze przypadku na tyle niskie, że dowody uznano za wystarczające. (Wyniki przekroczyły istotny w fizyce próg 5σ , a to oznacza, że prawdopodobieństwo, iż obserwowany sygnał jest fluktuacją tła, wynosi mniej

niż 1 na 3,5 miliona.) Późniejsze doniesienia, z drugiej połowy 2025 roku, wydają się potwierdzać te obserwacje. Przedstawiono wtedy wstępne wyniki pomiaru produkcji kwarków szczytowych w zderzeniach ołów-ołów z eksperymentu CMS na LHC.

Wynik, nad którym pracowały fizycy z AGH, jest spójny z przewidywaniami modelu standardowego oraz teorią wielkiego wybuchu i wynikającej z niej ewolucji wszechświata. Wyniki wskazują, że po zderzeniu ciężkich jąder atomowych faktycznie powstały kwarki szczytowe, których produkty rozpadu udało się zaobserwować po zderzeniu.

Wykazanie możliwości obserwacji kwarków szczytowych w takim procesie może poszerzyć naszą wiedzę o początkach wszechświata. Naukowcy mają nadzieję, że taka obserwacja da im możliwość lepszego poznania właściwości plazmy, zrozumienie działających w niej mechanizmów i prześledzenie ewolucji czasowej, czyli zrozumienia tego, co, krok po kroku, działo się w plazmie po wybuchu.

- Zanim w ogóle kwarki szczytowe zostały odkryte w naszym badaniu, ludzie postulowali: trzeba zmierzyć kwarki szczytowe, bo one dostarczą nowych możliwości do badań ewolucji czasowej. To znaczy będziemy próbowali podzielić te różne etapy tego, co się dzieje z tą plazmą kwarkowo-gluonową, bo my ją wytwarzamy w zderzeniach ciężkich jonów, natomiast ona bardzo szybko stygnie, rozszerza się i tak naprawdę przestajemy mieć plazmę kwarkowo-gluonową po bardzo krótkim czasie. W związku z tym chcielibyśmy podzielić ten czas, w którym istnieje plazma kwarkowo-gluonowa, na różne etapy i kwarki szczytowe dostarczają nam takiej możliwości – możemy zacząć patrzeć w takie okienka czasowe i podglądać, co tam się w tej plazmie kwarkowo-gluonowej dzieje – wyjaśnia prof. Grabowska-Bołd.

Stąd doniesienie uznano za na tyle znaczące, że założyły na publikację w czasopiśmie „Physical Review Letters”, uznawanym za jedno z najbardziej liczących się w dyscyplinie nauki fizyczne, a jego omówienie trafiło do rubryki „Research highlight” na łamach magazynu „Nature” – jednego z najbardziej prestiżowych czasopism naukowych na świecie. Aby do tego doszło, praca musiała przejść nie tylko proces recenzji w czasopiśmie, ale także kilka etapów wnikliwych analiz przeprowadzonych przez specjalistów z eksperymentu ATLAS. Badacze z tej współpracy otrzymują zgodę na publikację, tylko jeśli wprowadzą wszystkie zasugerowane poprawki, rozwieją wątpliwości co do kwestii merytorycznych i wykażą ponad wszelką wątpliwość, że badania zostały przeprowadzone z najwyższą starannością.

Publikacja jest efektem pierwszego wspólnego pomiaru wykonanego z zespołem prof. Matthiasa Schotta w ramach współpracy z uniwersytetem w Bonn – Bonn Krakow Laboratory for Heavy Ion Physics. Dalsze badania będą realizowane między innymi dzięki grantowi PRELUDIUM finansowanemu przez NCN, który otrzymała dr inż. Patrycja Potępa, z przeznaczeniem na kontynuowanie badań i nową iterację wyników. Dotychczasowe wyniki doktorantka zaprezentowała na renomowanej konferencji Large Hadron Collider Physics (LHCP) 2025, gdzie zdobyła wyróżnienie za swój poster.

Jak deklarują fizycy, zespół nie spoczywa na laurach. Tym bardziej, że chociaż kolejne potwierdzenie przewidywań modelu standardowego cieszy i zdecydowanie jest powodem do dumy, to wielu fizyków z niecierpliwością wyczekuje wyników sprzecznych z modelem standardowym, które dadzą podstawy dla nowej fizyki – tej, której istnienie zakłada się ze względu na luki w wyjaśnieniu niektórych zjawisk przez model standardowy, ale o której w zasadzie nic nie wiadomo.

Kontakt:

prof. dr hab. inż. Iwona Grabowska-Bołd, iwona.grabowska-bold@fis.agh.edu.pl,
dr inż. Patrycja Potępa, ppotepa@agh.edu.pl

Skąd wziąć wodę na Marsie?

Jej transportowanie z Ziemi byłoby nieopłacalne, ale na szczęście pod powierzchnią Czerwonej Planety kryją się zasoby lodu. Naukowcy z AGH opatentowali system, który umożliwi pozyskiwanie z nich wody.



Być może jeszcze nie my – ale w przyszłości ludzie mogą zdecydować o przeprowadzce w jakieś inne miejsce, na przykład z Ziemi na Marsa. Tymczasem różnice w wyglądzie planet nie są tylko pozorne – na Czerwonej Planecie brakuje dostępnych zasobów wodnych. Nawet jeśli kolonizacja innych ciał niebieskich jest kwestią odległej przyszłości, to jedno się nie zmieni: ludzie, by żyć, wciąż będą potrzebować wody. Skąd ją wziąć?

Naukowcy z AGH opatentowali system, który ma pozwolić na pozyskiwanie wody z pokładów lodu ukrytych pod powierzchnią ciał pozaziemskich, w tak zwanym regolicie. W ten sposób określa się to, co przykrywa lite podłoże skalne, tj. skałę macierzystą planet. To warstwa luźnego, pokruszonego materiału skalnego, która jest najbliższa powierzchni – może występować pod postacią pyłu, żwiru, piasku czy większych odłamków skalnych. Na Ziemi składa się z gleby, minerałów, pozostałości roślinnych i zwierzęcych i wciąż oddziałują na nią woda, powietrze, organizmy żywe i zmiany temperatury.

Na Marsie, gdzie nadal nie znaleźliśmy śladów życia, regolit nie jest tak bogaty w resztki organiczne. Składa się głównie z minerałów krzemianowych związanych z dawną aktywnością wulkaniczną, tlenków żelaza, które odpowiadają za to, że Marsa nazywamy „Czerwoną Planetą” oraz siarczanów, perchloranów, glin i minerałów ilastych, a także drobnoziarnistego, naładowanego elektrostatycznie pyłu. Co istotne w kontekście patentu opracowanego w AGH, w tej warstwie na Marsie znajdują się także znaczące rezerwuary lodu. Przy biegunach jest ich więcej i mogą znajdować się nawet kilkanaście centymetrów pod powierzchnią, natomiast na średnich szerokościach geograficznych, chociaż też dość bogate, mogą być położone trochę głębiej – od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów, a w skrajnych przypadkach – kilkudziesięciu metrów pod powierzchnią. Najmniej lodu znajduje się najprawdopodobniej w regolicie w okolicy rejonów równikowych.

Jak lód w ogóle się tam znalazł? Naukowcy twierdzą, że kiedyś Mars miał gęstsza atmosferę, a na jego po-

wierzchni występowała woda w stanie ciekłym, skąd wniknęła w głąb regolitu. Kiedy doszło do zmian wywołanych rozrzedzeniem atmosfery, woda z powierzchni zniknęła, a pod powierzchnią zachowała się głównie w formie lodu gruntowego.

Średnia temperatura na Marsie wynosi około -62°C . Maksymalnie dochodzi do 20 lub 30°C , ale jej minimalna wartość może sięgać nawet 140°C . Ze względu na niskie temperatury i bardzo niskie ciśnienie (mniej niż 1% tego ziemskiego!) pozyskanie wody nie jest łatwe – w naturalnych warunkach po podgrzaniu lodu woda od razu tam sublimuje, a więc zamienia się w parę wodną.

Jednym ze sposobów na odzyskanie wody z regolitu Marsa jest ułatwienie sublimacji do nasyconej pary wodnej i sprawienie, że zacznie się ona skraplać. Na tym pomysśle opiera się wynalazek naukowców z AGH, który został objęty przez Urząd Patentowy RP ochroną patentową pod numerem PL 247201 B1, o nazwie: „Sposób pozyskiwania wody z lodu w regolicie oraz instalacja do pozyskiwania wody z lodu w regolicie”. „To pierwszy polski patent w zakresie wydobywania zasobów kosmicznych” – mówi dr inż. Tadeusz Solecki, emerytowany pracownik Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH i główny twórca wynalazku.

Niezbędnym elementem systemu, który ma pomóc w odzyskiwaniu wody, jest odwiert, który będzie sięgał do części regolitu, w której znajduje się lód. Odwiert ma składać się z kolumny rur technicznych perforowanych w dolnej części – to nimi wtłaczany będzie gaz podnoszący ciśnienie w wybranym obszarze ogrzanego regolitu i do nich spływać będzie z regolitu skraplająca się woda. Muszą one sięgać do warstwy bogatej w lód. Kluczowe dla uzyskania wody będzie uzyskanie odpowiedniego ciśnienia – tylko wtedy para wodna w wyniku ogrzania regolitu zacznie się skraplać i tym samym stanie się wodą, którą będziemy mogli wydobyć na powierzchnię. Do podniesienia ciśnienia wykorzystane mają być gazy z atmosfery ciała pozaziemskiego – w przypadku Marsa to głównie dwutlenek węgla. Gaz zostanie doprowadzony w odpowiednie miejsce dzięki specjalnemu układowi składającemu się ze zbiornika buforowego, sprężarki, zbiornika sprężonego gazu i rozdzielacza gazu.

Skroplona woda będzie trafiać do systemu poprzez specjalnie perforowane części kolumny rur technicznych oraz do pompy przyłączonej do dolnej części rur wydobywczych, umieszczonych wewnątrz kolumny

rur technicznych. Nad pompą, po zewnętrznej stronie rur wydobywczych ma znajdować się ruchome źródło ciepła, które pozwoli na równomierne eksploatawanie wybranego obszaru regolitu bogatego w lód. Jeśli woda osiągnie odpowiednio wysoki poziom w kolumnie rur technicznych, uruchomi się pompa i przekieruje wodę w górę – do rozdzielacza wody i gazu umieszczonego na powierzchni ciała pozaziemskiego. Tam zostanie odseparowany gaz od wody, a woda trafi do szczelnego zbiornika na powierzchni planety, gdzie będzie magazynowana. Tym samym będzie nadawała się już do użytku, ale gdyby wciąż znajdował się w niej gaz, przewidziany jest drugi rozdzielacz, który pozwoli na ich oddzielenie.

Instalacja będzie zawierać także specjalistyczne elementy, takie jak czujniki temperatury, poziomu wody i ciśnienia oraz zintegrowane systemy ogrzewania zasilane energią słoneczną, zapewniające zrównoważoną i wydajną pracę w środowisku pozaziemskim.

Dr inż. Tadeusz Solecki w trakcie swojej pracy naukowej opracował wiele patentów (także europejskich), z których część związana była z wykonywaniem odwiertów eksploatujących wodę na Ziemi. Inspiracją do zajęcia się projektem wydobywania wody z regolitu na Marsie była współpraca z jednym ze studentów, Gordonem Wasilewskim. Jak podkreśla dr inż. Tadeusz Solecki, do sukcesu przyczynił się także rzecznik patentowy AGH, mgr inż. Robert Klisowski, który skutecznie dowiódł zasadności zastrzeżeń patentowych związanych z tym wynalazkiem w toku postępowania przed Urzędem Patentowym RP.

Chociaż konieczność pozyskiwania wody na Marsie wydaje się odległą perspektywą, to będzie jednym z pierwszych niezbędnych kroków w trakcie zakładania tam bazy. Jeśli myślelibyśmy o kolonizacji tej planety, to transportowanie wody z Ziemi w niezbędnych ilościach byłoby zupełnie nieopłacalne energetycznie i nie kalkulowałoby się, biorąc pod uwagę dużą ilość wody dostępnej w formie lodu w marsjańskim regolicie.

Przygotowanie odpowiednich rozwiązań zawsze daje szansę na ich ulepszenie i dyskusję nad nimi, jeszcze zanim staną się niezbędne – a dr inż. Tadeusz Solecki przyznaje, że już ma pomysł na poprawienie wydajności opatentowanego rozwiązania. Dzięki temu, że rozwiązania patentowe pojawią się wcześniej niż konieczność stosowania ich w praktyce, można rozpo-

część dalsze plany – w tym wypadku na przykład wykorzystywania wody do produkcji wodoru jako paliwa, co wydaje się koniecznym przyszłościowym rozwiązaniem dla kolonizacji Marsa.

Co istotne, chociaż rozwiązanie zostało dostosowane przede wszystkim do Marsa, nic nie stoi na przeszkodzie, by zostało wykorzystane na innych ciałach niebieskich, na których panują analogiczne warunki – czyli posiadających regolit bogaty w lód i atmosferę zawierającą niezbędne ilości gazu.



Materiał, który wie co robić – efekt międzynarodowej współpracy i niekonwencjonalnej chemii



Niektórych katastrof budowlanych można by uniknąć – wystarczyłoby śledzić naprężenia w strukturze budynków i odpowiednio wcześniej reagować na ich zmiany. Dotychczas nie wprowadzono jednak rozwiązań, które pozwalałyby monitorować naprężenia w czasie rzeczywistym. A co gdyby kolor farby na moście zmieniał się wraz ze zmianą naprężenia w jego strukturze? To tylko jedno z potencjalnych zastosowań inteligentnego materiału, który powstał w wyniku współpracy trzech uczelni – w tym AGH.

