

INNOVATOR

AGH

Osiągnięcia  
naukowe



# INNOWATOR

AGH

2022

Osiągnięcia  
naukowe

*Oddajemy w Państwa ręce przegląd wybranych najciekawszych osiągnięć naukowych, które w ostatnim czasie stały się udziałem badaczy z AGH. Choć z konieczności selektywny, ukazuje on przekrój dziedzin i dyscyplin, w których najwięcej się u nas dzieje – zarówno w sferze pomysłów, prac i odkryć, jak i ich realizacji w obszarze przemysłu czy gospodarki.*

*Sukcesem naukowca bywa nie tylko udane wdrożenie wyników jego badań, ale także samo ich rozpoczęcie, umożliwiające uzyskaniem określonej subwencji czy wejściem w skład zespołu realizującego grant. Środki finansowe przyznawane przez gremia Narodowego Centrum Nauki, Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, Ministerstwa Edukacji i Nauki czy wreszcie pochodzące z programu Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza potwierdzają potencjał wywodzących się z AGH projektów.*

*Ze specyfiki profilu naszej uczelni wynika, że prowadzone tu badania mają w większości zarówno walory poznawcze, jak i aplikacyjne. Dlatego staraliśmy się opisać je na szerszym tle, tak by ukazać ich osadzenie i zastosowanie w otaczającej nas rzeczywistości. Z obrazu tego wyłania się wniosek, że projekty badawcze naszych pracowników, doktorantów i studentów odpowiadają na jej różnorodne wyzwania – od cyfryzacji praktycznie wszystkich dziedzin życia, poprzez kwestie związane z eksploatacją środowiska naturalnego i transformacją energetyczną, aż po problemy społeczne i choroby cywilizacyjne.*

*Mam nadzieję, że publikacja ta – i ukazane w niej osiągnięcia inżynierii materiałowej, inżynierii biomedycznej czy informatyki – będzie zachętą dla naukowców i przedsiębiorców, którzy chcieliby nawiązać współpracę z naszą uczelnią, a także źródłem inspiracji dla młodych ludzi, którzy pragną wejść w fascynujący świat nauki.*

prof. dr hab. inż. Marek Gorgoń  
Prorektor ds. Nauki AGH

- 6 AI pomoże zwierzętom.  
Nowa generacja inteligentnych narzędzi w diagnostyce weterynaryjnej
- 8 Aminokwasy sposobem na przedłużenie żywotności  
implantów medycznych?
- 10 Czarne szkła jako rozwiązanie problemu korozji wysokotemperaturowej
- 12 Czy zaufamy sztucznej inteligencji?  
Algorytmy AI w robotyce i wirtualnej rzeczywistości
- 14 Czym oddycha Kraków?  
Identyfikacja źródeł pyłowych zanieczyszczeń atmosfery
- 16 Drugie życie odwiertów naftowych i gazowych.  
Odzyskiwanie litu z wód złożowych
- 18 Elektroniczne „zero waste”?  
Metody recyklingu paneli fotowoltaicznych
- 20 Epidemiologia oparta na ściekach.  
Innowacyjne metody biomonitoringu
- 22 Fusy z kawy – surowiec do produkcji  
nowatorskich materiałów ceramicznych
- 24 Gazary – lekkie i wytrzymałe tworzywo  
do innowacyjnych zastosowań
- 26 Grunt to zdrowy kręgosłup.  
Robotyczne wspomaganie rehabilitacji
- 28 Instalacja do oczyszczania powietrza  
chroniąca stanowiska pracy przed wirusami
- 30 Interwencyjna metoda obniżania stężenia pyłów  
w warstwie smogu
- 32 Jak informatyka wspiera detektywów.  
LINK2 – system wspomaganie analizy kryminalnej
- 34 Kolektywna inteligencja i elektroniczna republika.  
Internet a partycypacja społeczna
- 36 Ku zrównoważonym technologiom energetycznym.  
Bezpieczne magazynowanie wodoru
- 38 Mieszana rzeczywistość  
w wykrywaniu chorób neurodegeneracyjnych
- 40 Mgła jako źródło wody, przyroda jako inspiracja.  
Nowe zastosowanie nanowłókien polimerowych
- 42 Na ratunek Achillesowi.  
Ku nowoczesnej diagnostyce chorób i urazów ścięgna
- 44 Na styku informatyki i ekonomii.  
Obliczeniowe aspekty wyboru społecznego
- 46 Nowe biodegradowalne nawozy CRF –  
ekologiczna alternatywa dla upraw
- 48 Nowe życie „Senstera”.  
Strategie konserwacji i reaktywacji interaktywnych dzieł sztuki
- 50 Od komory bezdechowej do opery.  
Innowacje w zakresie akustyki wnętrz
- 52 Otoimplant – polimerowa proteza ucha środkowego  
o działaniu bakteriobójczym
- 54 Smog, tsunami i pandemie.  
Co mogą pokazać i jak działają symulacje izogeometryczne
- 56 Sztuczne mózgi kontra gardła von Neumanna,  
czyli prace nad syntetyczną inteligencją
- 58 Świecić z głową: system do projektowania mądrego oświetlenia
- 60 Termiczne przetwarzanie odpadów organicznych  
jako metoda pozyskiwania zasobów
- 62 VRSophy, czyli o przekładaniu klasycznych koncepcji filozofii  
na język współczesności
- 64 W stronę energetyki neutralnej dla klimatu.  
Niekonwencjonalne systemy geotermalne

## AI pomoże zwierzętom. Nowa generacja inteligentnych narzędzi w diagnostyce weterynaryjnej

**Algorytmy sztucznej inteligencji znajdują obecnie zastosowanie w bardzo wielu obszarach. Jednym z nich jest medycyna weterynaryjna. Zwierzęta, podobnie jak ludzie, zmagają się z różnymi stanami zapalnymi i nowotworami. Właśnie te schorzenia znalazły się na celowniku ekspertów w dziedzinie AI oraz weterynarii zaangażowanych w projekt CyfroVet.**

Głównym celem projektu, realizowanego w Akademickim Centrum Komputerowym CYFRONET AGH, jest skrócenie czasu badań cytologicznych, które stanowią pierwszy krok w diagnostyce zmian nowotworowych u zwierząt. Obecnie czas oczekiwania na wynik badania cytologicznego wynosi od kilku dni do dwóch tygodni. Cena takiego badania to kilkaset złotych. Należy również pamiętać o dodatkowych kosztach związanych z wysyłką próbki do laboratoriów diagnostycznych.

Istnieje możliwość znacznego przyspieszenia chwili otrzymania wstępnych wyników poprzez zastosowanie zautomatyzowanego systemu, który umożliwi wykonanie zdjęcia próbki materiału cytologicznego i następnie przeanalizowanie go z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji, pozwalających ocenić zmiany patologiczne w preparacie. Na tej podstawie lekarz może łatwiej podjąć wstępną decyzję co do wyboru dalszych kroków w procesie diagnostyki i leczenia.

Opracowanie takiego systemu wiąże się z szeregiem wyzwań. Pierwszym, dość znaczącym, jest zgromadzenie odpowiedniej liczby zdjęć preparatów cytologicznych o różnorodnym charakterze, które pozwolą na wytrenowanie algorytmu sztucznej inteligencji do rozpoznawania zmian nowotworowych.