Inteligentnymi nazywamy materiały, które reagują na środowisko w przewidywalny i ściśle określony sposób. Odpowiednie bodźce mogą wywołać ich reakcję, która doprowadzi na przykład do zmiany ich właściwości. Z takiego inteligentnego materiału może być wykonana choćby koszulka, która zmienia kolor pod wpływem ciepła – a więc w praktyce ma na przykład inny kolor w miejscach, które przylegają do ciała, a inny w miejscach, które są luźne. Ale potencjał takich materiałów jest znacznie większy niż czysto komercyjne zastosowania przykuwające uwagę i pozwalające wyróżnić się w tłumie. Można je zintegrować z elektroniką, tak by razem pozwalały na ciągłe mierzenie temperatury ciała czy ciśnienia tętniczego. Inteligentne materiały to także możliwość stworzenia sztucznej skóry czy egzoszkieletów, albo soczewek kontaktowych wyświetlających informacje na przykład o poziomie glukozy bezpośrednio w polu widzenia użytkownika. Jedną z unikatowych grup materiałów inteligentnych są materiały mechanochromowe, czyli zmieniające barwę

pod wpływem oddziaływań mechanicznych. Zespół naukowców z Indii, Japonii i Polski w artykule zatytułowanym *Mechanochromism and aggregation-induced emission in a fluorene-fumaronitrile-based molecular system: The influence of supramolecular control on donor-acceptor interactions* opublikowanym w czasopiśmie „Journal of Luminescence” opisują opracowany i przebadany przez nich materiał, który pod wpływem wzrostu naprężenia zmienia swoją barwę z zielonożółtej na czerwoną.

Wystarczy zgiąć

Barwa związku w fazie stałej, w postaci krystalicznej, wynika zarówno ze struktury cząsteczek, jak i ze sposobu, w jaki te cząsteczki oddziałują ze sobą w kryształach. Związek opisany przez naukowców we wspomnianej publikacji charakteryzuje się tym, że zawarte w nim kryształy są bardzo miękkie, a ich struktura nie jest stabilna.

– Niewielka siła, niewielki czynnik wywołujący jakąś deformację powoduje, że zmienia się ich ułożenie w przestrzeni – mówi prof. dr hab. Konrad Szaciłowski, jeden z autorów publikacji, i porównuje te cząsteczki do klucza od zamka. – Każda cząsteczka zawiera jeden zamek i dwa klucze lub odwrotnie, czyli jest zbudowana z kilku modułów, które wzajemnie do siebie pasują i są rozseparowane. W kryształach mamy taką sytuację, że „zamek” z jednej cząsteczki pasuje do „klucza” z drugiej. Dzięki temu oddziaływaniu powstaje materiał o konkretnej barwie. Dodatkowo charakteryzuje się on silną luminescencją, a więc wzbudzony ultrafioletem emituje światło barwy zielonożółtej. Kiedy dochodzi do mechanicznego uszkodzenia kryształów, cząsteczki przesuwały się względem siebie, a oddziaływania ulegają zniszczeniu. Powstają za to inne, a ich pojawienie się sprawia, że barwa zmienia się z żółtozielonej na czerwoną.

Co ciekawe, w przypadku tego związku proces niszczenia oddziaływań pomiędzy cząsteczkami jest w pełni odwracalny – wystarczy dodać do materiału organiczny rozpuszczalnik, a cząsteczki trafią na swoje pierwotne miejsce i struktura od razu się odtwarza. Tym samym substancja ponownie zmienia także kolor, wracając do wyjściowej barwy.

Czerwony znaczy „wzmocnij”

Dzięki czułości materiału na działanie nawet niewielkiego stężenia par związków organicznych można sobie wyobrazić jego wykorzystanie do stworzenia farb, które służyłyby jako czujniki ostrzegawcze – można by pokryć nimi ściany czy podłogi w laboratorium lub w hali produkcyjnej, gdzie mogą występować toksyczne opary. Gdyby pojawiły się w powietrzu, to farba wykonana z użyciem tego inteligentnego materiału natychmiast zmieniałaby barwę z czerwonej na żółtozieloną. W ten sposób informacja o zanieczyszczeniu znajdującym się w powietrzu byłaby natychmiast dostępna dla osób przebywających w pomieszczeniu, które mogłyby szybko podjąć odpowiednie kroki. Fakt, że zmiana barwy jest bardzo wyraźna, bo do zmiany dochodzi z koloru żółtozielonego na kolor czerwony, sprawia, że takie jej użycie byłoby wygodne w zastosowaniu.

– Ten system może być znacznie czulszy i przede wszystkim znacznie tańszy w użyciu niż zaawansowane czujniki elektroniczne, bo do zrobienia takiego czujnika potrzebujemy miligrama związku, który jest w miarę tani i chociaż będzie działał w sensorze jednorazowo, to jest łatwy do wymiany – wyjaśnia prof. Szaciłowski.

Innym z potencjalnych zastosowań bazujących na właściwościach mechanochromowych otrzymanego materiału jest wytworzenie polimeru funkcjonalnego, który zmieniałby barwę podczas zmiany naprężenia, na przykład podczas wyginania. To właściwość, z której mogą skorzystać choćby konstruktorzy – czy to robotów, czy konstrukcji architektonicznych. Już na etapie prototypu warto byłoby wiedzieć, gdzie pojawiają się większe naprężenia, by móc zmodyfikować projekt przed jego ostatecznym wdrożeniem. Prototyp wykonany z takiego polimeru zmieniałby kolor w miejscach, w których naprężenia byłyby większe, a tym samym dostarczył konstruktorowi informacji o tym, czy wykonane przez niego modelowanie numeryczne nie zawierało błędów i czy naprężenia poprawnie rozchodzą się po konstrukcji.

Pokrycie taką farbą przęsła mostu mogłoby sprawić, że podstawowa kontrola jego wytrzymałości ograniczałaby się do monitorowania barwy polimeru. Gdyby na nagraniu, zdjęciu, czy też na żywo dostrzeżono efekty niebezpiecznej zmiany naprężenia, most mógłby zostać szybko wyłączony z użytku – i tym samym moglibyśmy łatwo zapobiec ewentualnym wypadkom, choćby takim jak ten w Genui w 2018 roku, podczas którego zginęły 43 osoby. Taki sposób monitoringu naprężenia nie wymagałby elektroniki ani skomplikowanych systemów nadzoru – wystarczyłby inteligentny materiał, który, gdy naprężenie przekroczy wartość krytyczną, poinformuje nas o zagrożeniu zmianą barwy.

Nikt nie wie wszystkiego

Jak podkreśla prof. Szaciłowski, wykonanie wszystkich badań niezbędnych do stworzenia i opisanie właściwości inteligentnego materiału wymagało współpracy trzech ośrodków badawczych z trzech różnych krajów – Polski, Indii oraz Japonii. Każdy z zespołów badawczych dysponuje innym zestawem umiejętności oraz dostępem do różnych technik laboratoryjnych, które przekładają

się na to, co dany zespół jest w stanie osiągnąć. W AGH nie prowadzono badań nad syntezą związku – dokonali tego naukowcy z Japonii, którzy dzięki swojemu dotychczasowemu doświadczeniu przeprowadzili syntezę tego złożonego związku. Wówczas w Japonii przebywała pracująca na indyjskim uniwersytecie dr Bijitha Balan, która po powrocie do Indii rozpoczęła zaawansowane badania nad materiałem przy użyciu aparatury spektroskopowej. Jej zespół miał jednak trudność w wyjaśnieniu wszystkich aspektów reaktywności opisanego materiału, więc zwrócił się z prośbą o pomoc do prof. Szaciłowskiego, który posiadał większe doświadczenie w modelowaniu teoretycznym. Aby wykonać swoje zadanie, naukowiec nie musiał mieć nawet dostępu do samego materiału – wystarczył dostęp do surowych danych pomiarowych.

– Model pokazał nam, jakiego rodzaju oddziaływania występują w tych cząsteczkach i co jest istotne dla tego efektu. Dla jednego zespołu badawczego byłoby to bardzo trudne, bo musiałby mieć doświadczenie w syntezie, spektroskopii i modelowaniu molekularnym. Więc musiałby to być bardzo duży zespół, składający się z ludzi o wielu różnych specjalnościach. Znacznie łatwiej jest to zrobić przez poszukanie partnera gdzieś na zewnątrz – komentuje naukowiec z AGH. – Bez takiej zaawansowanej współpracy bardzo trudno jest prowadzić zaawansowane badania naukowe. Cały czas pracujemy w środowisku międzynarodowym i to jedyny sposób, żeby rzeczywiście te badania szły intensywnie do przodu.

Ciąg dalszy nastąpi

Realizacja dotychczasowych projektów z zespołami z zagranicy to jednak zdecydowanie nie koniec międzynarodowej współpracy. Badacze z AGH spoglądają z nadzieją na kontynuację badań dotyczących inteligentnych materiałów, które są wrażliwe na ciśnienie, bo to materiały, które charakteryzują się dobrym przewodnictwem elektrycznym – a więc mogą znaleźć zastosowanie w projektach dotyczących sztucznych neuronów i sztucznych synaps, które są obecnie prowadzone w AGH.

Warto też zaznaczyć, że w kolejnych projektach część badań nad materiałami inteligentnymi będzie można przeprowadzać w AGH. Laserowy spektrometr absorpcji

przejściowej, którego zakup sfinansowano ze środków IDUB, pozwala na pomiar widm absorpcyjnych. Podczas badań nad inteligentnymi materiałami fotochromowymi może posłużyć do badania kolorów związków chemicznych i badania zmian, jakie zachodzą w wyniku wzbudzenia go krótkim impulsem światła laserowego. Dzięki temu można śledzić dynamikę reakcji chemicznych. Obserwując opisywany materiał inteligentny po zniszczeniu jego struktury, moglibyśmy stwierdzić, jak szybko wraca do stanu równowagi.

Zestaw do pomiaru czasu fotoluminescencji pozwala z kolei na zmierzenie zdolności próbek do emisji światła po wzbudzeniu ultrafioletem. W środku urządzenia znajdują się impulsowe lasery ultrafioletowe, które pozwalają naukowcom na śledzenie emisji w zakresie światła widzialnego z bardzo wysoką rozdzielczością czasową (co do pikosekund). Co więcej, możemy badać materiały w zakresie temperatury od 10 do 350 K i dzięki temu badać dynamikę cząsteczek w stanie wzbudzonym.

– To urządzenie daje nam precyzyjne informacje o skali czasowej zmiany struktury elektronowej pojedynczych cząsteczek, co jest bardzo istotne z czysto poznawczego punktu widzenia, ale również do pewnego stopnia przekłada się na zastosowania praktyczne, bo będziemy wiedzieć, czy układ na przykład po zadziałaniu sensora lub czujnika szybko wraca do stanu pierwotnego, czy nie; jak długi czas musi upłynąć, żebyśmy po raz kolejny mogli użyć tych cząsteczek – dodaje prof. Szaciłowski.

Wspomniana aparatura posłużyła już do zrealizowania programu OPUS „W słałości siła: nitrylowe oraz tiazolotiazolowe kompleksy srebra i miedzi jako nowe materiały dla memrystorów filamentowych”, który jest prowadzony w konsorcjum z Politechniką Gdańską. Celem projektu jest zsyntezowanie związków hybrydowych z jonami srebra i miedzi, które służyłyby jako komórki pamięci, tak zwane memrystory filamentowe. W projektowanych związkach wiązania chemiczne jonów metalu z matrycą powinny być słabe, by po przyłożeniu napięcia jony mogły utworzyć w materiale ścieżkę przewodzącą.

Zakres prac prowadzonych w Zakładzie Fotofizyki i Elektrochemii Półprzewodników, gdzie pracuje prof. Szaciłowski, może wydawać się zaskakujący, jeśli

weźmiemy pod uwagę, że zatrudnieni są tam głównie chemicy. W laboratorium próżno szukać przyrządów powszechnie kojarzonych z badaniami chemicznymi – nie ma w nim probówek, zlewek i butelek wypełnionych płynem. Są za to generatory, oscyloskopy, analizatory sygnału, kilometry kabli i lasery. Dzięki temu widać, że znany ze szkoły podział na chemię i fizykę może być trudny do przeprowadzenia w realnym świecie i niekonięcznie sprawdza się podczas prac badawczych. Choć pomiary przepływu prądu przez materiały mogą kojarzyć się z badaniami fizycznymi, to znajdują swoje miejsce także w dziedzinie chemii – choćby dlatego, że przepływ prądu może wywoływać zmiany w strukturze molekularnej materiału. Robot może mieć oczy z siarczku kadmu, w których opór elektryczny zmienia się wraz ze zmianą natężenia światła – a więc wykorzystywać właściwości związków chemicznych do reagowania na otoczenie. Tym samym można zaszeregować projekt jako chemiczny – nawet jeśli innym wyda się nietypowy.

Prof. Szaciłowski przyznaje, że takie unikatowe podejście do uprawiania chemii jest wynikiem jego zamiłowania do elektroniki i stanowi niszę w tej gałęzi nauki.

– Jeszcze kilkanaście zespołów badawczych na świecie robi taką chemię, między innymi mój nauczyciel i przyjaciel prof. AP de Silva z Belfastu, pochodzący ze Sri Lanki, który był odkrywcą tak zwanych molekularnych bramek logicznych. Prof. de Silva jako pierwszy wykazał, że cząsteczki związków chemicznych mogą się zachować tak, jak przełączniki elektryczne. Też zacząłem budować przełączniki z cząsteczek i tak już mi zostało. A teraz robią to moi doktoranci, magistranci i cały zakład – opowiada prof. Szaciłowski.

Opaski z MXenami wróciły z kosmosu



Na kompletne wyniki eksperymentu musimy jeszcze poczekać, ale faza testów przebiegła pomyślnie. W przyszłości opaski z MXenami opracowane w AGH mogą nie tylko pozwolić monitorować parametry życiowe astronautów, ale także pomóc pacjentom tu, na Ziemi. Faza testów na stacji kosmicznej przebiegła pomyślnie.

MXene in LEO był jednym z trzynastu polskich eksperymentów z zakresu technologii, biologii, medycyny i psychologii przygotowanych przez polskich naukowców oraz inżynierów i przeprowadzonych przez astronautów podczas misji Axiom Mission 4. Polska technologiczno-naukowa część misji przebiegała pod nazwą IGNIS. „In LEO” w nazwie eksperymentu odnosi się do Low Earth Orbit, czyli niskiej orbity okołozemskiej.

MXeny, z kolei, to rodzina ultracienkich nanomateriałów – ich grubość nie przekracza 100 nm, czyli wielkości zdecydowanie niewidocznej gołym okiem. Te materiały zostały poznane dopiero kilkanaście lat temu, a naukowcy z AGH badają je od 2018 roku. Do ich utworzenia wykorzystuje się węgliki albo azotki różnych metali przejściowych należące do grupy faz MAX. MXeny bardzo dobrze przewodzą prąd, a ze względu na swoje właściwości umożliwiają uzyskiwanie wyjątkowo precyzyjnych danych pomiarowych. Spośród ich cech szczególnie istotna jest ta, że pod wpływem odkształcenia (na przykład zginania) zmienia się ich opór elektryczny. Po włączeniu do

odpowiedniego obwodu pomiarowego zmiany te można rejestrować jako zmiany napięcia lub prądu na elektrodach. Dodatkowo wiele z nich jest biokompatybilnych, więc niosą nadzieję, że w przyszłości znajdą zastosowanie w sensorach ubieralnych, a nawet wszczepialnych. Łącznie te cechy sprawiają, że MXeny są doskonałymi kandydatami do zastosowania w nowoczesnych czujnikach, na przykład biometrycznych. W eksperymencie na stacji kosmicznej, w który zaangażowani byli naukowcy z AGH, wykorzystano MXeny stworzone z warstw węgliku tytanu. Według założeń naukowców z AGH mogą one służyć do wykonywania pomiaru pulsu.

Aby to mogło się udać, nanomateriał musiałby ściśle przylegać do skóry na przykład w okolicy nadgarstka, gdzie puls jest wyczuwalny. Wtedy pulsująca w żyłach krew zmieniałaby odkształcenie MXenu, a ten sygnał mógłby zostać przesłany do aparatury i odczytany przez badaczy. Stąd pomysł, by opracować opaskę, na której mogłyby zostać nadrukowane zbierające cenne informacje MXeny.

Solidna baza

Do przygotowania opaski zdecydowano się wykorzystać celulozę bakteryjną – biomateriał składający się z włókienek wytwarzanych przez bakterie. Jest on lekki, elastyczny, nierozpuszczalny w wodzie, bardzo chłonny, a do tego absorbuje i neutralizuje pot. Aby zwiększyć jego wytrzymałość, naukowcy dodają do niego glicerynę. Zaletą celulozy bakteryjnej jest także to, że proces jej produkcji nie zostawia dużego śladu węglowego, a więc jest przyjazny dla środowiska i bardziej ekologiczny niż na przykład proces produkcji celulozy roślinnej. Jedynym problemem jest duża ilość wody, która w procesie produkcji celulozy bakteryjnej ulega zakwaszeniu i staje się substancją toksyczną, którą należy zutylizować. Potencjalnie warto byłoby ją wykorzystać do wytwarzania prądu. Naukowcy twierdzą, że dzięki prostocie procesu produkcji, niewymagającej zaawansowanej aparatury, taki materiał na opaski mógłby być w przyszłości produkowany bezpośrednio podczas misji na stacji kosmicznej.

Jak podkreślała dr Agata Harasymczuk podczas rozmowy w ramach cyklu „AGH Nauka Spotkania”, ze względu na to, że materiał miał zostać wyniesiony na stację kosmiczną po raz pierwszy, musiał przejść szczegółowe testy, które miały potwierdzić bezpieczeństwo jego stosowania (na przykład czy nie wywołuje reakcji alergicznej) oraz zdolność zachowania stabilności w pozaziemskich warunkach.

Ostatecznie wszystkie testy, w tym testy biokompatybilności, wypadły pomyślnie i dzięki wysiłkowi wszystkich naukowców zaangażowanych w eksperyment materiał został zaakceptowany przez Europejską Agencję Kosmiczną oraz NASA i mógł zostać przetestowany przez dr. inż. Sławosza Uznańskiego-Wiśniewskiego w warunkach kosmicznych. Wykorzystanie MXenów i celulozowej opaski ma szansę sprawdzić się tam lepiej niż popularnie używane na Ziemi urządzenia do śledzenia pulsu oparte na technologii LED, które w kosmosie bywają zawodne.

Wpływ warunków kosmicznych

Celem badaczy z AGH podczas misji kosmicznej było po pierwsze zbadanie zachowania nanomateriału MXene w warunkach mikrogravitacji i promieniowania kosmicznego, a więc ocena jego stabilności środowiskowej, a po drugie – zweryfikowanie możliwości jego zastosowania

do monitorowania stanu zdrowia człowieka. Ponieważ MXeny nie były wcześniej testowane w warunkach stacji kosmicznej, naukowcy musieli sprawdzić, czy zachowują one stabilność, czy nie zmieniają swoich właściwości oraz czy warunki nie wpływają na sposób, w jaki oddają one pomiary. Kluczowe było także przetestowanie ich w praktyce, a więc sprawdzenie, czy uda się zmierzyć puls astronauty z wykorzystaniem opaski z nadrukowanymi MXenami.

Pierwsza część eksperymentu MXene in LEO nie wymagała zaangażowania astronauty – czujniki MXenowe zostały umieszczone w jednym miejscu międzynarodowej stacji kosmicznej, gdzie gromadziły dane dotyczące przebywania w warunkach kosmicznych. Co do drugiej części eksperymentu – dr inż. Sławosz Uznański-Wiśniewski zabrak na orbitę sześć opasek, z których każda musiała zostać wielokrotnie przetestowana. Po założeniu astronauta miał utrzymywać rękę w jednej pozycji w celu zebrania pomiarów bazowych, następnie wykonywać określoną sekwencję ruchów nadgarstkiem. Dzięki temu naukowcy będą mogli się przekonać, jak ruch wpływa na dokładność pomiaru oraz czy ten w ogóle jest możliwy, kiedy osoba badana porusza rękami. Aby porównać dane zabrane w warunkach mikrogravitacji z danymi uzyskanymi na Ziemi, zespół badaczy równolegle prowadził identyczne testy w laboratorium AGH oraz w czasie lustrzanej symulacji misji kosmicznej w habitacie AATC w Rzepienniku Strzyżewskim.

Pierwsze sukcesy już za nami

„Zdecydowanie możemy tu zraportować pełen sukces” – mówiła o przebiegu eksperymentu MXene in LEO dr inż. Dagmara Stasiowska podczas wystąpienia towarzyszącego wizycie w AGH dr. inż. Sławosza Uznańskiego-Wiśniewskiego. „Eksperyment przebiegł zgodnie z oczekiwaniami” – czytamy w raporcie z eksperymentu na stronie IGNIS.

Dane z badania stabilności zostały zebrane, puls i ruchy nadgarstka astronauty zostały wykryte, opaski wróciły bez szwanku, a publikacje są w trakcie przygotowania. Wstępne dane dotyczące czułości urządzenia i szczegółowości otrzymanych wyników są bardzo obiecujące – być może dostarczą one nawet więcej informacji, niż oczekiwali badacze. Dr Agata Harasymczuk podczas wydarzenia odbywającego się w ramach cyklu „AGH Nauka Spotkania” podzieliła się natomiast obser-

Opaski z MXenami wróciły z kosmosu

wacją, że po powrocie z orbity na opaskach nie zauważały żadnych śladów dekompozycji czy zakażenia ani nie wyczuła zapachów, które mogłyby świadczyć o namnażaniu się bakterii, grzybów czy pleśni.

Opublikowania pierwszych oficjalnych doniesień, gdzie zostaną przedstawione i przeanalizowane szczegółowe dane z eksperymentu, możemy spodziewać się w pierwszej połowie 2026 roku. Naukowcy zaangażowani w projekt z ramienia AGH podkreślają jednak, że niezwykle ważne efekty projektu już są widoczne – bo naukowcy nabrali ogromnego doświadczenia w uczestnictwie w tak dużych, międzynarodowych projektach, poznali od podszewki cały proces formalny, a także nawiązali wiele wartościowych współprac, które zaowocują w przyszłości.

Przyszłość jest obiecująca

MXeny mają szansę stać się pierwszym krokiem do stworzenia nowej generacji urządzeń. Przede wszystkim mogą być kluczowym elementem lekkich i precyzyjnych czujników – a to cechy, które są szczególnie pożądane w czujnikach wykorzystywanych podczas załogowych misji kosmicznych dalekiego zasięgu.

Unikalne właściwości MXenów wykorzystywanych w AGH sprawiają jednak, że mogą one mieć szerokie zastosowanie i przydać się także tu, na Ziemi. Obecnie zastosowanie opasek jest testowane pod kątem przydatności do śledzenia stanu zdrowia pacjentów kardiologicznych w Górnośląskim Centrum Medycznym. Naukowcy z AGH współpracują także z Polskim Towarzystwem Chirurgii Ręki, by zastosować MXeny do wspomagania fizjoterapii po operacji nadgarstków czy dłoni. Co więcej, można podejrzewać, że w przyszłości opaski mogłyby znaleźć zastosowanie w monitorowaniu stanu zdrowia osób z chorobami przewlekłymi.

Koordinatorem projektu w AGH jest dr inż. Shreyas Srivatsa, a do zespołu należą: prof. dr hab. inż. Tadeusz Uhl, dr Agata Harasymczuk, dr inż. Krzysztof Grabowski, dr inż. Dagmara Stasiowska, dr Daruksha Baraduru Hiramatada, mgr inż. Wojciech Guzewicz i mgr inż. Sławomir Rudawski. Sznyt projektowi opaski nadali studenci Wydziału Form Przemysłowych Akademii Sztuk Pięknych w Krakowie pod kierunkiem dr. hab. Michała Kracika, prof. ASP. W oparciu o wytyczne naukowców z AGH oraz w zgodzie z zasadami projektowania przemysłowego zaprojektowali opaskę, która jest łatwa do samodzielnego założenia w warunkach mikrogravitacji.

Kontakt: dr Agata Harasymczuk, akolodziejczyk@agh.edu.pl

Analiza danych przestrzennych a wzrost bezpieczeństwa mieszkańców dużych miast

Współczesne miasta, złożone i rozbudowane, są przestrzeniami, w których zapewnienie bezpieczeństwa mieszkańcom jest jednym z kluczowych wyzwań. Analiza danych przestrzennych, wykorzystywana pierwotnie w naukach związanych z geografią, ekonometrią czy z dziedzinami, w których lokalizacja określona poprzez współrzędne geograficzne jest bardzo istotna, przydaje się także w wielu innych dyscyplinach. Jednym z obszarów, gdzie analiza danych znajduje skuteczne zastosowanie, są badania mające na celu podnoszenie bezpieczeństwa mieszkańców miast.



Za takie właśnie analizy danych przestrzennych zespół w składzie: prof. dr hab. inż. Andrzej Leśniak z Katedry Geoinformatyki i Informatyki Stosowanej Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, dr Agnieszka Polończyk-Sudoł z Instytutu Bezpieczeństwa i Informatyki UKEN w Krakowie oraz Przemysław Waśniowski, pracujący na co dzień w Urzędzie Miasta Krakowa w Wydziale Bezpieczeństwa i Zarządzania Kryzysowego, otrzymał prestiżową Nagrodę Miasta Krakowa. Interdyscyplinarny zespół od 2018 roku prowadzi zaawansowane analizy przestrzenne zagrożeń porządku publicznego oraz pierwsze w Polsce analizy przestrzenne dotyczące poczucia bezpieczeństwa mieszkańców Krakowa. Rezultaty badań zostały zaprezentowane na wielu krajowych oraz międzynarodowych konferencjach i kongresach, a Kraków jest obecnie wiodącym ośrodkiem w Polsce zajmującym się badaniami nad tak zwanym mapowaniem przestępczości na zaawansowanym poziomie.

Badania obejmują analizy danych m.in. o czynach zabronionych, przestępstwach, wykroczeniach czy zgłoszeniach interwencyjnych. Do analiz wykorzystywane są również inne dane o charakterze przestrzennym pochodzące między innymi z miejskiej i prywatnej sieci monitoringu czy też lokalizacja tak zwanych atraktorów lub generatorów przestępczości (na przykład sklepów z alkoholem). Zastosowanie analiz przestrzennych pozwoliło między innymi na identyfikację miejsc o najwyższej przestępczości, zrozumienie migracji zjawisk przestępczych oraz określenie efektywności działań prewencyjnych, takich jak na przykład instalacja kamer monitoringu.

Metody i wyniki badań

Prace zespołu polegają w głównej mierze na wykorzystaniu danych dostarczanych przez Wydział Bezpieczeństwa i Zarządzania Kryzysowego Urzędu Miasta Krakowa. Jednym z analizowanych zagadnień jest

aktualnie monitoring miejski oraz jego efektywność. Zespół wykazał, że monitoring działa najskuteczniej w okresie do czterech lat po instalacji kamer, a następnie obserwuje się efekt przyzwyczajenia, powodujący powrót przestępczości niemal do wcześniejszego poziomu. Wyniki badań wskazują także na przesuwanie się aktywności przestępczej do obszarów nieobjętych monitoringiem. Na podstawie danych dostarczanych przez zespół decydenci miejscy mogą skuteczniej planować działania związane na przykład z zabezpieczaniem najbardziej zagrożonych przestępstwami miejsc czy intensyfikowaniem działań interwencyjnych.