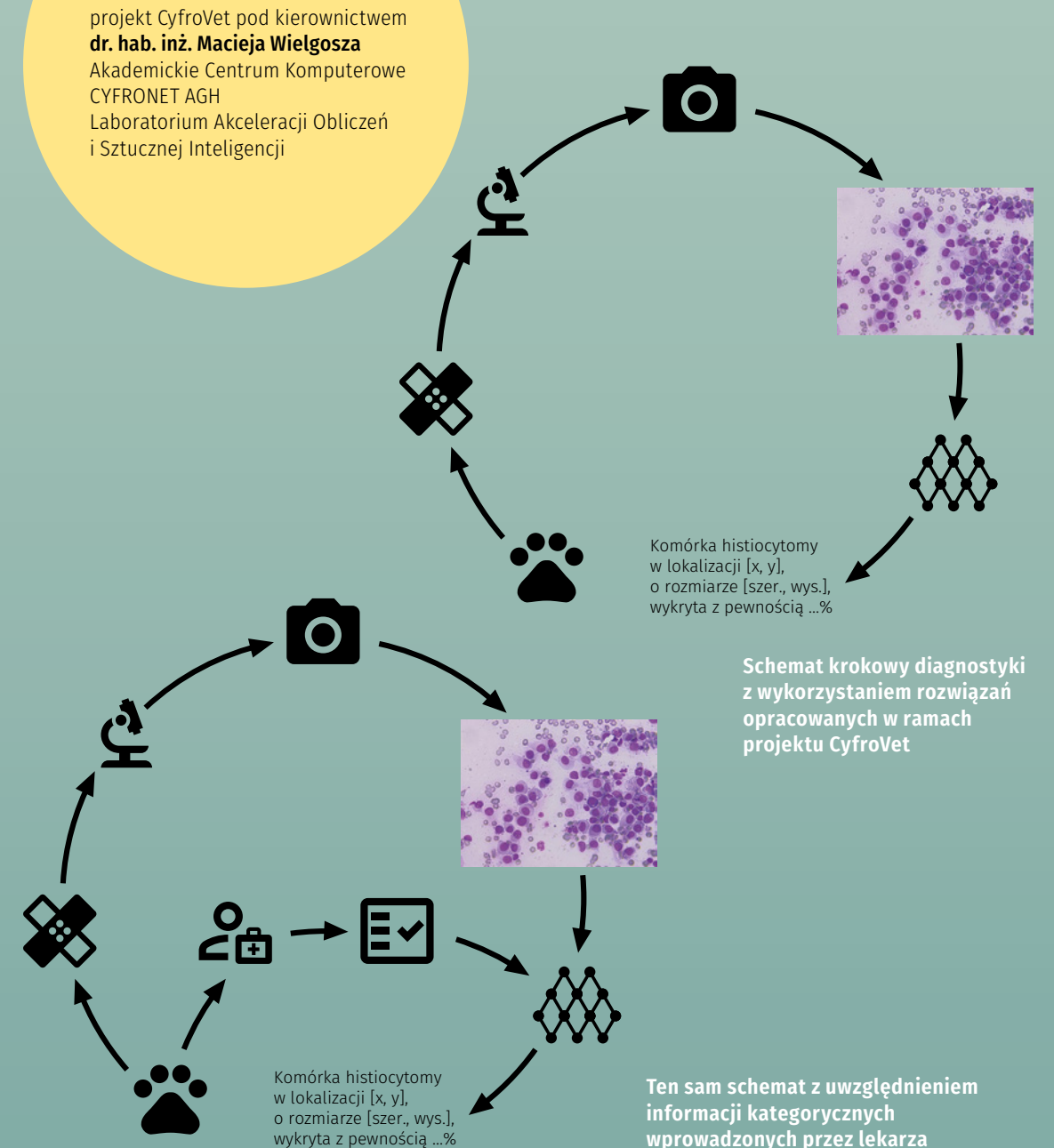
Preparat cytologiczny widziany jako zdjęcie w skali makro jest niejednorodny: niektóre miejsca mają większy potencjał diagnostyczny niż inne. Lekarz specjalista jest w stanie je wstępnie zlokalizować i skupić się na ich analizie. System do diagnostyki cytologicznej powinien realizować również ten etap analizy preparatu. Dopiero wyłonione w wyniku takiej selekcji fragmenty zdjęcia, które zawierają interesujące zmiany patologiczne, pozwalają na postawienie rozpoznania z dużą dokładnością.

Czasochłonny jest również proces oznaczania danych uczących, który wiąże się z ręcznym oznaczeniem zmian patologicznych przez lekarza eksperta oraz ich weryfikacją przez dyplomowanego patologa, co pozwala na utrzymanie odpowiednio wysokiej jakości działania systemu sztucznej inteligencji. W ramach projektu

stworzono już rozwiązanie pozwalające na klasyfikację wybranych zmian patologicznych z wykorzystaniem sieci neuronowych. Opracowane zostały również architektury sieci pozwalające na szczegółową detekcję oraz semantyczną segmentację pojedynczych komórek nowotworowych, która umożliwia dokładną analizę zmian patologicznych. Dzięki temu realne stało się uzyskanie dokładności klasyfikacji na poziomie nawet 96%. System działa dla wybranych trzech zmian nowotworowych: mastocytomy, histiocytomy oraz chłoniaka. Zrealizowany model, bazujący na detekcji z wykorzystaniem algorytmu YOLOv3, pozwala wyodrębnić w obrazie preparatu cytologicznego tzw. pola przestrzeni zainteresowania. Opracowywany jest jednocześnie model bazujący na semantycznej segmentacji, który pozwala wyodrębnić obszary patologicznych z dokładnością jednego piksela.

Zespół prowadzi również badania zmierzające do wypracowania holistycznej diagnostyki weterynaryjnej, uwzględniającej nie tylko badanie zmian na zdjęciach preparatów cytologicznych pod mikroskopem, ale także informacje o pacjencie zebrane przez weterynarza w trakcie wstępnego wywiadu. Wywiad taki umożliwia ocenę stanu pacjenta poprzez analizę jego wieku, chorób, lokalizacji zmian na powierzchni skóry, jak i dodatkowych informacji, które można uzyskać od właściciela zwierzęcia. Są to tak zwane dane kategoryczne, które mogą w znaczący sposób wpłynąć na podjęcie przez lekarza decyzji diagnostycznej. Uwzględnienie tych danych w algorytmie sztucznej inteligencji pozwoli podnieść skuteczność jego działania, jak również uogólnić jego wyniki. Zjawisko to w uczeniu maszynowym jest nazywane wykorzystaniem wielu modalności w procesie opracowania modeli.

Prace prowadzone są przez zespół specjalistów w składzie: prof. dr hab. inż. Kazimierz Wiatr<sup>a, b</sup>, dr hab. inż. Paweł Russek, prof. AGH<sup>a, b</sup>, dr hab. inż. Maciej Wielgosz<sup>a, b</sup>, dr inż. Rafał Frączek<sup>a, b</sup>, mgr inż. Michał Karwowski<sup>a, b</sup>, Jakub Caputa<sup>a</sup>, Daria Łukasik<sup>a</sup> (<sup>a</sup> – CYFRONET, <sup>b</sup> – Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji).



## Aminokwasy sposobem na przedłużenie żywotności implantów medycznych?

Do produkcji implantów stosuje się różne materiały, które w określonych ramach czasowych powinny spełniać wyznaczone funkcje: posiadać określone właściwości mechaniczne (wytrzymałość, odporność na ścieranie itd.), być biozgodne z organizmem człowieka oraz odporne na korozję. Najczęściej stosowane są metale oraz ich stopy, jak m.in. tytan i stal nierdzewna. Niestety w wyniku kontaktu metalowych implantów z płynami ustrojowymi na powierzchni metalicznej zachodzą różne reakcje chemiczne, które prowadzą do ich niszczenia.

– W wyniku tego procesu do organizmu uwalniane są związki toksyczne, co może stać się przyczyną rozwoju różnego rodzaju infekcji czy nawet nowotworów. Wymiana zniszczonych implantów jest z kolei kosztowna i wymaga złożonych i obciążających pacjenta zabiegów – mówi dr Dominika Święch z Wydziału Odlewnictwa, kierowniczka projektu „Badania spektroskopowe w mikro- i nanoskali procesu korozji i jej inhibicji modyfikowanych powierzchni metalicznych wykorzystywanych w implantologii” realizowanego przez konsorcjum, do którego oprócz Wydziału Odlewnictwa należą Akademickie Centrum Materiałów i Nanotechnologii AGH oraz Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk – Zakład Fizyki Doświadczalnej Układów Złożonych.

Jednym ze skutecznych sposobów powstrzymania korozji jest modyfikacja powierzchni materiału wykorzystywanego w implantologii poprzez zastosowanie inhibitorów. Badane materiały są modyfikowane m.in. za pomocą nanocząstek złota oraz miedzi, które posiadają potencjalne właściwości antykorozyjne i antibakteryjne. Co więcej, wzmacniają sygnał spektroskopowy podczas badania procesów zachodzących na interesujących uczonych powierzchniach. Ich nanoszenie odbywa się pod nadzorem dr inż. Kamili Kollbek w ACMiN, które w ramach konsorcjum projektowego udostępnia niezbędną do tego celu aparaturę.

Szczególne uwagę badaczy skupia się jednak na aminokwasach, które naturalnie występują w organizmie człowieka i pełnią szereg funkcji biologicznych. Jak wykazały wcześniejsze badania, mogą odgrywać również rolę inhibitora korozji, a do tego są nietoksyczne i stosunkowo tanie. Dotąd dr Święch wzięła na warsztat m.in. tryptofan (Trp). W organizmie jest on prekursorem różnych metabolitów, m.in. serotoniny (zwanej potocznie hormonem szczęścia) oraz melatoniny (hormonu odpo-

wiedzialnego za regulację snu), wpływa na zdrowie układu kostno-szkieletowego, a jego reszty wchodzi w skład peptydów odgrywających istotną rolę w systemie immunologicznym. Żeby się przekonać, czy Trp może być też inhibitorem korozji, przeprowadzono badania elektrochemiczne stali nierdzewnej. Zasympulowano w tym celu agresywne środowisko, które w organizmie człowieka wpływa na proces korozji implantów (obecność m.in. jonów chlorkowych i fosforanowych). Wykazały one, że Trp w kontrolowanych warunkach absorbuje się na skorodowanej powierzchni stali nierdzewnej, co skutkuje poprawą jej odporności korozyjnej.