– Informacje, którymi operujemy, są bardzo dokładne, wręcz punktowe. Często jednak te dane grupujemy, uogólniamy, między innymi po to, aby wyciągnąć z nich istotne wnioski, które mogą następnie być pomocne przy podejmowaniu decyzji związanych na przykład z rozszerzeniem monitoringu czy intensyfikacją działań interwencyjnych w konkretnym rejonie miasta – wyjaśnia Przemysław Waśniowski z Urzędu Miasta Krakowa.

Zastosowanie analiz w praktyce

– Efekty pracy zespołu są wykorzystywane między innymi przez policję, straż miejską oraz Wydział Bezpieczeństwa i Zarządzania Kryzysowego w celu lepszego planowania działań prewencyjnych oraz tych związanych z inwestycjami w podnoszenie bezpieczeństwa mieszkańców – precyzuje P. Waśniowski.

Dwa razy do roku Urząd Miasta przeprowadza także badania ankietowe badające poczucie bezpieczeństwa wśród mieszkańców Krakowa. Zespół następnie zestawia subiektywne opinie Krakowian i Krakowianek z obiektywnymi wynikami analiz przestrzennych prowadzonych przez nagrodzony zespół. Analizy służą wydziałowi, ale także służbom, które mogą skuteczniej i precyzyjniej planować działania podnoszące bezpieczeństwo mieszkańców.

Prof. Andrzej Leśniak wskazuje:

– Przykład Krakowa pokazuje, że rozwijane przez zespół zaawansowane techniki analiz przestrzen-

nych mogą przyczynić się do lepszego planowania inwestycji, takich jak monitoring miejski oraz do skutecznego zarządzania kryzysowego.

Prace zespołu prof. Andrzeja Leśniaka nie tylko wpływają na poprawę bezpieczeństwa w Krakowie, ale również dostarczają naukowych podstaw do dalszych badań nad zjawiskami przestępczości w miastach.

– Wyniki dotychczasowych prac posłużyły między innymi do publikacji naukowych, w których analizujemy wpływ pandemii COVID-19 na wybrane rodzaje przestępczości w Krakowie oraz ich rozmieszczenie przestrzenne w okresie lockdownu. W badaniu porównaliśmy przestępstwa popełnione w 2020 roku z przestępstwami popełnionymi w analogicznych okresach w latach poprzednich – mówi prof. Leśniak.

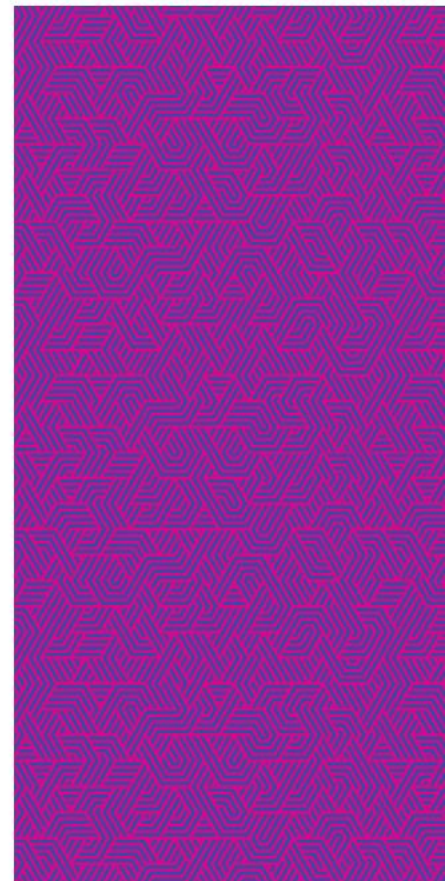
Najnowsze badania skupiają się na analizie liczby interwencji służb mundurowych wobec osób nietrzeźwych w zależności od gęstości sklepów i lokali z alkoholem. Prof. Leśniak podkreśla, że badania te mają kluczowe znaczenie dla prowadzonych przez władze miasta i organizacje społeczne działań profilaktycznych i prewencyjnych prowadzących do wzrostu porządku publicznego.

Dr Agnieszka Polończyk-Sudoł wskazuje największą dla niej wartość tych badań: to spojrzenie z kilku różnych perspektyw na dane o czynach zabronionych.

– W naszych pracach staramy się nie tylko analizować, ale także interpretować to, co jest widoczne na mapach. Aby lepiej zrozumieć zjawiska społeczne mające miejsce w przestrzeni publicznej miasta, sięgamy po szereg teorii z zakresu nauk społecznych, szukając w nich potwierdzenia naszych obserwacji i wniosków. Kraków bowiem, tak jak każde inne miasto, ma swoją specyfikę i tego, co dzieje się w mieście, nie należy interpretować w oderwaniu od uwarunkowań społecznych, kulturowych, ekonomicznych czy lokalnych – mówi.

Osiągnięcia zespołu są przykładem owocnej współpracy naukowców z jednostkami dbającymi o komfort życia w miastach. Przyznana Nagroda Miasta Krakowa jest również wyrazem uznania dla dokonań zespołu na rzecz

rozwoju i wzmocnienia naukowego potencjału miasta. Prowadzone analizy pokazują także, że inwestowanie w badania naukowe przynosi wymierne korzyści, w tym przypadku w zakresie poprawy jakości życia mieszkańców Krakowa.



Kontakt: **prof. dr hab. inż. Andrzej Leśniak**, lesniak@agh.edu.pl

Prototyp domu zasilanego wyłącznie wodorem i fotowoltaiką powstał w AGH



Jak zapewnić sobie niezależność i autonomię energetyczną oraz jak gromadzić energię słoneczną w sposób długoterminowy – na te pytania odpowiadają naukowcy z Akademii Górniczo-Hutniczej.

Interdyscyplinarne zespoły kierowane przez dr hab. inż. Magdalenę Dudek, prof. AGH z Wydziału Energetyki i Paliw AGH oraz partnerzy projektu z przemysłu – firmy ZE-PAK oraz PAK Serwis – stworzyli pierwszy w Polsce prototyp domu zasilanego energią elektryczną wytwarzaną z instalacji fotowoltaicznej. W razie niedoboru energia pobierana jest z baterii akumulatorów lub wodorowo-tlenowego ogniwa paliwowego. Wodór z kolei produkowany jest na miejscu w elektrolizerze i magazynowany w zbiornikach.

W pierwszym etapie prac zespół z AGH zbudował laboratorium wyposażone w zintegrowany system wytwarzania i magazynowania energii elektrycznej oraz typowe odbiorniki energii elektrycznej, między innymi sprzęt codziennego użytku typu komputery, lodówka, pralka, oświetlenie czy ekspres do kawy. Na świecie, na przykład w Niemczech, Włoszech czy Australii pojawiają się już budynki, domy jednorodzinne, schroniska górskie, zasilane energią elektryczną z odnawialnych źródeł energii oraz wykorzystujących wodór jako sezo-

nowy magazyn i nośnik energii. Nadwyżki pochodzące z produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii wykorzystywane są do wytwarzania wodoru, który następnie jest osuszany, sprężany do odpowiedniego ciśnienia oraz przechowywany w odpowiednich zbiornikach na później. Wodór pełni więc rolę długookresowego magazynu energii elektrycznej. W okresie jesienno-zimowym jest on wykorzystywany do zasilania ogniw paliwowych, a te z kolei produkują energię elektryczną dla naszych urzędów.

Prof. Magdalena Dudek podkreśla:

– W ostatnich 10 latach ze względu na wprowadzenie coraz ostrzejszych regulacji prawnych mających na celu zmniejszenie energochłonności budynków obserwujemy zmniejszenie używania paliw kopalnych na rzecz ekologicznych rozwiązań. Dodatkowo wzrost świadomości ekologicznej w społeczeństwie oraz upowszechnienie się nowych technologii skutkuje wzrostem wykorzysta-

nia odnawialnych źródeł energii do wytwarzania elektryczności i ciepła. Idąc tym tropem, proponujemy co prawda nie nowe, ale w naszym kraju całkowicie jeszcze niewykorzystywane, oparcie zasilania energetycznego na wodorze.

Koncepcja wytwarzania elektryczności z odnawialnych źródeł w celu pokrycia zapotrzebowania energetycznego domu jednorodzinnego zakłada wykorzystanie nadwyżek energii elektrycznej pochodzącej z paneli fotowoltaicznych do produkcji wodoru. Odbywa się to w elektrolizerze, a wodór jest magazynowany w zbiornikach. W okresach jesienno-zimowych wodór jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej i ciepła w ogniwach paliwowych. Te z kolei mogą zasilać wszystkie odbiorniki energii elektrycznej używane na co dzień, tj. pralki, lodówki, kuchenki, oświetlenie.

W prototypowym laboratorium, które ma odwzorowywać warunki panujące w domu, umieszczono sprzęt elektryczny codziennego użytku. Na dachu mobilnego prototypu zainstalowano panele fotowoltaiczne o mocy 6,4 kWp. Ta wielkość instalacji PV jest w stanie dostarczyć energię elektryczną na potrzeby przeciętnego domu. Nadwyżki z produkcji energii elektrycznej z instalacji PV są magazynowane w baterii akumulatorów elektrochemicznych oraz wodorze. W opracowanym systemie, w zależności od zapotrzebowania, wodór odgrywa rolę sezonowego magazynu energii elektrycznej, pozwalającego na pokrycie niedoboru energii głównie w okresie jesienno-zimowym. Wodór może być przechowywany w nisko- lub wysokociśnieniowych zbiornikach przez dłuższy czas. Jest również ekologicznym nośnikiem energii. Konwersja energii chemicznej wodoru na energię elektryczną w ogniwach paliwowych prowadzi

do produkcji energii elektrycznej i ciepła. Produktem pracy ogniw paliwowych jest jeszcze woda.

Warto podkreślić, że rozwiązania te mogą być wykorzystywane do rozwoju innej infrastruktury, takiej na przykład jak pomocnicze źródła zasilania dla imprez masowych czy dla działań służb ratunkowych w sytuacjach kryzysowych, przewoźne hotele itp.

Efektom prac zespołu jest DOM H2 – przedstawiający prototypową instalację autonomicznego zasilania domu jednorodzinnego w energię elektryczną, bazującą na własnych źródłach energii odnawialnej z wykorzystaniem wodoru jako magazynu i nośnika energii. Instalacja, pełniąca funkcję demonstracyjno-badawczą, została zbudowana na mobilnym zmodyfikowanym kontenerze morskim i swoją premierę miała na międzynarodowych targach związanych z technologiami wodorowymi Net Zero Energy & H2POLAND 2025 w Poznaniu, gdzie prezentowane były najnowsze rozwiązania wspierające proces transformacji energetycznej.

– Wodór to nośnik przyszłości. Może zapewniać nie tylko magazynowanie energii, ale również niezależność energetyczną na poziomie pojedynczego gospodarstwa domowego czy całych społeczności. To szczególnie ważne w kontekście bezpieczeństwa energetycznego – zaznacza prof. Dudek.

Sztuczna inteligencja wspiera diagnostykę obrazową – projekt naukowców z AGH pomoże lekarzom



Nowoczesne narzędzie diagnostyczne oparte na algorytmach sztucznej inteligencji powstało w Akademii Górniczo-Hutniczej. Wspomaga lekarzy w analizie obrazów między innymi z tomografii komputerowej i rezonansu magnetycznego, skracając czas diagnozy i zwiększając jej precyzję.

W AGH opracowano rozwiązanie oparte na AI, które ma znacząco usprawnić pracę lekarzy radiologów. System, testowany przez blisko pół roku w Szpitalu Uniwersyteckim w Krakowie, ma za zadanie wspomagać specjalistów w analizie obrazów medycznych, redukować ryzyko przeoczenia zmian patologicznych oraz znacząco przyspieszyć proces diagnostyczny.

Opracowana w AGH technologia jest rdzeniem systemu Raygenic Rayspad – zaawansowanej przeglądarki diagnostycznej z komputerowym wspomaganiami opartym na sztucznej inteligencji. Platforma testowana była w warunkach klinicznych, gdzie w ramach pilotażu lekarze opisali blisko sto badań obrazowych, takich jak rezonans magnetyczny i tomografia komputerowa. Algorytmy AI dokonywały automatycznej segmentacji, detekcji zmian oraz precyzyjnych pomiarów – wyniki te były następnie zestawiane z analizą wykonaną przez lekarzy.

Najważniejsze funkcjonalności platformy diagnostyczno-radiologicznej to wbudowane w narzędzie al-

gorytmy AI, które służą do generowania szeregu kluczowych dla diagnozy danych. Są to między innymi:

- automatyczna segmentacja organów – pozwala na szybkie i precyzyjne oznaczenie struktur anatomicznych w badaniach obrazowych;
- detekcja anomalii – algorytmy AI samodzielnie identyfikują zmiany patologiczne, w tym podejrzane ogniska nowotworowe czy zmiany pourazowe;
- precyzyjne wymiarowanie wykrytych zmian – system automatycznie dokonuje pomiarów zmian patologicznych, co znacząco przyspiesza i standaryzuje proces opisu badania.

– Naszym celem było stworzenie narzędzia, które będzie realnie wspierało lekarzy w ich codziennej pracy. Dzięki integracji nowoczesnych metod AI z wiedzą kliniczną możemy zapewnić radiologom lepsze warunki pracy oraz system, który przyczynia się do szybszej i dokładniejszej diagnozy pacjentów

– mówi prof. dr hab. Zbigniew Tabor z Katedry Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH, kierownik projektu.

Raygenic Rayspad nie tylko wspiera diagnozowanie, ale także usprawnia codzienną pracę personelu medycznego.

– W ramach testów narzędzie pozwoliło nam wykrywać zmiany patologiczne. To jak mieć dodatkowego, niezwykle uważnego asystenta, który analizuje każde zdjęcie i nie przeoczy żadnego szczegółu. Wdrożenie w pełni funkcjonalnego systemu będzie pewnie wymagało jeszcze pracy inżynierów, natomiast w nieodległej perspektywie tego typu rozwiązania mogą być dla nas, lekarzy, dużym wsparciem – mówi prof. dr hab. n. med. Rafał Obuchowicz, specjalista radiolog, uczestniczący w pilotażu w Szpitalu Uniwersyteckim w Krakowie.

Jedną z kluczowych zalet systemu jest jego niezależność od sprzętu i lokalizacji. Dzięki chmurowemu rozwiązaniu lekarze mogą analizować obrazy z różnych urzędzeń, w różnych placówkach, bez potrzeby synchronizacji danych. Interfejs aplikacji zapewnia ujednolico-

ną prezentację wyników, co eliminuje błędy wynikające z różnic w standardach poszczególnych systemów. Inspiracją do stworzenia systemu była potrzeba realnego wsparcia lekarzy w codziennej pracy. Jak podkreślają twórcy, projekt stanowi również istotny krok w kierunku cyfrowej transformacji jednostek medycznych. Zespół z AGH zapowiada dalsze prace rozwojowe, obejmujące rozszerzenie funkcjonalności systemu.

– Jesteśmy przekonani, że przyszłość medycyny to współpraca człowieka z technologią. Nasze narzędzie to dowód na to, że nauka może bezpośrednio wspierać lekarzy – efektywnie, bezpiecznie i z realnym wpływem na zdrowie pacjentów – podsumowuje dr hab. inż. Joanna Jaworek-Korjakowska, prof. AGH, dyrektor Centrum Doskonałości Sztucznej Inteligencji AGH.

Dotychczasowe prace realizowane były przez interdyscyplinarny zespół pod kierunkiem prof. Zbigniewa Tabora, specjalisty w dziedzinie analizy obrazów medycznych, prof. Joanny Jaworek-Korjakowskiej, zajmującej się zagadnieniami sztucznej inteligencji oraz dr. hab. Bartosza Zielińskiego, prof. UJ z Wydziału Matematyki i Informatyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, zajmującego się wyjaśnialną sztuczną inteligencją.

Kiedy oddech może uratować zdrowie? Sprawdźmy to!



Elektroniczny nos opracowywany w Akademii Górniczo-Hutniczej ma szansę stać się nowym narzędziem we wczesnej, nieinwazyjnej diagnostyce chorób metabolicznych. Anna Paleczek, doktorantka i członkini zespołu Laboratorium Analizy Biomarkerów (LAB) działającego w ramach Instytutu Elektroniki AGH, uzyskała finansowanie Narodowego Centrum Nauki w konkursie PRELUDIUM 24 na realizację innowacyjnego projektu, który tę technologię rozwinie.

Choroby wykrywane jednym oddechem?

Nowoczesna medycyna coraz śmielej sięga po metody jednocześnie skuteczne i przyjazne dla pacjenta. Jedną z nich jest analiza powietrza wydychanego przez człowieka. W oddechu znajdują się tysiące związków chemicznych (tak zwanych VOCs), które naszymi subtelnymi sygnałami ostrzegawczymi, mogą świadczyć o rozwijających się w organizmie zaburzeniach.

Projekt realizowany przez mgr inż. Annę Paleczek ma na celu opracowanie przenośnego, taniego i łatwego w użyciu urządzenia, które pozwoli wykryć wczesne stadia zespołu metabolicznego, obejmującego między innymi otyłość brzuszną, zaburzenia poziomu glukozy oraz nieprawidłowe stężenie cholesterolu. Wczesne rozpoznanie umożliwia zapobieganie cukrzycy typu 2 i chorobom układu sercowo-naczyniowego – dwóm największym wyzwaniom zdrowotnym współczesnego świata.

Elektroniczny nos i sztuczna inteligencja

Zespół badawczy opracował już prototyp tak zwanego elektronicznego nosa, który potrafił określić poziom cholesterolu wyłącznie na podstawie próbki oddechu. W nowym projekcie badania zostaną rozszerzone o kolejne parametry metaboliczne, takie jak glukoza, HDL, LDL czy trójglicerydy. Planowane jest przeprowadzenie eksperymentu medycznego we współpracy z jednostkami klinicznymi. W jego ramach zebrane zostaną próbki oddechu pacjentów, a następnie opracowane algorytmy AI służące do estymacji parametrów z krwi.

Do analiz użyte zostaną komercyjne czujniki gazów, specjalistyczne worki Tedlar® oraz mieszaniny gazów odtwarzające skład oddechu osób z różnymi zaburzeniami zdrowotnymi. Dane z czujników trafią do algorytmów uczenia maszynowego, które będą wyszukiwać charakterystyczne wzorce chemiczne – jeszcze zanim pacjent usłyszy pierwszą diagnozę.

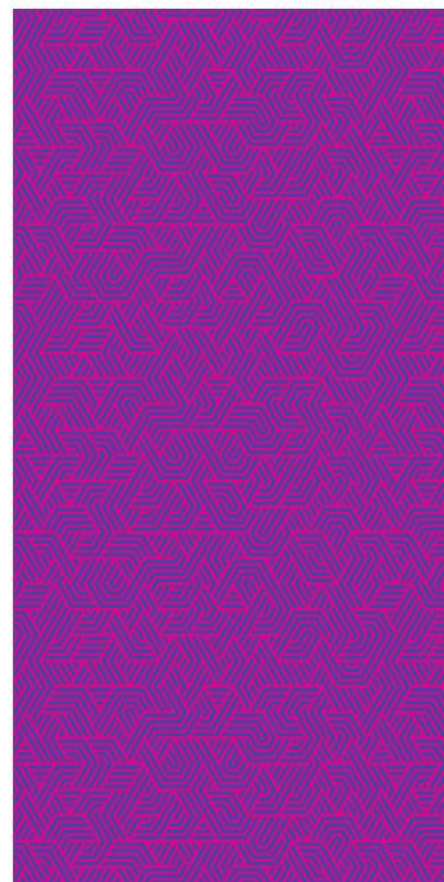
O Laboratorium Analizy Biomarkerów

Projekt realizowany jest w Laboratorium Analizy Biomarkerów w Instytucie Elektroniki na Wydziale Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji AGH. Głównym celem LAB jest prowadzenie badań nad biomarkerami w szerokim zakresie zastosowań – środowiskowych, przemysłowych i medycznych – ze szczególnym naciskiem na analizę wydychanego powietrza.

Laboratorium współpracuje z wieloma uczelniami, instytutami badawczymi i partnerami przemysłowymi, między innymi z Biosensors for Bioengineering Group z Institute for Bioengineering of Catalonia w Barcelonie, Szpitalem Uniwersyteckim w Krakowie, Collegium Medicum UJ, Politechniką Gdańską, Politechniką Warszawską, Politechniką Łódzką, Gdańskim Uniwersytetem Medycznym oraz Uniwersytetem Medycznym w Łodzi.

Dlaczego to ważne?

– Jeśli projekt zakończy się sukcesem, powstanie rozwiązanie, które może zrewolucjonizować wczesną diagnostykę chorób metabolicznych, i to w sposób całkowicie nieinwazyjny. Dzięki temu badania przesiewowe mogłyby stać się prostsze, tańsze i dostępne również dla osób mieszkających w regionach o ograniczonej opiece medycznej – podkreśla Anna Paleczek.



AGH uruchamia kwantową ochronę danych – Kraków zyskuje przewagę w cyberbezpieczeństwie



Dzięki wdrożeniu przez Akademickie Centrum Komputerowe Cyfronet AGH technologii kwantowej dystrybucji klucza Urząd Miasta Krakowa stał się pierwszą instytucją połączoną w ten sposób z centrum obliczeniowym. To przełomowy krok, który otwiera nową erę bezpiecznej komunikacji i wzmacnia rolę Krakowa jako miasta stawiającego na najdoskonalsze, bo kwantowe, rozwiązania w zakresie cyberbezpieczeństwa.

Kwantowa tarcza ochronna na rzecz Krakowa

Technologia kwantowej dystrybucji kluczy szyfrujących (zwana dalej QKD – Quantum Key Distribution) to jedna z najnowocześniejszych technologii kryptograficznych. Wykorzystuje prawa mechaniki kwantowej, by tworzyć i przesyłać klucze szyfrujące. Jej wyjątkowość polega na tym, że każda próba przechwycenia transmisji automatycznie niszczy klucz i uruchamia alarm. Klucze są generowane w czasie rzeczywistym, co eliminuje potrzebę ich przechowywania i zapewnia maksymalny poziom ochrony. Specjaliści z ACK Cyfronet AGH zaprojektowali, zbudowali i uruchomili system kwantowej dystrybucji kluczy szyfrujących pomiędzy Urzędem Miasta Krakowa a Cyfronetem AGH. Jest to pierwsze w regionie tego typu połączenie, które umożliwia przesyłanie kluczy szyfrujących, wykorzystywanych do zabezpieczania łącza sieciowego o przepustowości 100 Gbps (gigabitów na sekundę).

– Dzięki temu możliwe jest bezpieczne przesyłanie danych między instytucjami, między innymi w celu archiwizacji, wymiany baz danych, analizy danych czy wzbogacania treści serwisów informacyjnych Urzędu Miasta Krakowa – wyjaśnia mgr inż. Karol Krawentek, zastępca dyrektora ACK Cyfronet AGH ds. Infrastruktury Centrum Danych.

Cyfrowa Tarcza Krakowa – coraz mocniejsza

Kwantowa dystrybucja klucza to technologia zabezpieczeń, która znacząco wyprzedza obecne standardy. Jest to ważny krok w kierunku przeciwdziałania potencjalnym zagrożeniom związanym z wykorzystaniem przyszłych komputerów kwantowych do łamania obecnie używanych szyfrów. Tym samym technologie QKD przyczyniają się do zabezpieczania krytycznej infrastruktury Krakowa. Wdrożenie technologii kwantowej dystrybucji kluczy szyfrujących jest efektem współpracy pomiędzy Akademią Górniczo-Hutniczą a Urzędem Miasta Kra-

kowa, rozszerzając jedno z głównych założeń Cyfrowej Tarczy Krakowa, tj.: zapobiegać zagrożeniom w cyberprzestrzeni, zanim te nastąpią.

– To nie jest projekt na dziś, ale inwestycja w bezpieczeństwo Krakowa na dekady. Po podpisaniu listu intencyjnego z AGH mówiliśmy, że chcemy wyprzedzać zagrożenia w cyberprzestrzeni – dziś pokazujemy, że potrafimy przejść od deklaracji do konkretnych, przełomowych wdrożeń. Kwantowa dystrybucja kluczy to najwyższy możliwy standard ochrony danych, oparty na prawach fizyki, a nie na kompromisach. Dzięki współpracy z AGH i Cyfronetem Kraków buduje swoje cyfrowe bezpieczeństwo w oparciu o naukę, innowacje i odpowiedzialność za dane mieszkańców, stając się jednocześnie aktywnym uczestnikiem europejskich działań na rzecz bezpiecznej komunikacji przyszłości – podkreśla Aleksander Miszański, prezydent Krakowa.

Jak to działa?

– Technologia kwantowej dystrybucji kluczy szyfrujących bazuje na zabezpieczonej kwantowo komunikacji pary urzędów. Po stronie Cyfronetu jedno urządzenie generuje klucze za pomocą kwantowego generatora liczb losowych. Klucze są następnie przekazywane do szyfratora, który szyfruje połączenie pomiędzy Urzędem Miasta a Cyfronetem. Po stronie Urzędu Miasta Krakowa znajduje się drugie urządzenie, odbierające klucze i przekazujące je do lokalnego szyfratora, który odpowiada za szyfrowanie i rozkodowanie danych po stronie Urzędu – wyjaśnia Marek Chorąży, specjalista w zakresie technologii kwantowych w Cyfronetie, główny inżynier wdrożenia systemu QKD.

Technologia kwantowej dystrybucji kluczy szyfrujących jest uznawana za niemożliwą do złamania. Bazuje na prawach fizyki, a nie na matematycznych zabezpieczeniach. Oznacza to, że próba podsłuchu lub kopiowania klucza natychmiast go niszczy lub zniekształca, tym samym wykrywana jest obecność kogoś, kto chce przejąć przesyłaną wiadomość czy dane. W odróżnieniu od klasycznego szyfrowania, klucz nie istnieje jako obiekt, który można skopiować, ale jest generowany i przesy-

łany w sposób zależny od zasad mechaniki kwantowej, eliminując w ten sposób możliwość jego przechwycenia bez wykrycia.

Element większego ekosystemu

Stworzona przez specjalistów z Cyfronetu infrastruktura ochrony przesyłanych danych dodatkowo poszerza usługi oferowane przez tę jednostkę dla środowiska akademickiego i przedsiębiorców.