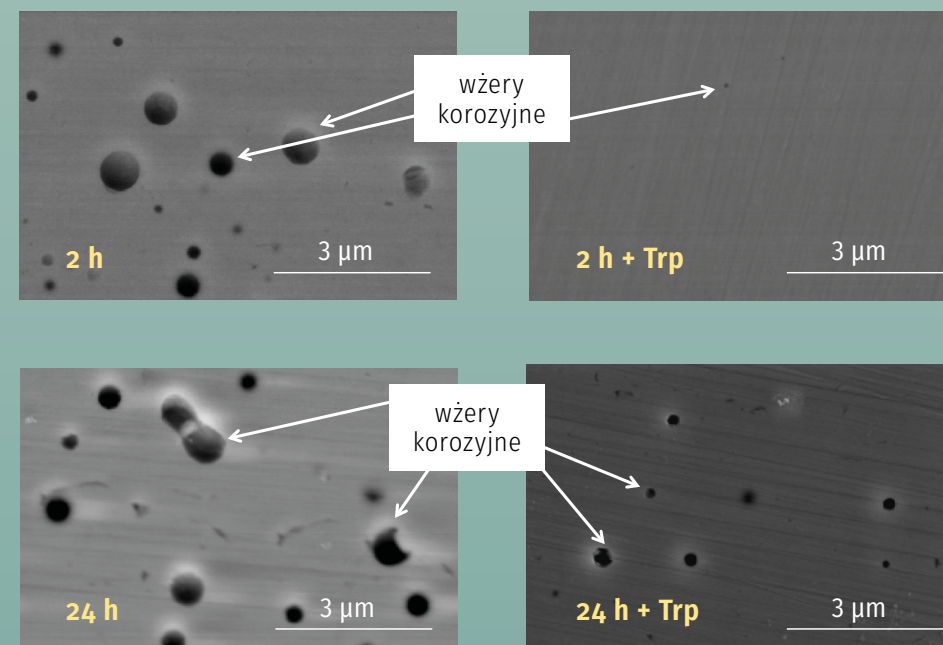
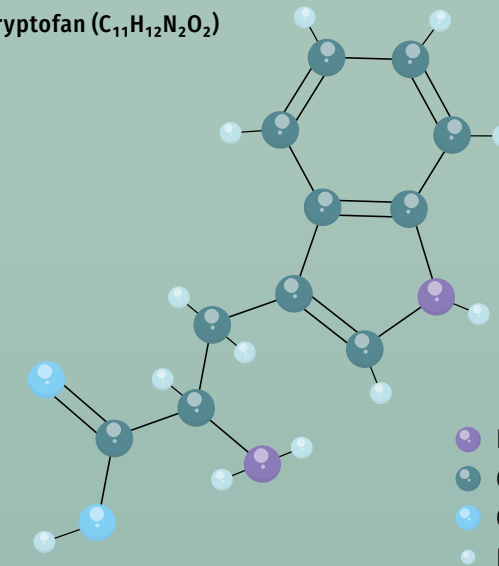
– W badaniach dotyczących procesu inhibicji wykorzystywane są techniki powierzchniowo-wzmocnionej absorpcji w podczerwieni (SEIRA) i powierzchniowo-wzmoczonego efektu Ramana (SERS), które są bardzo dobrym narzędziem do monitorowania procesu w mikroskali, oraz techniki łączące zalety mikroskopii sił atomowych i metod spektroskopowych (np. AFM-IR), co umożliwia obrazowanie procesu w nanoskali. Wykorzystanie w badaniach głównie metod spektroskopii oscylacyjnej ze szczególnym uwzględnieniem technik obrazowania nanospektroskopowego jest nowatorskim podejściem w badaniach procesu korozji oraz jej inhibicji. Badania z wykorzystaniem wspomnianych technik mają wiele zalet, mianowicie pomiar jest szybki, próbka nie ulega zniszczeniu i nie wymaga specjalnego przygotowania – wyjaśnia dr Święch.

Wykorzystanie metod spektroskopowych umożliwiła identyfikację produktów korozji oraz przeprowadzanie badań *in situ* i *ex situ* procesu inhibicji korozji w mikro- oraz nanoskali (np. określenie zmian strukturalnych zachodzących pod wpływem oddziaływania potencjalnych inhibitorów z badaną powierzchnią metaliczną z równoczesną kontrolą morfologii powierzchni).

zespół pod kierownictwem  
**dr Dominiki Święch**  
Wydział Odlewnictwa  
Katedra Chemii i Korozji Metali

Projekt realizowany w ramach programu  
SONATA 15/NCN

Tryptofan (C<sub>11</sub>H<sub>12</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)



Zdjęcia SEM (wykonane skaningowym mikroskopem elektronowym) powierzchni stali nierdzewnej 316L otrzymane po elektrochemicznych badaniach korozyjnych w warunkach stanu zapalnego (zbuforowany roztwór soli fizjologicznej [PBS], pH = 3, temp. = 37°C) bez oraz w obecności Trp, w różnych czasach ekspozycji

## Czarne szkła jako rozwiązanie problemu korozji wysokotemperaturowej

**Korozja to stopniowy proces degradacji materiałów na skutek ich oddziaływania ze środowiskiem pracy. Powszechnie znane zjawisko rdzewienia elementów metalicznych, zachodzące wskutek przepływu ładunków elektrycznych między niszczone tworzywem a elektrolitem zawierającym agresywne jony – np.  $\text{Cl}^-$  lub  $\text{OH}^-$  – to przykład korozji elektrochemicznej. Przykładem korozji chemicznej natomiast jest degradacja materiałów metalicznych pod wpływem oddziaływania ich powierzchni z gorącymi (powyżej 400–500°C) składnikami gazowego środowiska pracy.**

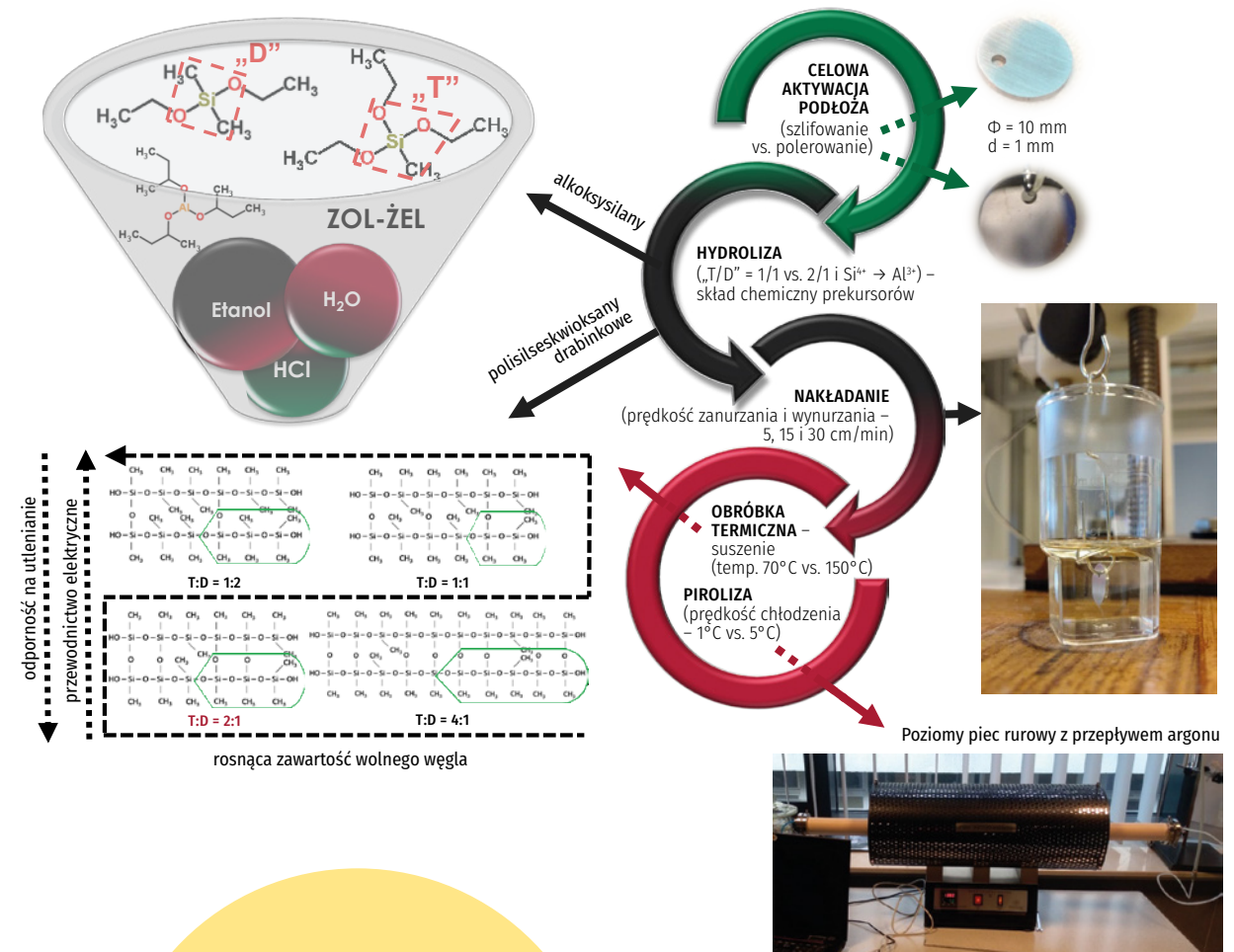
Problem korozji wysokotemperaturowej pojawia się w wielu gałęziach gospodarki, ponieważ podwyższona temperatura jest często gwarantem wzrostu wydajności zachodzących procesów, jak w przypadku spalania paliwa w silnikach lotniczych. Dotyczy również przemysłu energetycznego i niskoemisyjnej technologii stałotlenkowych ogniw paliwowych SOFC (z ang. *Solid Oxide Fuel Cells*), których wysoka temperatura pracy (ok. 800°C) wynika z konieczności zapewnienia odpowiedniego poziomu przewodnictwa jonowego elektrolitu wykonanego z tlenku cyrkonu  $\text{ZrO}_2$  stabilizowanego tlenkiem itru  $\text{Y}_2\text{O}_3$ . Niestety, tak wysokie temperatury pociągają za sobą przyspieszoną degradację poszczególnych elementów ogniwa, w tym tzw. interkonektorów – elementów stanowiących „szkielet” ogniwa, umożliwiających łączenie pojedynczych komórek w większe stopy.

Jednym ze sposobów przeciwdziałania tym problemom jest zastosowanie powłok ochronnych. W przypadku interkonektorów w ogniwach SOFC zadanie to jest utrudnione ze względu na rygorystyczne wymagania stawiane potencjalnym materiałom, obejmujące nie tylko odporność na utlenianie w wysokich temperaturach, ale także wysoki poziom przewodnictwa elektrycznego. Nad rozwiązaniem pracuje dr inż. Maciej Bik z Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, który w ramach projektu „Innowacyjne powłoki ochronno-przewodzące na bazie oksywęglika krzemu” optymalizuje proces otrzymywania powłok ochronnych na bazie tzw. czarnych szkieł.

Czarnymi szklami zwane są materiały o strukturze amorficznej krzemionki, należące do tzw. ceramiki pochodzenia polimerowego, PDC (ang. *Polymer Derived Ceramics*). Pierwiastkiem determinującym właściwości czarnych szkieł jest węgiel, który może w nich występować pod dwiema postaciami. Pierwszą z nich są atomy węgla

związane z atomami krzemu poprzez silne, kowalencyjne wiązania Si-C, które przyczyniają się do wysokiej odporności termomechanicznej materiału. Drugą postacią jest tzw. faza wolnego węgla (ang. *free carbon*), która pojawia się w momencie przekroczenia progowej zawartości węgla w więźbie szkła. Faza ta odpowiada za przewodnictwo elektryczne i czarny kolor materiału. Wieloletnie prace badawcze dr inż. Macieja Bika zaowocowały znalezieniem optymalnego kompromisu między wpływem obu tych faz, jak również opracowaniem procesu otrzymywania szczelnych i jednorodnych powłok na bazie czarnych szkieł z układów oksywęglika krzemu „czystego” (SiOC) oraz modyfikowanego kationami glinu (SiALOC). W toku wysokotemperaturowych (800°C) badań próbek stali przeznaczonych na interkonektory, zmodyfikowanej przy wykorzystaniu powłok na bazie czarnych szkieł, uzyskano obiecujące rezultaty w postaci zahamowania niekontrolowanych procesów dyfuzyjnych, co przełożyło się na znaczące obniżenie tempa degradacji materiału, przy zachowaniu satysfakcjonującego poziomu przewodnictwa elektrycznego. Było to pierwsze na świecie wykorzystanie w tym celu powłoki na bazie oksywęglika krzemu, cechującej się zupełnie innym mechanizmem pracy niż najczęściej stosowane warstwy na bazie związków o strukturze spineli czy perowskitów.

Jedną z największych zalet opracowanego materiału jest nie tylko możliwość zastosowania go na różne podłoża metaliczne (stale ferrytyczne, stopy międzymetaliczne), ale także pracy w różnych atmosferach (utleniającej, redukującej). Powłoki z czarnych szkieł z dużym sukcesem zastosowano m.in. na podłożu ze stopu TiAl przeznaczony na niskociśnieniowe topatki turbin silnika lotniczego (750°C; powietrze i powietrze z udziałem pary wodnej) oraz z czystego chromu (950 i 1050°C; powietrze).



zespół pod kierownictwem **prof. dr inż. Macieja Sitarza** (dr inż. Maciej Bik, dr inż. Piotr Jeleń, dr inż. Jakub Marchewka) Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Katedra Chemii Krzemianów i Związków Wielkocząsteczkowych projekt sfinansowany z grantu uczelnianego w ramach programu IDUB

Plan eksperymentalny przeprowadzonej optymalizacji otrzymywania powłok na bazie czarnych szkieł

## Czy zaufamy sztucznej inteligencji? Algorytmy AI w robotyce i wirtualnej rzeczywistości

**W kontekście rosnącego wykorzystania robotów w wielu obszarach aktywności ludzkiej – od prostych robotów użytkowych aż po złożone roboty humanoidalne, mające asystować nam w różnych sytuacjach – bardzo ważne jest opracowywanie rozwiązań pozwalających robotowi na możliwie naturalną interakcję z człowiekiem. Aby wzorce zachowania robota były adekwatne do informacji przekazanej mimiką czy gestami ludzkiego partnera i budziły jego zaufanie, potrzebne są badania na styku informatyki i kognitywistyki.**

Takie badania prowadzą od lat naukowcy z Instytutu Informatyki AGH. Obejmują one rozwój konwolucyjnych sieci neuronowych do interpretacji sygnałów zarejestrowanych przez robota oraz prace warsztatowe poświęcone ocenie interakcji człowiek-robot. Głównym celem jest rozwój innowacyjnych rozwiązań dla zaawansowanych mechanizmów percepcji, w tym rozpoznawania emocji, identyfikacji pytania i określania kierunku wzroku. Sukces w tym zakresie przyniósł m.in. realizowany we współpracy z tureckim Middle East Technical University projekt „Gaze4HRI”. Jego wynikiem było opracowanie środowiska – platformy programistycznej dla wielomodalnych interakcji między człowiekiem a robotem społecznym, wspierającej budowę aplikacji wchodzących w interakcje z człowiekiem z uwzględnieniem śledzenia wzroku i rozpoznawania emocji. Zrealizowana implementacja środowiska umożliwia uruchomienie go na wielu platformach sprzętowych i programowych, w tym robotach, awatach w środowisku wirtualnej rzeczywistości (VR) oraz awatach na urządzeniach mobilnych.

Początkowo celem badań było eksperymentalne wykrycie regularności związanych z kierowaniem wzroku podczas rozmów prowadzonych przez dwoje ludzi oraz przez człowieka i robota. W szczególności brano pod uwagę kontakt wzrokowy oraz unikanie wzroku w kontekście danych dotyczących wypowiedzi. W eksperymentach zostały zebrane dane dotyczące wzroku i dane audio. Na ich podstawie przygotowano środowisko obliczeniowe do wielomodalnych interakcji między człowiekiem a robotem i opracowano proste zachowania wykrywające sytuację, gdy użytkownik zaczyna lub kończy mówić, i wywołujące zdefiniowane akcje. Na bazie stworzonej platformy zaimplementowano odpowiednie moduły pozwalające robotowi i awatarowi na intuicyjną i naturalną interakcję z człowiekiem. W kolejnym eta-

pie uwzględniono bardziej złożone aktywności, takie jak wykrywanie pytań lub uwzględnianie kierunku spojrzenia rozmówcy. Zbadano również możliwość wykrywania emocji u człowieka na podstawie analizy mikroekspresji twarzy i przetwarzania sygnału głosu.