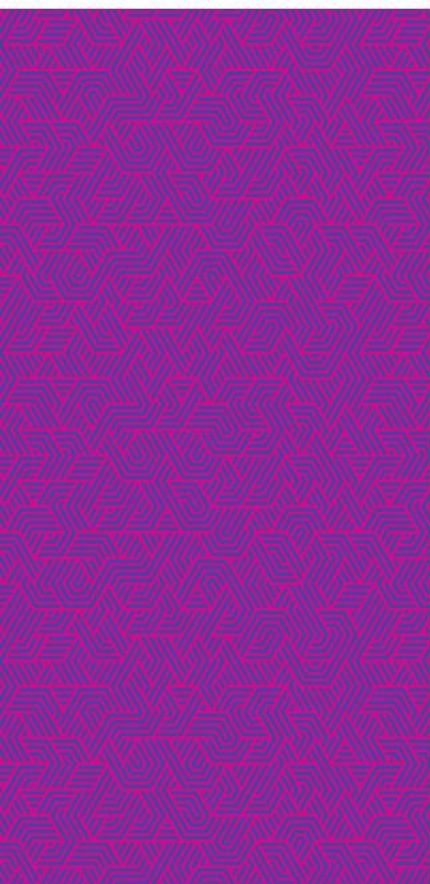
– Dbając o bezpieczeństwo przetwarzanych danych, połączenie QKD utworzono również pomiędzy głównym i zapasowym centrum danych Cyfronetu. Mając na uwadze współdzielenie zasobów obliczeniowych naszych superkomputerów Ares, Athena i Helios, a także systemów pamięci masowych, bardzo ważne jest, aby dane przesyłane między dwiema lokalizacjami posiadały najwyższy możliwy poziom zabezpieczeń – podkreśla Karol Krawentek.

Europejska infrastruktura

Wdrożenie technologii kwantowej dystrybucji kluczy szyfrujących w Krakowie pomiędzy Cyfronetem i Urzędem Miasta Krakowa jest elementem znacznie większej inicjatywy w Europie. Jej celem nie jest budowa pojedynczych bezpiecznych połączeń, lecz rozległej sieci obejmującej obszar Unii Europejskiej. W Polsce połączenia takie budowane są w ramach projektu PIONIER-Q i obejmują połączenia pomiędzy centrami komputerów dużej mocy oraz wybranymi ośrodkami miejskich sieci komputerowych. W latach 2026–2028 w ramach europejskiej inicjatywy European Quantum Communication Infrastructure (EuroQCI) Cyfronet wraz z partnerami będzie budował połączenia do krajów położonych blisko Polski. Tworzona sieć ma chronić wrażliwe dane i infrastrukturę krytyczną poprzez integrację systemów bazujących na zasadach mechaniki kwantowej z istniejącą infrastrukturą komunikacyjną, zapewniając dodatkową warstwę bezpieczeństwa.

* * *

Twórcą kwantowej dystrybucji kluczy szyfrujących jest prof. Artur Ekert, pionier kryptografii kwantowej, na co



dzień związany z Uniwersytetem Oksfordzkim i Narodowym Uniwersytetem w Singapurze. Był jednym z pierwszych naukowców, którzy zaproponowali wykorzystanie praw mechaniki kwantowej do zapewnienia bezpieczeństwa przesyłania informacji. Inżynierowie z AGH bazują zatem na metodzie odkrytej w 1991 roku. Technologia kwantowej dystrybucji kluczy szyfrujących nie jest szeroko wykorzystywana, ale rozwija się i ma strategiczne znaczenie dla bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej, komunikacji satelitarnej czy ochrony danych.

Nauka bywa nieziemsko lekka

Naukowcy z AGH przeprowadzili eksperymenty w warunkach symulujących obniżoną grawitację. Ich wyniki pozwolą lepiej poznać regolit i ułatwić kolonizację Księżyca.



Ziemia ma swoje ograniczenia – na przykład grawitacyjne. Ich pokonanie nie jest łatwe, ale jeśli samolot obierze odpowiedni tor lotu i osiągnie odpowiednie przyspieszenie, to skutki przyciągania grawitacyjnego mogą chwilowo przestać być odczuwalne. Chociaż trwa to zaledwie pół minuty, naukowcy chętnie z tej metody korzystają – bo to w zasadzie jedyny sposób, żeby odwzorować obniżoną grawitację bez udawania się poza ziemską atmosferę.

Takie loty, nazywane lotami parabolicznymi, są cyklicznie organizowane przez Europejską Agencję Kosmiczną (ESA). Naukowcy mogą wnioskować do Agencji o przyznanie grantów na lot, podczas którego będą mogli przeprowadzić badania. Zespół z AGH, działając w konsorcjum z Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk (CBK PAN) i Uniwersytetem Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie (UWM) oraz firmą wspomagającą Spacive, złożyli taki wniosek o grant na lot pod nazwą PETER-PFC, podczas którego mogliby wykonać dwa eksperymenty stanowiące kontynuację ich badań.

Celem obu eksperymentów było zbadanie zachowania regolitu, czyli warstwy materiału skalnego najbliższego powierzchni, w warunkach zbliżonych do tych panujących na Księżycu. W efekcie, podczas 88 kampanii lotów parabolicznych, zespół z AGH przeprowadził w warunkach obniżonej grawitacji dwa eksperymenty opracowane w Akademii. Do zespołu badawczego należeli mgr inż. Adam Kolusz (doktorant, główny badacz), dr hab. inż. Alberto Gallina, prof. AGH (opiekun), inż. Jakub Kopeć, mgr inż. Kamil Piecha oraz dr inż. Wojciech Teper. To debiut AGH w kampanii lotów parabolicznych organizowanych przez ESA. Projektem PETER-PFC kierował dr hab. inż. Karol Seweryn z CBK PAN. W czasie jego trwania przetestowano także urządzenie Rotary Clamshell Excavator (RCE) opracowane przez CBK PAN.

Dwa eksperymenty wysokich lotów

Pierwszy z eksperymentów przeprowadzonych podczas lotów parabolicznych to rotating drum test experiment,

czyli eksperyment bębna obrotowego. Test polegał na śledzeniu zachowania symulantów regolitu w specjalnie zaprojektowanym w tym celu bębnie. Symulanty regolitu to materiały, które zostały stworzone na wzór prawdziwego regolitu księżycowego, a więc w taki sposób, by były jego jak najwierniejszą kopią – mają mieć te same właściwości i tak samo reagować na określone warunki środowiska.

Symulanty tworzy się na bazie prawdziwego regolitu pobranego i przetransportowanego na Ziemię z powierzchni Księżyca w czasie misji Apollo. Łączna waga próbek regolitu znajdujących się obecnie na Ziemi to około 400 kg, z czego większością dysponuje NASA, a niewielka część pochodzi z chińskich misji księżycowych. Pozyskanie niewielkiej ilości do badań jest możliwe, ale w badaniach, które wymagają większej ilości materiału, naukowcy posługują się właśnie symulantami. Jeden z nich (AGK2010) został opracowany we współpracy AGH z CBK. Podczas eksperymentu w warunkach obniżonej grawitacji każdego dnia testowano inny symulant.

Zaprojektowany bęben został natomiast wyposażony w kamery wysokiej rozdzielczości, które pozwalają obserwować, co dzieje się w jego wnętrzu, i później szczegółowo analizować obraz. Dzięki temu naukowcy będą mogli prześledzić i przeanalizować na przykład charakterystyczne kąty nachylenia powierzchni regolitu, w zależności od różnych prędkości obrotowych. Adam Kolasz zaprojektował też oprogramowanie, które pozwoliło śledzić poruszanie się poszczególnych ziarenek piasku.

Drugim eksperymentem przeprowadzonym podczas lotów był blade cutting test, czyli test cięcia regolitu ostrzem. W uproszczeniu polegał on na skrawaniu regolitu umieszczonego w przeszklonym pojemniku i obserwacji, w jaki sposób regolit podczas przekopywania kształtuje się w kopce. Analizowano także wewnętrzne płaszczyzny załamania (ang. failure planes), czyli to, jak grunt układał się w głębi, bo takie dane mogą pozwolić lepiej skalibrować modele. Skrawanie odbywało się automatycznie po uruchomieniu mechanizmu wyposażonego w specjalną łopatę, a cały proces był monitorowany za pomocą kamer o wysokiej rozdzielczości.

Dodatkowym atutem drugiego eksperymentu było to, że dał on sposobność przetestowania nowoczesnych czujników na bazie MXenów, które miały precyzyjnie mierzyć siłę nacisku na regolit. Ta sama technologia

była zastosowana w opasce opracowanej przez naukowców z AGH, którą Sławosz Uznański-Wiśniewski testował na orbicie podczas misji IGNIS. Badacze porównywali ten czujnik z innym komercyjnym czujnikiem (zmieniającym rezystancję pod wpływem nacisku), by sprawdzić, czy ten MXenowy sprawdzi się w wykrywaniu takich drobnych sił, o jakich mowa w przypadku skrawania regolitu. Odpowiedzialny za tę część był Jakub Kopeć z Wydziału Technologii Kosmicznych AGH. „Główną ideą eksperymentów jest to, żeby usprawnić proces modelowania i budowania maszyn” – zaznacza prof. Alberto Gallina, opiekun projektu.

Każde ziarenko się liczy

Jeżeli chcemy wystąpić na Księżyc na przykład łazik, przetestowanie go w ziemskich warunkach może okazać się niewystarczające. Nawet jeśli użyjemy do testów regolitu o odpowiednich właściwościach, słabsza grawitacja poza ziemią może spowodować, że z dala od naszej atmosfery urządzenie będzie działać inaczej. Łazik, który na Ziemi sprawnie kopie w regolicie, może mieć z tym kłopot w warunkach księżycowych, gdzie w wyniku zmiany grawitacji i innych czynników zewnętrznych proces będzie przebiegał nieco inaczej. Adekwatne przewidzenie zachowania mechanicznego regolitu może pozwolić odnajdywać lepsze, bardziej skuteczne narzędzia.

W projektowaniu narzędzi przeznaczonych do wykorzystania w warunkach pozaziemskich przydatne byłyby modele liczbowe, które pozwoliłyby sprawdzić wpływ grawitacji bez konieczności wysyłania sprzętu poza Ziemię. Tymczasem wciąż nie mamy wystarczającej ilości danych, by móc komputerowo modelować ze szczegółami zachowanie mechaniczne regolitu na przykład na Księżycu. Dane pozyskane z eksperymentów opracowanych w AGH i przeprowadzonych w warunkach obniżonej grawitacji mają pomóc w skalibrowaniu modeli numerycznych. „Chodzi o to, żeby wyciągnąć jak najwięcej mierzalnych właściwości z tych eksperymentów i porównać je z symulacjami” – tłumaczy Adam Kolasz, uczestnik lotów i główny badacz zespołu. Z tego względu w obu eksperymentach testowano też, jak prędkość obrotów bębna czy prędkość i kąt cięcia wpływają na wyniki.

Jeśli powstanie taki precyzyjny model, obserwacja zachowania regolitu w zależności od zmiany siły grawitacji będzie wymagała tylko zmiany ustawień, jednego

kliknięcia. W przyszłości takie rozwiązanie mogłoby znacząco skrócić czas opracowywania nowych urządzeń i narzędzi z przeznaczeniem do użytku kosmicznego, a także znacząco zmniejszyć koszty opracowania ich finalnych wersji. Ewentualne problemy mogłyby zostać wykryte jeszcze na etapie projektu, a nie już po wystąpieniu urządzenia poza ziemską orbitę – a jako że koszty takiego przedsięwzięcia wciąż są niebagatelne, to oszczędność wydaje się ogromna.

Wsparcie dla naukowców w tym zakresie stanowił dostęp do PLGrid (czyli ogólnopolskiej infrastruktury obliczeniowej zbudowanej w celu wsparcia badań naukowych i prac rozwojowych dla wielu dziedzin nauki i gospodarki) oraz infrastruktury Cyfronetu AGH pod postacią bardzo mocnych komputerów obliczeniowych, dzięki którym byli w stanie pracować nad modelami DEM (discrete elements method), czyli takimi, które pozwalają modelować zachowanie każdej cząsteczki oddzielnie.

Tego typu badania wpisują się w rozwijający się trend ISRU (in-situ resource utilization), czyli wykorzystywania do budowania na innych ciałach niebieskich infrastruktury z wykorzystaniem naturalnie występujących na nich surowców. Jako że na Księżycu są duże zasoby regolitu, naturalna jest potrzeba dokładnego przebadania jego właściwości. To ułatwi opracowanie odpowiednich rozwiązań, które będą zawczasu gotowe, kiedy możliwe będzie ich wdrożenie. Zdaniem prof. Alberta Galliny to nie pieśń odległej przyszłości, ale plany na najbliższe lata. Trwają prace nad pozyskiwaniem z regolitu tlenu czy metali oraz opracowywania z jego wykorzystaniem paliwa. Niedługo mają odbywać się pierwsze misje, których celem będzie rozpoczęcie budowy pozaziemskiej infrastruktury na Księżycu. W końcu te kroki mają doprowadzić do założenia pierwszych pozaziemskich osad. Ze względu na brak atmosfery i słabą grawitację Księżyc stanowiłby także świetną bazę wypadową wycieczek na inne planety.

Trudna do opisanego lekkość

Podczas jednego lotu parabolicznego warunki obniżonej grawitacji, czyli $\frac{1}{6}$ wartości tej ziemskiej, utrzymują się przez około pół minuty – tyle czasu mają naukowcy, by przeprowadzić eksperyment, który zaplanowali. Wymaga to dużej precyzji na etapie projektowania.

Chociaż podczas każdego lotu warunki mikrogravitacji trwają tak krótko, kampania trwa trzy dni, a każdego dnia odbywa się 30 lotów – co sumarycznie daje 45 minut trwania eksperymentów. Każdy lot paraboliczny składa się z trzech etapów. Pierwszy etap to stabilny lot, kiedy ciężar pozorny, a więc siła, z jaką ciało naciska na podłoże, wynosi 1 g, czyli tyle, co na Ziemi. Później piloci doprowadzają do uniesienia kąta samolotu, a przeciążenie w ciągu 30 sekund wzrasta do 1,8 g, czyli ciężar pozorny na pokładzie samolotu jest wtedy prawie dwukrotnie większy niż na Ziemi. W momencie wejścia na parabolę, którą rysuje w powietrzu samolot, na pokładzie odczuwalne są warunki niskiej grawitacji, czyli około $\frac{1}{6}$ g.