Użyteczność oprogramowania była sprawdzana m.in. w eksperymentach realizowanych przy użyciu robota humanoidalnego Pepper i na platformach mobilnych/VR. Miały one formę fikcyjnej rozmowy o pracę, ale zrealizowano również bardziej złożone scenariusze. Dobrą ilustrację stanowią tu warsztaty zorganizowane w ramach prac nad algorytmami percepcji dla robotów społecznych, przeprowadzone we współpracy z Instytutem Filozofii Uniwersytetu Jagiellońskiego. Ich celem była obserwacja interakcji człowiek-robot i identyfikacja aspektów tej interakcji istotnie wpływających na zaufanie do robotów. Warsztaty przeprowadzono w przedszkolach w Polsce i Japonii, co pozwoliło uwzględnić odmienne konteksty kulturowe. Miały one istotny walor edukacyjny, szczególnie ważny we wczesnoszkolnym okresie życia. Wykorzystano w nich robota Pepper, którego oprogramowanie rozbudowano o autorskie mechanizmy percepcji. Zaobserwowano oczekiwania dzieci względem robota oraz ich ewolucję wraz z odkrywaniem jego możliwości.

Wyniki potwierdziły prawidłowe działanie opracowanego środowiska oraz jego dużą elastyczność. Pozwala ono na definiowanie bardzo zróżnicowanych, wielomodalnych scenariuszy. Sterowanie zachowaniami robota lub awatara może odbywać się za pomocą wielu modalności, z których sygnały analizowane są przez złożone algorytmy klasyfikacji (np. sieci splotowe). Ze względu na komponentową budowę oprogramowania możliwości środowiska można rozbudowywać, dodając kolejne platformy sprzętowe, nowe modalności i metody analizy sygnałów.



zespół pod kierownictwem  
**dr. hab. inż. Bartłomieja Śnieżyńskiego, prof. AGH**  
Wydział Informatyki, Elektroniki  
i Telekomunikacji  
Instytut Informatyki

projekt „Gaze4HRI – platforma  
oparta na śledzeniu wzroku dla  
multimodalnej interakcji  
człowieka z robotem”/NCBR

## Czym oddycha Kraków? Identyfikacja źródeł pyłowych zanieczyszczeń atmosfery

**W walce ze smogiem istotna jest przede wszystkim wiedza o rodzaju występujących na danym terenie zanieczyszczeń i ich pochodzeniu. Zaawansowane interdyscyplinarne badania prowadzone w AGH pozwoliły ocenić wpływ poszczególnych źródeł emisji na jakość powietrza i pomogły odpowiednio ukierunkować program ochrony powietrza nie tylko dla miasta Krakowa, lecz także dla gmin ościennych.**

Zespół w składzie: dr hab. inż. Lucyna Samek, prof. AGH (kierownik), prof. dr hab. inż. Kazimierz Różański, dr hab. inż. Zdzisław Stęgowski, prof. AGH, dr hab. inż. Katarzyna Styszko, prof. AGH, dr hab. inż. Mirosław Zimnoch, prof. AGH, dr inż. Zbigniew Gorczyca i mgr inż. Alicja Skiba dokonał szczegółowej diagnozy stanu krakowskiego powietrza w ramach projektu „Źródła zanieczyszczeń pyłowych powietrza w Krakowie w latach 2018–2019”, zainicjowanego przez Krakowski Holding Komunalny SA w Krakowie, przy wsparciu Wojewódzkiego i Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ/GIOŚ).

Podstawowym celem badań było określenie rodzaju i udziału poszczególnych źródeł emisji aerozoli atmosferycznych w immisjach obserwowanych na wybranych stacjach monitoringu jakości powietrza WIOŚ w Krakowie, związanych z transportem drogowym (stacja Aleja Krasińskiego, dalej AK) oraz z obszarem mieszkalnym (stacja Złoty Róg, dalej ZR). Cel ten został osiągnięty poprzez kompleksową charakterystykę fizykochemiczną i izotopową frakcji  $PM_{10}$  pyłu zawieszonego, wspartą modelowaniem receptorowym Positive Matrix Factorization (PMF) oraz modelowaniem wybranych aspektów transportu zanieczyszczeń w atmosferze.

Stwierdzono, że w ciągu dekady 2010–2019 stężenie  $PM_{10}$  zmalało o prawie 50% na obu stacjach pomiarowych. Stężenie  $NO_2$ , będącego indykatorem transportu, zmalało o około 30% na stacji AK. Poprawę jakości powietrza można wiązać m.in. z zastąpieniem starych autobusów nowymi elektrycznymi czy hybrydowymi, rozszerzeniem obszaru sieci ciepłowniczej, a także wprowadzeniem we wrześniu 2019 r. zakazu spalania paliw stałych celem ogrzewania budynków.

**1. Skład pyłu  $PM_{10}$**  | Średnie stężenie frakcji  $PM_{10}$  pyłu zawieszonego na stacji AK wyniosło  $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zimą i  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  latem, a na stacji ZR  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zimą i  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  latem. Badania fizykochemiczne frakcji  $PM_{10}$  pyłu wykazały, że średnio ponad 40% stanowi frakcja węglowa, około 25% – nieorganiczne aerozole wtórne (jony siar-

czanowe, azotanowe, amonowe), pozostałe jony to około 16%, 6–7% metale, a 12% składniki niezidentyfikowane.

Badania składu izotopowego węgla doprowadziły do wniosku, że głównymi składowymi frakcji węglowej są kolejno: węgiel ze spalania węgla kamiennego, węgiel ze spalania paliw w silnikach samochodowych oraz biogeniczna frakcja węgla (emisje naturalne i spalanie biomasy).

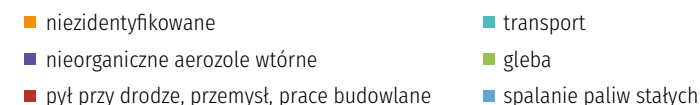
**2. Źródła pyłu zawieszonego  $PM_{10}$**  | Wyniki modelowania źródeł pyłu zawieszonego z wykorzystaniem PMF wskazały, że w okresie zimowym dominujące źródła pyłu to spalanie paliw stałych i nieorganiczne aerozole wtórne. Zidentyfikowano następujące źródła pyłów  $PM_{10}$  i określono ich udziały we frakcji  $PM_{10}$ : spalanie paliw stałych: zimą 10% (AK) i 36% (ZR); latem nie wykryto (AK) i 8% (ZR); nieorganiczne aerozole wtórne: zimą 28% (AK) i 29% (ZR); latem 5% (AK) i 16% (ZR); transport samochodowy: zimą 24% (AK) i latem 48% (AK); pył z gleby: zimą 7% (AK) i 7% (ZR); latem 9% (AK) i 8% (ZR); pozostałe źródła pyłu (emisja związana z wtórnym unoszeniem pyłu z transportu, pył z procesów przemysłowych i budowlanych): zimą 24% (AK) i 8% (ZR); latem 32% (AK) i 48% (ZR); niezidentyfikowane źródła pyłu: zimą 8% (AK) i 4% (ZR); latem 5% (AK) i 19% (ZR).

Stwierdzono, że dla obu stacji w okresie letnim dla większych stężeń  $PM_{10}$  wzrasta udział pyłu pochodzącego z wtórnego unoszenia z transportu oraz z procesów budowlanych i przemysłowych. Dla mniejszych stężeń większe są udziały nieorganicznych aerozoli wtórnych dla stacji ZR oraz transportu samochodowego dla stacji AK. W okresie zimowym występuje wzrost udziału pyłu ze spalania paliw stałych dla wyższych stężeń pyłu dla stacji ZR oraz duży wzrost udziału nieorganicznych aerozoli wtórnych dla wyższych stężeń pyłu dla stacji AK. W obu przypadkach ze wzrostem stężenia pyłu zdecydowanie maleje udział pyłu z gleby.

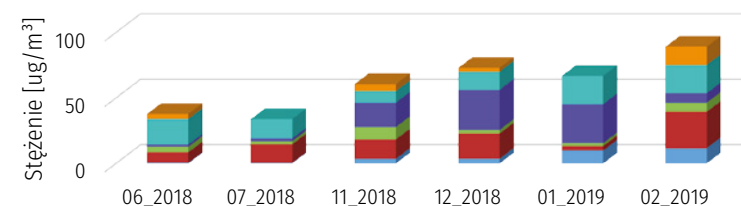
Uzyskane wyniki zostały wzięte pod uwagę przy opracowywaniu Programu Ochrony Powietrza dla Małopolski we wrześniu 2020 r.

zespół pod kierownictwem  
**dr hab. Lucyny Samek, prof. AGH**  
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej  
Katedra Fizyki Medycznej i Biofizyki

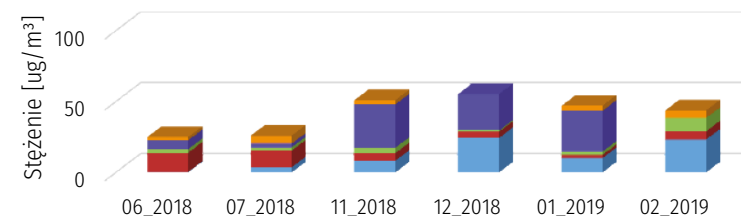
projekt „Źródła zanieczyszczeń pyłowych  
powietrza w Krakowie w 2018 roku”



Stacja Aleja Krasińskiego



Stacja Złoty Róg



Źródła  
pyłu zawieszonego  $PM_{10}$



## Drugie życie odwiertów naftowych i gazowych. Odzyskiwanie litu z wód złożowych

**W procesie wydobycia ropy naftowej i gazu ziemnego czerpie się również ogromne ilości solanki, która może być źródłem cennych dla gospodarki pierwiastków. Należy do nich lit, pożądany m.in. w przemyśle motoryzacyjnym, gdzie wykorzystuje się go do produkcji akumulatorów zasilających auta elektryczne i hybrydowe.**

Wbrew pozorom to nie węglowodory są produktem, który w największej ilości wydobywa się na powierzchnię ze złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. Szacuje się, że na 1 m<sup>3</sup> ropy naftowej przypada do 3 m<sup>3</sup> solanki. W miarę eksploatacji złoża udział wody w bilansie wydobycia wzrasta do tego stopnia, że staje się ona praktycznie jedyną czerpaną substancją. Taka solanka w najlepszym razie zatłaczana jest z powrotem do złoża, skąd wypiera na powierzchnię ropę czy gaz. Proces ten nie może trwać w nieskończoność i biznes nastawiony na wydobycie węglowodorów prędzej czy później przestaje się opłacać. Tymczasem woda złożowa może być źródłem cennych pierwiastków, jeśli tylko odpowiednio się ją zagospodaruje. Zważywszy na fakt, że świat odchodzi od paliw kopalnych na rzecz niskoemisyjnych źródeł energii, mogłoby to wręcz dać starym odwiertom drugie życie. Taki cel stawiają sobie inżynierowie z Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu, którzy w ramach projektu „CompLithium” pracują nad technologią kompleksowego odzysku litu i wody użytkowej z odpadowych wód złożowych.

Lit nie występuje w przyrodzie w stanie wolnym, tylko najczęściej w postaci soli. W regionach o ciepłym klimacie pozyskuje się pierwiastek z solanek zagęszczonych przez odparowanie w basenach napowierzchniowych, z wykorzystaniem różnych technik strąceniowych. Tam, gdzie nie jest to możliwe, używa się do tego membran nanofiltracyjnych oraz sorbentów. – *Dotychczas opisane sorbenty mają postać proszków, które trudno wykorzystać na dużą skalę* – tłumaczy dr inż. Ewa Knapik, kierownik projektu. – *Nasze sorbenty będą preparowane metodą druku 3D, po to żeby wytworzyć przestrzenne kształtki o rozbudowanej porowatości. Będą mogły być one regularnie wysypywane w kolumnach sorpcyjnych, gdzie będzie stale przepływała solanka.*

Kolumny sorpcyjne to element kompleksowej aparatury, którą będzie można zainstalować w zakładach wydobycia ropy i gazu ziemnego. W ramach jednego procesu ma ona odzyskiwać z solanki lit oraz słodką wodę, którą będzie można później wykorzystać np. do nawad-

niania okolicznych upraw albo do produkcji pary w zakładzie. Do odsalania solanki uczeni z AGH zamierzają wykorzystać modyfikowane eterami koronowymi membrany nanofiltracyjne. Pozwolą one na wychwyt resztkowego litu, który nie został wcześniej odzyskany w kolumnach sorpcyjnych. Obecnie wykorzystywane instalacje potrafią odzyskiwać z solanki lit albo słodką wodę, ale nie spełniają tych dwóch funkcji jednocześnie. Ich połączenie w ramach jednego procesu będzie więc miało zupełnie innowacyjny charakter. – *Pierwszy etap pracy instalacji to wstępne uzdatnianie, czyli koagulacja i filtracja* – tłumaczy dr inż. Knapik. – *Solanka wydobywana ze złoża zawiera związki ropopochodne, cząstki stałe i rozpuszczone gazy. Wszystkie zanieczyszczenia trzeba usunąć, aby nie uszkodziły modułu sorpcyjnego i membrany. Drugi etap to kolumny sorpcyjne przeznaczone do odzysku litu. Te kolumny zawsze pracują w układzie podwójnym, bo kiedy jedna wychwytuje lit, druga jest regenerowana – to znaczy pierwiastek jest w tym czasie z niej wyplukiwany. Kolejny etap to odsalanie za pomocą membran. Wskutek tego powstają dwa strumienie: wody słodkiej i zatężonej solanki. Ta ostatnia będzie w naszej technologii powrotnie tłoczona do złoża.*

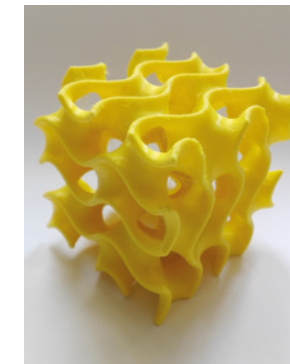
Żeby instalacja aparatury miała sens ekonomiczny, wody złożowe muszą zawierać odpowiednio wysokie stężenie litu (co najmniej 10 mg na 1 l wody). Dlatego ważnym celem projektu jest również przebadanie krajowych solanek pod kątem jego występowania. – *Mamy już sygnały, że istnieje kilka perspektywicznych lokalizacji. Dużo tych złóż jest na Niżu Polskim, gdzie wody wykazują wysoką mineralizację. Jeżeli zawierają dużo różnych soli, jest szansa, że będą to też sole litu* – mówi dr inż. Knapik.

Naukowcy z AGH chcą także stworzyć aplikację, która pozwoli ocenić, czy odzysk litu w danej lokalizacji będzie opłacalny. Oprócz stężenia pierwiastka uwzględni ona m.in. ilość wydobywanej wody, ciśnienie w danym złożu czy obecność innych jonów. Po drobnych modyfikacjach może też posłużyć do typowania najbardziej magnezonośnych albo potasonośnych solanek.

### Materiały wyjściowe



solanka złożowa

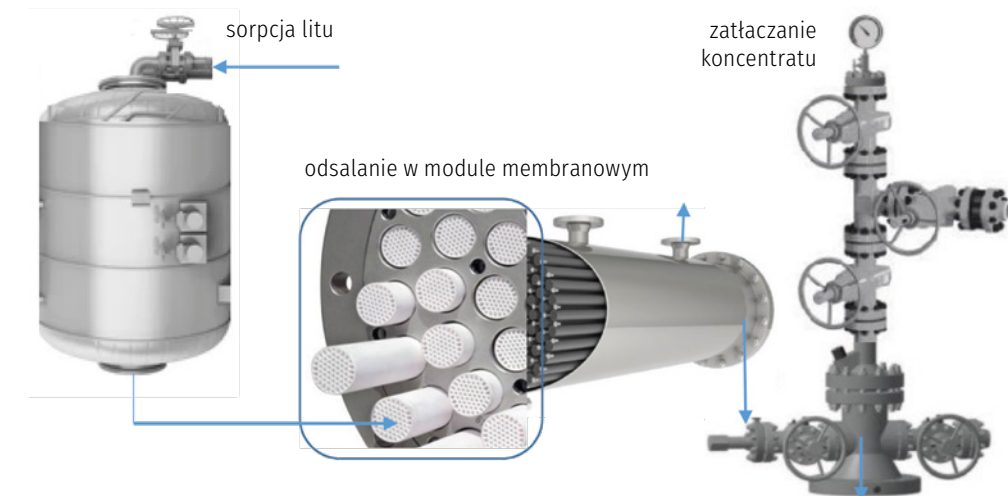


sorbent w postaci kształtek

zespół pod kierownictwem  
**dr inż. Ewy Knapik**  
Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu  
Katedra Inżynierii Naftowej

projekt „CompLithium” – prace realizowane  
w ramach projektu LIDER/NCBR

### Docelowa konfiguracja instalacji



## Elektroniczne „zero waste”? Metody recyklingu paneli fotowoltaicznych

**Fotowoltaika to coraz popularniejsza „zielona” metoda produkcji energii, a jej rynek w krajach Unii Europejskiej dynamicznie się rozwija. Według szacunków do 2025 r. w samej Polsce będzie zainstalowanych ponad 420 000 ton paneli słonecznych. Biorąc pod uwagę, że ich średnia żywotność wynosi 20–30 lat, w najbliższych latach tylko w naszym kraju staniemy przed wyzwaniem zagospodarowania ponad 100 ton zużytych instalacji fotowoltaicznych. Co zrobić, by nie pozostały po nich wyłącznie elektrośmieci?**

Już teraz z paneli fotowoltaicznych można odzyskiwać surowce, m.in. aluminium, krzem czy szkło. Na razie są to jednak często metody niekompletne lub mało wydajne i kosztowne. Dlatego w AGH ruszył projekt mający na celu opracowanie technologii niemal całkowitego recyklingu zużytych modułów PV, realizowany w konsorcjum ze spółką technologiczno-badawczą 2loop Tech. Partnerzy zakładają, że opracowane metody przetwarzania paneli będą nie tylko w pełni ekologiczne, lecz również efektywne ekonomicznie i umożliwią odzyskanie prawie 100% pierwiastków potrzebnych do wyprodukowania tego typu urządzeń, łącznie z metalami szlachetnymi takimi jak srebro. AGH przeprowadzi badania laboratoryjne oraz opracuje metodę przetwarzania paneli, natomiast prace wdrożeniowe i uruchomienie prototypowej linii technologicznej odbędą się w zakładzie 2loop Tech.