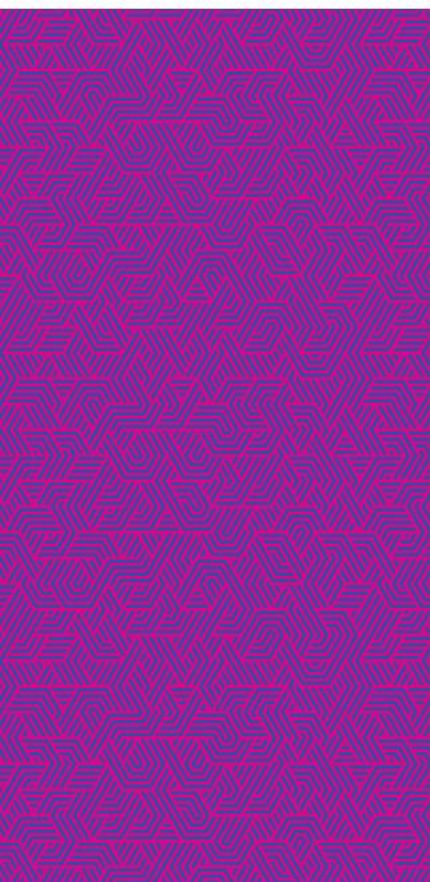
– To jest dość duży spadek, w którym człowiek dosłownie czuje, jakby zaczynał się unosić, więc moje pierwsze wrażenia były takie, żeby się czegoś od razu złapać, ponieważ jak mamy wszystkie wnętrzności trochę zepchnięte przez te większe g, hipergravitację, to później nagle jest to wrażenie lekkości. Wszystko wydaje się łatwe do zrobienia – czy to pompka, czy podciągnięcie się na jednej ręce – opowiada Adam Kolusz. – Może to trochę podobne wrażenie do chwili podczas spadania na bungee, ale trudne do porównania, bo tutaj nie ma oporów powietrza – wyjaśnia.

Czy wrażenie jest przyjemne? „Bardzo!” – przyznaje. Dodaje jednak, że pokonanie kilkudziesięciu takich parabol dziennie to dla organizmu duże wyzwanie. Chociaż podczas misji nie ma wiele czasu, uczestnicy mieli możliwość skorzystania ze specjalnej klatki ogrodzonej siatkami, w której mogli swobodnie doświadczać zmian przeciążenia. Musieli jednak uważać, by nie wywoływać za dużych wibracji, które mogłyby zaburzyć przebieg innych eksperymentów.

Dobra wróżba na przyszłość

Prof. Alberto Gallina podkreśla, że projekt jest efektem dobrej współpracy wielu badaczy z różnych wydziałów AGH – Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Wydziału Technologii Kosmicznych oraz Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu.

Część zastosowanych w projekcie rozwiązań z zakresu elektroniki, oprogramowania czy systemu wizyjnego



została wykonana przez firmę Queed R&D House, założoną przez głównego badacza zespołu, byłego studenta i obecnego doktoranta AGH, Adama Kulusza.

– Ten projekt był wyzwaniem, ale jego efektem było stanowisko, które działało niezawodnie i pozwoliło zakończyć kampanię testową z sukcesem. Planujemy wciąż go używać, żeby kontynuować prace naukowe, i mamy nadzieję, że jeszcze raz zgłosimy się do ESA. W najbliższym czasie czeka nas natomiast intensywna analiza zgromadzonych danych – podsumowuje prof. Alberto Gallina.

Laboratorium Geoenergetyki pozyskuje dla AGH energię ze skorupy ziemskiej

Nie tylko służą prowadzeniu badań naukowych w kierunku poszukiwania optymalnych rozwiązań dla geoenergetyki, ale również pomagają w ogrzewaniu i chłodzeniu budynków na kampusie AGH. Otworowe wymienniki ciepła wraz z towarzyszącym im zapleczem technicznym, które należą do Laboratorium Geoenergetyki przy Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, w dobie wzrostu zapotrzebowania na energię odnawialną są przykładem nowoczesnych i inspirujących rozwiązań umożliwiających efektywne wykorzystanie podziemnych zasobów ciepła.



Pięć otworów znajduje się pomiędzy budynkami A-3 i A-4 i tworzy „poletko energetyczne A”. Każdy ma głębokość 78,5 m i za pośrednictwem dwóch pomp ciepła wytwarzają łącznie 26 kW mocy grzewczej. Tutaj zlokalizowanych jest również pięć kolektorów słonecznych, których zadaniem jest regenerowanie zasobów ciepła pobieranego z górotworu, jak w terminologii górniczej określa się grunty i skały poniżej powierzchni terenu. Kolejnych czternaście otworów o głębokości 84,5 m każdy oraz dwa o głębokości 30 m, które tworzą „poletko B”, zlokalizowanych jest natomiast pomiędzy pawilonami A-4 i D-2 i dostarcza wraz z pompami ciepła ponad 100 kW mocy grzewczej.

„Poletko A” wykorzystywane jest do ogrzewania i chłodzenia sali audytorijnej na 150 osób w budynku A-4, a także może dostarczać zimą ciepło do podgrzewania sąsiadującej z nim płyty parkingowej o powierzchni 250 m². Dzięki tej funkcjonalności wyjazd samochodów z pobliskich garaży jest możliwy bez dodatkowego odśnieżania płyty. Instalacja ta jest również zaprojekto-

wana w taki sposób, że działa jak kolektor słoneczny i może być także wykorzystywana do odtwarzania podziemnych zasobów ciepła. „Poletko B” pełni natomiast rolę źródła ciepła i chłodu dla pawilonu D-2.

W ramach „poletka B” powstały również dwa horyzontalne wymienniki ciepła, które zostały wykonane na głębokości około 2 m pod powierzchnią terenu i ciągną się na długości 114 i 40 m odpowiednio wzdłuż budynków A-4 i C-4 oraz od A-4 do D-2.

Zasoby ciepła pod powierzchnią terenu

Zdobywające coraz większą popularność na rynku energetycznym otworowe wymienniki ciepła wykorzystują fakt, że wraz ze wzrostem głębokości odwiertu notowana temperatura górotworu rośnie przeciętnie co 100 m o 3°C. Nieco inaczej ma się sytuacja w przypadku wymienników horyzontalnych, które bazują na zjawisku podziemnych miejskich wysp ciepła, czyli nagrzewania się górotworu w wyniku działania miejskiej

infrastruktury generującej ciepło odpadowe oraz promieniowania słonecznego. Dlatego pozyskiwanie ciepła w tej technologii nie wymaga tworzenia głębokich odwiertów pionowych, co znacząco obniża koszty wykonania instalacji.

Aby odebrać ciepło z górotworu, do otworów wiertniczych wprowadza się rurki, przez które przepływa nośnik ciepła, najczęściej w postaci roztworu glikolu o obniżonej temperaturze zamarzania. Rurki tworzą zamknięty obieg między otworami a znajdującymi się w budynkach pompami ciepła. Cyrkułujący w nich glikol jest chłodniejszy od górotworu, więc odbiera z niego ciepło, a następnie oddaje je w pompach ciepła. Schłodzony w ten sposób czynnik roboczy zatłaczany jest z powrotem do otworów i cały cykl zaczyna się od początku.

W pompie ciepła odbiór energii cieplnej odbywa się w tak zwanym parowniku, gdzie ciepło dostarczone z górotworu służy do odparowania innego czynnika roboczego, który krąży w pompie w kolejnym zamkniętym obiegu. Powstałe w ten sposób pary kierowane są do sprężarki, gdzie w wyniku sprężenia wzrasta ich ciśnienie, a co za tym idzie, także temperatura. Przekonwertowane w ten sposób ciepło, które jest odbierane od pary czynnika roboczego w kolejnym kroku w tak zwanym skraplaczu, może zostać wykorzystane do ogrzewania budynków i wody użytkowej. Działanie pompy ciepła często porównuje się do działania lodówki à rebours – z tą różnicą, że tak zwane rewersyjne pompy ciepła pozwalają również na odbieranie ciepła z budynku w celu jego chłodzenia. W tego rodzaju układach ciepło pompowane jest latem w przeciwną stronę niż zimą, a górotwór w zależności od pory roku funkcjonuje jako magazyn ciepła lub chłodu.

Ciepło można odbierać nawet z lodu

Ze względu na to, że czynnik roboczy wykorzystywany w pompach ciepła charakteryzuje się niską temperaturą parowania, do efektywnego działania tych urządzeń wystarcza pobór ciepła o relatywnie niewielkiej temperaturze. Dzięki temu pompy ciepła mogą pracować nawet w rejonach podbiegunowych.

– Otworowe wymienniki ciepła mogą być równie dobrze wykonane w lodzie. Jeżeli na przykład ma on temperaturę -10°C , a my schłodzimy go do -15°C , odbierzemy wówczas ciepło niskotemperaturowe, które pompa ciepła jest w stanie zamienić na ciepło użyteczne. Trzeba jednak wziąć tu pod uwagę fakt, że koszt pracy pompy ciepła jest tym wyższy, im niższą temperaturę ma ciepło pozyskiwane z otoczenia. W przypadku urządzeń, które pobierają ciepło z takich otworów, jakie mamy w AGH, jego koszt stanowi około $\frac{1}{4}$ kosztu prądu elektrycznego zasilającego pompę ciepła. Gdybyśmy pozyskiwali ciepło z otworów w lodzie, wynosiłoby on na przykład $\frac{1}{2}$ kosztu energii zasilającej. Na wiecznej zmarzlinie na Syberii czy na północy Kanady to jak najbardziej się sprawdza. Używane tam wymienniki otworowe mogą korzystać również z ciepła przemiany fazowej, czyli przejścia z wody w lód lub odwrotnie, co korzystnie wpływa na efektywność energetyczną tych instalacji (na północnych rubieżach chłód też się czasem przydaje). Rozwiązania, które w danym otoczeniu są bardzo użyteczne, w innym mogą być zupełnie pozbawione sensu – tłumaczy dr hab. inż. Tomasz Śliwa, prof. AGH na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, twórca i kierownik Laboratorium Geoenergetyki w AGH.

Świetne warunki dla geoenergetyki w AGH

Pierwsze wiercenia pod instalację wymienników ciepła wykonano w AGH w 2008 roku, korzystając z grantu pozyskanego przez prof. Śliwę i prof. dr. hab. inż. Andrzeja Goneta ze środków budżetu państwa. Wtedy również dokonano zakupu oraz montażu aparatury niezbędnej do praktycznego zagospodarowania podziemnych zasobów ciepła. W późniejszych latach wykorzystane zostały także środki z programu Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza¹. Pytania o opłacalność inwestycji musiały przynieść pozytywny rezultat, ponieważ warunki geologiczne na terenie uczelni są korzystne dla tego typu inwestycji.

¹ Ze środków IDUB sfinansowane zostały dwa otwory z bezpośrednim parowaniem, dublet studni, dwa horyzontalne wymienniki ciepła oraz dwie pompy ciepła pracujące w ramach opisanego w tekście „poletka B”, pomiędzy pawilonami A-4 i D-2.

– Działanie otworowych wymienników ciepła jest w pewnym sensie niezależne od geologii, jednak w zależności od warunków trzeba wykonać mniej lub więcej otworów dla danego obiektu. W naszym obszarze geograficznym gorsze warunki występują tam, gdzie skały charakteryzują się małym przewodnictwem cieplnym i są suche, najlepsze natomiast w tych miejscach, gdzie posiadają wysoką przewodność cieplną i zawierają wodę – zwłaszcza wtedy, kiedy płynie ona przez warstwy wodonośne. Właśnie takie warunki występują pod całym kampusem AGH, gdzie intensywnie filtrowana warstwa wodonośna mieści się w interwale głębokościowym od 3 do 15 m pod powierzchnią terenu. Pod tym względem nie ma więc żadnych przeszkód, żeby taką inwestycję tutaj rozwijać – opisuje prof. Śliwa.

Przy projektowaniu i wykonywaniu prac większe obawy budziło ryzyko uszkodzenia znajdującej się w gruncie infrastruktury technicznej, zwłaszcza wobec niedostatku dokumentacji na jej temat, co stanowi nie tylko lokalny problem.

– Jej gęstość jest tak duża, że zwłaszcza przed wierceniem otworów horyzontalnych baliśmy się, żeby w coś nie trafić. Ponadto do głębokości dwóch metrów w miastach można spodziewać się przeróżnych „niespodzianek” – jeżeli zaistniały przed rokiem 1990, nie były wprowadzane na mapy geodezyjne i tak też jest w przypadku AGH. Akurat więc w tym aspekcie wybrana lokalizacja nie była najlepsza, ale mimo to udało się wszystko zrobić bez uszkodzenia niczego po drodze – podkreśla kierownik Laboratorium Geoenergetyki.

Badania i demonstracja możliwości technicznych

Choć otworowe wymienniki ciepła z powodzeniem realizują utylitarne cele, głównym motywem utworzenia instalacji w AGH było prowadzenie na nich badań naukowych. Obserwując działanie instalacji, badacze dowiadują się, jak różne rozwiązania konstrukcyjne zastosowane w wymiennikach oraz konfiguracja parametrów eksploatacyjnych, na przykład prędkość przepływu czynnika roboczego – roztworu glikolu, wpływają na efektywność poboru ciepła (moc grzewczą z jednego

metra otworu). Na potrzeby badawcze w wymiennikach zastosowano rury o różnym rodzaju i grubości, a także użyto różnych materiałów do uszczelnienia otworów wiertniczych. Wiercenia przy budynku D-2 zostały również wykonane pod różnymi kątami względem poziomu terenu.