Metodami odzyskiwania metali szlachetnych i innych cennych pierwiastków ze sprzętu elektronicznego zajmuje się zespół badawczy pod kierunkiem dr. inż. Krzysztofa Brody z Wydziału Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami. Odbywa się to przy użyciu różnych technik separacji. Część z nich jest prosta i znana wszystkim z lekcji chemii – to na przykład metoda grawitacyjna, oparta na różnej gęstości materiałów. Inne są natomiast bardziej skomplikowane i wymagają laboratorium. Tak jest w wypadku rozdzielania przy pomocy obróbki termicznej lub chemicznej. Do najbardziej popularnych i skutecznych technik należy metoda elektromagnetyczna. – *W separatorach magnetycznych o słabym polu można oddzielić żelazo, a w tych o mocnym polu na przykład miedź i aluminium, mające słabe właściwości magnetyczne* – mówi prof. dr hab. inż. Barbara Tora, członkini zespołu.

Panel fotowoltaiczny jest zbudowany warstwowo. Moduły PV wytwarza się z pojedynczych ogniw, które są – po wykonaniu połączeń elektrycznych między nimi – laminowane i umieszczane w ramie aluminiowej. Recy-

kling paneli także zatem musi zacząć się od rozdzielania poszczególnych materiałów. Jak dokładnie wygląda ten proces? Obecnie często wykonuje się najpierw obróbkę termiczną i rozdrabnianie zużytego sprzętu. Ze względu na koszty i ekologię próbuje się jednak odchodzić od rozdzielania za pomocą pieców, zostając jedynie przy metodzie kruszenia, do której wykorzystuje się maszyny tłukące panele lub młyny wibracyjne. Uzyskany produkt rozdziela się następnie na taśmie przy użyciu separatorów optycznych albo metody granulometrycznej (sitowej). Odseparowane mechanicznie szkło może być wykorzystane do stworzenia nowych paneli lub przewiezione do zakładu, gdzie wykona się z niego butelki. Miedź i aluminium, wchodzące w skład przewodów, też da się bez problemu oddzielić i przetopić. Krzem z ogniw słonecznych natomiast można by z powodzeniem odzyskać za pomocą bardzo interesującej techniki, opracowanej... ponad 100 lat temu. – *Jest tak zwana metoda Czochralskiego, polskiego chemika, który wymyślił, jak z krzemu wykonać ogniwa. Można powiedzieć, że te ogniwa się hoduje – na pewno każdy na lekcjach przyrody w szkole podstawowej poznał metodę krystalizacji, polegającą na tym, że do szklanki z rozpuszczoną solą wkłada się sznurek, na którym tworzą się kryształki. W tym przypadku jest dokładnie tak samo, przy czym o ile sól rozpuszcza się w wodzie w temperaturze otoczenia, o tyle krzem potrzebuje rozpuszczalnika rozgrzanego do temperatury 1414°C* – tłumaczy prof. Tora.

Proces recyklingu paneli fotowoltaicznych będzie skoncentrowany właśnie na mono- i polikrystalicznych ogniwach krzemowych, które zostały najwcześniej wprowadzone do obrotu, stanowią największy procent rynku i jako pierwsze – już w najbliższym pięcioleciu – staną się odpadami. Technologia recyklingu i badania będą jednak rozwijane na kolejne generacje ogniw PV w miarę ich pojawiania się w obiegu surowców wtórnych.



Panel fotowoltaiczny przygotowany do recyklingu (z potłuczoną warstwą szklaną)



Folia uszczelniająca EVA wydzielona z panelu metodą termiczną (ogrzanie do ok. 60%)

zespół pod kierownictwem  
**dr. inż. Krzysztofa Brody**  
Wydział Inżynierii Lądowej  
i Gospodarki Zasobami  
Katedra Inżynierii Środowiska

## Epidemiologia oparta na ściekach. Innowacyjne metody biomonitoringu

**Ksenobiotyki to grupa obecnych w organizmie aktywnych biologicznie związków chemicznych, które nie są przezeń wytwarzane ani spotykane w naturze. Zalicza się do nich leki, ale także wiele szkodliwych substancji wprowadzonych sztucznie do środowiska. Należą do nich m.in. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Niektóre z nich wykazują działanie kancero- i mutagenne – powodują np. mutacje DNA, białaczkę czy raka płuc. Jak poznać całkowity stopień narażenia populacji na te związki?**

WWA stanowią składnik pyłowych zanieczyszczeń powietrza, powstający głównie w wyniku niepełnego spalania materiałów organicznych. Jako że wchodzą w zakres cząstek stałych z tzw. frakcji drobnej PM<sub>1</sub> oraz PM<sub>2,5</sub>, łatwo wnikają do układu oddechowego i krwionośnego. Największe ich stężenia w atmosferze notuje się na terenach zurbanizowanych. Jednak WWA mogą przedostawać się do organizmu nie tylko z powietrza. – *Ich źródłem mogą być również zanieczyszczenia wody. Wysoka ekspozycja na owe trujące substancje może także wynikać z palenia papierosów, diety bądź wykonywanego zawodu* – tłumaczy dr hab. inż. Katarzyna Styszko, prof. AGH z Wydziału Energetyki i Paliw, kierowniczka projektu „Rozwój innowacyjnej metody epidemiologicznej opartej na analizie ścieków do identyfikacji stopnia narażenia populacji na terenach zurbanizowanych na zanieczyszczenie środowiska ksenobiotykami”.

W określeniu stopnia narażenia na te związki może pomóc połączenie pomiarów w mieście z biomonitoringiem człowieka pod względem WWA, a także ich metabolitów, które powstają wskutek przemian chemicznych zachodzących w organizmie. W tym celu można wykorzystać innowacyjną metodę opartą na analizie chemicznej określonych produktów metabolizmu ludzkiego w ściekach, a więc epidemiologię opartą na ściekach (ang. *Wastewater-Based Epidemiology*, WBE). W wielu dotychczasowych badaniach wykazano bowiem bardzo precyzyjną korelację pomiędzy narażeniem populacji na WWA a występowaniem ich biomarkerów w moczu.

– *Klasyczna epidemiologia opiera się głównie na ankietowaniu i badaniach krwi czy moczu pacjentów lub ochotników. To zwykle jest jednak wąska populacja, badania są drogie i pracochłonne, a zanim uzyskamy wyniki, mija sporo czasu. W wypadku epidemiologii opartej na ściekach możemy praktycznie na bieżąco oszacować narażenie konkretnej populacji na wybrane substancje.*

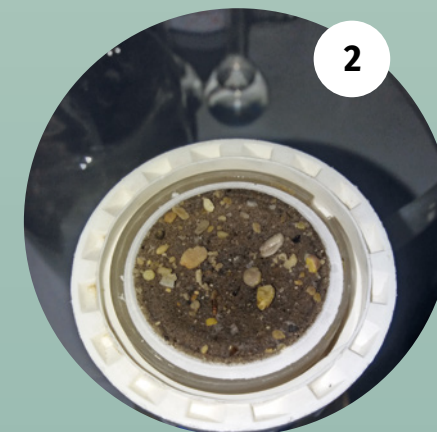
*Przeliczamy to zazwyczaj w mg/24h na tysiąc mieszkańców – mówi prof. Styszko. WBE dostarcza więc obiektywnych danych na temat sumarycznej ekspozycji mieszkańców określonego obszaru na ksenobiotyki w rodzaju WWA, które po dostaniu się do organizmu człowieka są szybko metabolizowane, po czym opuszczają go w ciągu paru dni w formie hydroksypochoodnych. Tę właśnie metodę wykorzystali inżynierowie z WEiP, którzy w trakcie kompleksowych badań nie tylko przeprowadzili szczegółowe analizy pyłu zawieszzonego, lecz również dokonali dokładnych pomiarów ścieków, nawiązawszy współpracę z największą oczyszczalnią w Krakowie.*

Badacze zorganizowali dwie kampanie pomiarowe próbek ścieków – letnią (2020 r.) oraz zimową (2021 r.) – w celu określenia zmian sezonowych badanych związków. Pobrane w oczyszczalni ścieki były transportowane do laboratorium, gdzie po odpowiednim przygotowaniu analizowano je z zastosowaniem chromatografu gazowego sprzężonego ze spektrometrem mas. – *Chromatografia to technika separacji, która ma za zadanie rozdzielić próbkę na poszczególne frakcje, natomiast zastosowanie spektrometrii mas ma na celu zarówno wyznaczenie zawartych w niej substancji, jak i określenie ich stężeń* – wyjaśnia prof. Styszko. W celu oszacowania stopnia narażenia ludzi na WWA konieczna była znajomość procesów metabolizmu WWA i odpowiednie obliczenia wsteczne.