– Badań prowadzimy mnóstwo i co warto podkreślić, są one prawie cały czas realizowane z udziałem studentów, ponieważ od 1998 roku pełnię również funkcję opiekuna Koła Naukowego „GEOWIERT”, które powstało w 1954 roku i jest jednym z najstarszych kół naukowych w AGH. Studenci później na podstawie prowadzonych badań piszą prace inżynierskie i prace magisterskie. Zaczęło się to jeszcze na wiele lat przed tym, nim udało mi się utworzyć studia podyplomowe i kierunek studiów stacjonarnych z geotermii. Sami również skupiamy się ostatnio na interpretacji uzyskanych wyników i publikacji naszych wniosków w prestiżowych czasopismach naukowych – mówi kierownik prof. Śliwa.

Uzyskana wiedza przydaje się również, kiedy Laboratorium Geoenergetyki proszone jest o przeprowadzenie ekspertyz mających określić potencjał do wykorzystania otworowych wymienników ciepła w danej lokalizacji. Takich komercyjnych zleceń jednostka wykonuje kilkanaście rocznie. Ale to nie jedyny wkład, jaki wnosi we wspieranie rozwoju geoenergetyki. W zamyśle prof. Śliwy wprowadzane na terenie AGH rozwiązania mają również służyć za przykład dobrych praktyk dla wykonawców świadczących usługi na rynku w tej dziedzinie.

– Co roku organizuję konferencję, na którą przyjeżdża już ponad 100 osób, gdzie pokazuję nasze instalacje. Projektanci, nie znając takich możliwości, wykonują swoją robotę po dawnemu, wykorzystując głównie otwory pionowe, i to bez inwencji twórczej. Tu chcę im pokazywać, że można inaczej, uzyskując większą efektywność pracy otworów, a tym samym instalacji grzewczych, a zwłaszcza grzewczo-klimatyzacyjnych – wyjaśnia.

W celu upowszechniania pozyskanej przez swój zespół wiedzy naukowiec z AGH założył serię wydawniczą „Laboratory of Geoenergetics Book Series”. Publikacje

wydawane pod jej szyldem finansowane są z różnych środków, także od sponsorów, i rozprowadzane nieodpłatnie wśród osób studiujących geotermię. Dotychczas ukazało się w ten sposób pięć książek, a dwie kolejne są w końcowej fazie redagowania.

Chodziło o zagospodarowanie nieczynnych odwiertów

Prof. Śliwa geoenergetyką zainteresował się w latach 90. XX wieku jeszcze podczas studiów na kierunku wiertniczym w AGH. Inspiracja przyszła ze strony prof. dr. inż. Stanisława Juchy, który przekazał wówczas studentowi pierwsze informacje na temat możliwości wykorzystania zasobów ciepła tkwiących pod ziemią do celów energetycznych. Tomasz Śliwa zdecydował się wówczas na indywidualny tok studiów w tym kierunku pod opieką prof. Andrzeja Goneta, dobierając do realizowanego programu studiów dodatkowe przedmioty, związane między innymi z ciepłownictwem. W tym celu też, już w 1999 roku, zdobył uprawnienia audytora energetycznego.

Swoje zainteresowania z czasu studiów zaczął rozwijać jako asystent:

– Chodziło wówczas głównie o to, żeby nie likwidować nieczynnych otworów służących do wydobycia ropy i gazu czy wierconych w celach poszukiwawczych. Takich odwiertów istnieją na świecie miliony, jeśli nie dziesiątki milionów – ich zamykanie to olbrzymie koszty, więc lepiej je w jakiś sposób zagospodarować. Skupiałem się wtedy

na możliwościach ich wykorzystania do czerpania energii geotermalnej, ale dziś dostrzegam też inne możliwości ich wtórnego użycia – na przykład jako grawitacyjnych i ciśnieniowych magazynów energii. Dysponujemy również w AGH trzema takimi otworami o głębokości 30 m, które służą do demonstracji możliwości tej technologii.

Kiedy prof. Śliwa zaczynał swoją przygodę z geoenergetyką, często spotykał się w środowisku naukowym z niezrozumieniem dla wyboru ścieżki kariery w tym kierunku. Niejednokrotnie sugerowano mu wówczas, żeby zamiast tego skupił się na zagadnieniach związanych z pozyskiwaniem tradycyjnych paliw kopalnych. Konieczność ich zastąpienia zielonymi źródłami energii, w związku z walką z globalnym ociepleniem, nie była jeszcze w tamtych czasach tak mocno podkreślana jak obecnie.

– Dziś geoenergetyka jest bardzo na czasie ze względu na sytuację geopolityczną i związane z nią dążenia do dywersyfikacji źródeł energii, a także potrzebę ochrony środowiska. Temat jest bardzo promowany w Unii Europejskiej, więc nasze prowadzone od wielu lat badania w tym zakresie wstrzeliły się w to, co aktualnie jest na topie. Ale równie dobrze mogło być inaczej – w nauce nie zawsze ma się szczęście. Mogę się tylko cieszyć, że zająłem się dawno temu czymś, co wówczas w Polsce budziło zainteresowanie jedynie bardzo wąskiej grupy specjalistów, a obecnie procentuje – mówi prof. Śliwa.



Silver gaming: an alternative to TV for seniors

“The use of screen media by seniors usually consists in many hours spent in front of a TV screen. I would prefer them to make an effort to use interactive media such as digital games,” says Dr Damian Gałuszka from the Faculty of Humanities, author of a monograph on the role of digital games in the life of seniors, published by AGH University Press.



Smart mountains. AGH University scholar develops an intelligent mountain rescue aid system

Although a common motive for trips to the mountains is an escape from the civilisation, nowadays they are only little less saturated with electronics than large metropolises. In addition, we are the ones who bring it with us. Dr Radosław Klimek, associate professor at AGH University, took advantage of the fact when developing a computer system monitoring the safety of tourists. By using localisation data, the application can alert rescuers about someone lost on the trail or caught in severe weather. It may accelerate the decision to send a rescue team in situations when getting help on time is of the essence.



Photoprotective potential of a newly discovered vitamin E derivative studied at AGH University

Although the range of vitamin E compounds is vast, only one of them is used in cosmetics: α -tocopherol. Dr Renata Szymańska, associate professor at the Faculty of Physics and Applied Computer Science, checks whether the effectiveness and stability of formulas may be improved by replacing it with a recently discovered homologue with promising properties.



AGH University student studies Li-ion batteries in the stratosphere

A small device, a station, that may be lifted into the air by a weather balloon to study accelerated degradation of battery cells under low temperature and pressure conditions – this is a brief description of an invention by an AGH University student, which collects data to support the development of space, transportation, and military technologies.



Solution to the rescue of firefighters

Uniforms keep firefighters safe on duty; however, more and more is known about the long-term negative effects of their use. Dr Piotr Szewczyk from the Faculty of Metals Engineering and Industrial Computer Science has an idea for nonwoven fabrics which could be used in uniforms without causing side effects.



How to breathe life into roofs

Although they meet their key function of providing protection, it does not exhaust their potential. According to AGH University researchers, roofs are the perfect place to take advantage of the aggregates they have developed and restore greenery in city centres.



How to examine a 500-year-old sketch by Michelangelo and not damage it?

What do *The Scream* by Edvard Munch, Adam Mickiewicz's letters, the tapestries in the Wawel Castle, the 15th-century Gutenberg's Bible, Egyptian sarcophagi, Michelangelo's sketches, the Constitution of 3 May 1791, and the oldest surviving wooden residential house have all in common? All these pieces have been studied by a researcher from the AGH University of Krakow. Dr Tomasz Łojewski from the Faculty of Materials Science and Ceramics has studied the most valuable and unique works of art in the world with non-invasive methods.



Bielik – the first Polish language model developed at AGH University

The AGH University Academic Computer Centre Cyfronet has provided the computational resources of the two fastest supercomputers in Poland, Helios and Athena, for the purpose of creating Bielik, the first Polish language model.



Plants on a wire of AGH University acousticians

Together with employees from the Department of Horticulture at the Wrocław University of Environmental and Life Sciences, AGH University researchers examine whether plants emit sounds, inaudible to the human ear, indicative of stress in cases such as water shortage, excessive dryness, or pest attacks. To help the plant specialists with the task come the acousticians from AGH University who are able to register sounds generated by plants with the use of specialist microphones sensitive to ultrasounds.



How to design climate-resilient investments?

Global warming leads to increasingly more frequent extreme weather conditions, such as droughts and torrential rains, which also occur in our part of Europe. A team of researchers from AGH University and the Technical University of Košice is currently working on new methods of environmental impact assessment to better prepare upcoming investments for the challenges ahead.



Hydrogen deposits may be widespread in Poland, AGH University researchers say

The coming years will show whether white hydrogen will play a significant role in the future hydrogen economy. Experts from the Department of Energy Resources at the Faculty of Geology, Geophysics, and Environmental Protection shared their insight into the search for and prospect of exploiting underground hydrogen deposits.



Bioimplants that help regenerate osteochondral defects

Cartilage tissue in joint spaces degrades due to degenerative processes, and the body is unable to repair the resulting damage on its own. Researchers from the AGH University of Krakow have an idea on how to support its regeneration by delivering biomaterials that activate natural regenerative processes to the affected area.



What is the air quality in Krakow? AGH University team studies PM2.5 using a synchrotron

A team of AGH University researchers conducted the very first study of particulate matter (PM) in Poland using XANES. The innovative method allows precise identification of the chemical forms of elements present in PM. This knowledge enables the identification of sources of air pollution and the assessment of their impact on health and the environment.



Toward a better cancer treatment

Once emitted, a radiation dose cannot be reversed. But what if we were able to see exactly what it does before it reaches the patient's body? The Dose-3D project was established so that radiation doses could be assessed many times, but on a phantom. As a result, physicians would be sure to adopt the optimal treatment plan. A prototype of the device is ready, but its launch is far ahead. Professor Tomasz Szumlak from the Department of Particle Interactions and Detection Techniques at the Faculty of Physics and Applied Computer Science, the project manager, spoke to us about its genesis, development, and capabilities.



Lead brought us closer to the Big Bang

A team of researchers from AGH University has detected the presence of top quarks in an unprecedented way. The observation was reported in the prestigious *Physical Review Letters*, and it will help us better understand the very first moments of our universe.



How to obtain water on Mars

Transporting water from Earth would be costly and impractical, but luckily, the Red Planet hides reserves of ice beneath its surface. Researchers from the AGH University of Krakow have developed and patented a system to obtain water from the icy deposits.



Material that knows what to do. Effect of international cooperation and unconventional chemistry

Some structural failures could have been prevented if strains in the structure of buildings had been observed and adequate steps had been taken just in time. So far, no solutions have been implemented to monitor strains in real time. What if the colour of the paint on a bridge would change in response to strains in its structure? That is merely one potential application of an intelligent material that was developed in joint research of three universities, including AGH University.



MXene bands back from space

Although we still have to wait for complete results, the testing phase has run smoothly. MXene wristbands developed at AGH University will not only be capable of monitoring astronauts' vital signs in the future but also of helping patients here on Earth.



Analysis of spatial data to enhance safety in large cities

Complex, with extensive infrastructure – modern cities are spaces where ensuring the safety of residents remains one of the key challenges. Although initially used in sciences related to geography, econometrics, or fields in which geographical coordinates play a substantial role, spatial data analysis comes in handy in a variety of other disciplines. One of the areas where data analysis finds an effective use is research aimed at increasing the safety of city inhabitants.



Prototype of a house powered solely by hydrogen and solar energy developed at AGH University

How to ensure energy independence and autonomy and obtain solar power sustainably – these questions have been answered by researchers from AGH University. An interdisciplinary team led by Professor Magdalena Dudek from the Faculty of Energy and Fuels and industrial partners of the project created the first prototype of a house powered by electricity from a photovoltaic installation. In case of a shortage, energy is drawn from battery accumulators or a hydrogen-oxygen fuel cell. The hydrogen is produced on-site in an electrolyser and stored in tanks.



AI-assisted project to help doctors in diagnostic imaging

A cutting-edge AI-based diagnostic tool has been developed at AGH University to support medical personnel in image analysis, such as CT scans and magnetic resonance imaging, reducing the time required for diagnosis and increasing its precision.



A breath to preserve your health

An electronic nose developed at AGH University has the opportunity to become a new tool in early non-invasive diagnostics of metabolic diseases. Anna Paleczek, a doctoral student and a member of the Biomarkers Analysis Lab at the AGH University Institute of Electronics, obtained funding from the National Science Centre (NCN) as part of the PRELUDIUM 24 call for the implementation of an innovative project to develop the technology.



AGH University launches quantum data protection. Krakow gains an edge in cybersecurity

Due to the implementation of quantum key distribution by the AGH University Academic Computer Centre Cyfronet, the City of Krakow has become the first entity connected this way to a computing centre. This is a significant step that marks the beginning of a new era of secure communication and reinforces Krakow's position as a city dedicated to the most advanced quantum cybersecurity solutions.



Defying gravity with lunar regolith

Researchers at AGH University have conducted experiments under conditions that simulate reduced gravity. Their results may facilitate the colonisation of the Moon.



Energy for AGH University from the Earth's crust

Not only do they serve for conducting research on optimal geoenery solutions, but they also help in heating and cooling university buildings. Borehole heat exchangers, along with their supporting technical infrastructure within the Geoenergetics Lab at the AGH University Faculty of Drilling, Oil, and Gas, are a prime example of novel, inspiring solutions for the efficient use of underground heat resources at a time of increasing demand for renewable energy.

Zapraszamy do współpracy
www.cwitt.agh.edu.pl

Oferta studiów podyplomowych
www.podyplomowe.agh.edu.pl

AGH Nauka spotkania
www.agh.edu.pl/nauka/agh-nauka-spotkania

Bunkier Nauki
www.agh.edu.pl/nauka/bunkier-nauki



Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
AGH University of Krakow