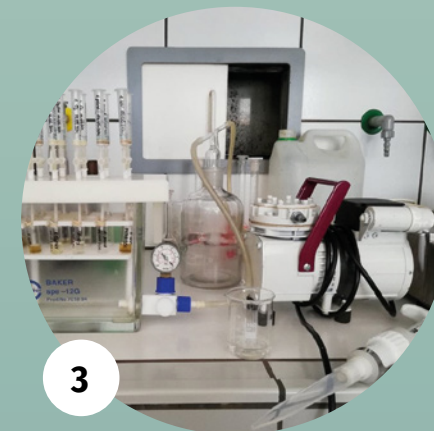
Pierwsze wyniki prac laboratoryjnych wskazały na wysoką zależność sezonową narażenia mieszkańców Krakowa na WWA. Pozytywne efekty prowadzonych badań pozwolą na rozszerzenie analityki ścieków w innych miastach – nie tylko w Polsce, ale także w Europie. Umożliwią również ocenę ryzyka związaną z transportem do środowiska wodnego hydroksylowych pochodnych WWA, które – jak się okazało – nie są całkowicie usuwane w oczyszczalni ścieków, a w ocenie badaczy mogą być nawet bardziej toksyczne od związków wyjściowych.



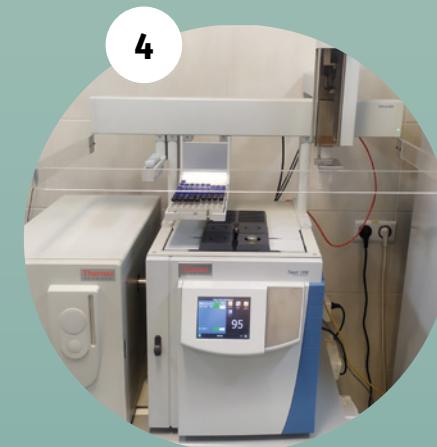
1



2



3



4

zespół pod kierownictwem  
**dr hab. inż. Katarzyny Styszko, prof. AGH**  
Wydział Energetyki i Paliw  
Katedra Chemii Węgla i Nauk o Środowisku

projekt sfinansowany z grantu uczelnianego  
w ramach programu IDUB

Procedura postępowania:

1. Pobranie próbek ścieków w oczyszczalni
2. Filtracja
3. Ekstrakcja do fazy stałej
4. Analiza przy użyciu chromatografu gazowego ze spektrometrem mas (GC-MS)

## Fusy z kawy – surowiec do produkcji nowatorskich materiałów ceramicznych

**Na świecie produkuje się rocznie około 10 mln ton kawy ziarnistej. Gdyby cały roczny zbiór zmielić i przyrządzić z niego napój, pozostanie po tym procesie tożsama masa fusów, powiększona dodatkowo o zawartość nieodfiltrowanej wody. Odpad ten nie jest neutralny dla środowiska, bo podczas składowania na wysypiskach śmieci emituje metan, jeden z gazów uczestniczących w procesie cieplarnianym. Nic dziwnego, że szuka się sposobów na jego wtórne zagospodarowanie.**

Po odpowiednim spreparowaniu fusy wykorzystuje się m.in. jako nawóz, biodegradowalny surowiec do produkcji przemysłowej czy biopaliwo. Dr inż. Ewelina Kłosek-Wawrzyn z Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki pracuje nad wykorzystaniem fusów jako ekologicznego surowca do produkcji porowatych materiałów ceramicznych. Takie materiały przewodzą ciepło gorzej niż materiały lite, dzięki czemu w przemyśle budowlanym używa się ich w celu zwiększenia właściwości termoizolacyjnych budynków.

Pory w materiałach ceramicznych uzyskuje się w wyniku wypalania gliny wymieszanej z dodatkami. Te ostatnie w procesie produkcji ulegają spaleniowi, pozostawiając po sobie mikroprzestrzenie wypełnione gazem. W tradycyjnej ceramice budowlanej jako dodatek poryzujący stosuje się najczęściej pulpę celulozową lub trociny. Zastąpienie ich w procesie fusami z kawy, które mają dużo wyższą wartość opałową, pozwala zaoszczędzić paliwo używane w celu wytworzenia ciepła. – *Co więcej, fusy odbierane z kawiarni w stanie mokrym zawierają od 55 do 60 proc. wody. Zwykle w przemyśle materiałów budowlanych wytwarzanych na bazie gliny musimy dodać do niej wodę, żeby uzyskać jej stan plastyczny. Natomiast tutaj, jeżeli będziemy umieli odpowiednio poprowadzić proces produkcyjny, dodawanie wody nie będzie w ogóle potrzebne* – mówi dr inż. Kłosek-Wawrzyn. Do badań wykorzystuje mieszanekę fusów z dwóch sieci kawiarni. Mimo iż pochodzą z różnych źródeł, różnią się jedynie zawartości wody, natomiast cechuje je taka sama ziarnistość oraz zbliżona wartość opałowa.

Sam pomysł, aby pozostałości po parzeniu kawy wykorzystać jako dodatek do gliny przy produkcji porowatych materiałów ceramicznych, nie jest nowy. Wyzwaniem dla inżynierów jest natomiast taka optymalizacja procesu, aby uzyskać materiał posiadający pożądane parametry termoizolacyjne, który jednocześnie będzie spełniał standardy w zakresie wytrzymałości me-

chanicznej. Materiały wykorzystywane w budownictwie muszą przenosić bardzo duże naprężenia, a dodanie do gliny zbyt dużej ilości materiałów wypalających się osłabia ich odporność.

– *Obecnie wytwarzane materiały budowlane mają moim zdaniem zbyt wysokie parametry wytrzymałościowe, co przekłada się na mniejsze właściwości termoizolacyjne. W naszym materiale chcemy znaleźć optimum pomiędzy właściwościami termoizolacyjnymi a wytrzymałościami. Natomiast nie stawiamy na konstrukcje wysokie, tylko jedno- i dwukondygnacyjne, gdzie wytrzymałość materiału nie musi być aż tak bardzo duża, przez co może on mieć wyższą porowatość, a co za tym idzie lepsze właściwości termoizolacyjne. Dzięki temu, że całkowicie zmodyfikowaliśmy proces wytwarzania, możemy wprowadzić znacznie więcej fusów z kawy do materiału, niż dotąd opisano w literaturze, i uzyskać lepsze parametry termoizolacyjne rzędu 0,15–0,25 wata na metr-kelwin* – deklaruje dr inż. Kłosek-Wawrzyn.

Dr inż. Kłosek-Wawrzyn swoje badania prowadzi wraz ze współpracownikami z Katedry Technologii Materiałów Budowlanych WIMiC w warunkach laboratoryjnych. Preparuje próbki materiałów ceramicznych, dobierając różne proporcje poryzatora w postaci fusów, a następnie poddaje je szczegółowej analizie. – *Przede wszystkim badamy efektywny współczynnik przewodzenia ciepła, wykorzystując aparat płytowy w układzie stacjonarnym – relacjonuje naukowczyni. – Testujemy wytrzymałość na ściskanie, ponieważ materiały konstrukcyjne w swoim środowisku pracy są poddawane siłom ściskającym. Analizujemy gęstość i porowatość, ale również stosujemy inne techniki, np. skaningową mikroskopię elektro-nową, żeby zobaczyć, jak wygląda mikrostruktura badanego tworzywa, to znaczy jaki jest w nim układ porów oraz czy występują spękania. Dzięki temu możemy regulować proces wytwarzania i kształtować kierunki dalszych badań.*



Aparat płytowy do badania współczynnika przewodzenia ciepła tworzyw otrzymywanych z gliny i fusów kawowych, pracujący w zakresie przewodności od 0,1 W/(m·K) do 10 W/(m·K)



Fusy z kawy oraz otrzymane z ich dodatkiem tworzywo ceramiczne

zespół pod kierownictwem **dr inż. Eweliny Kłosek-Wawrzyn** Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Katedra Technologii Materiałów Budowlanych

projekt sfinansowany z grantu uczelnianego w ramach programu IDUB

## Gazary – lekkie i wytrzymałe tworzywo do innowacyjnych zastosowań

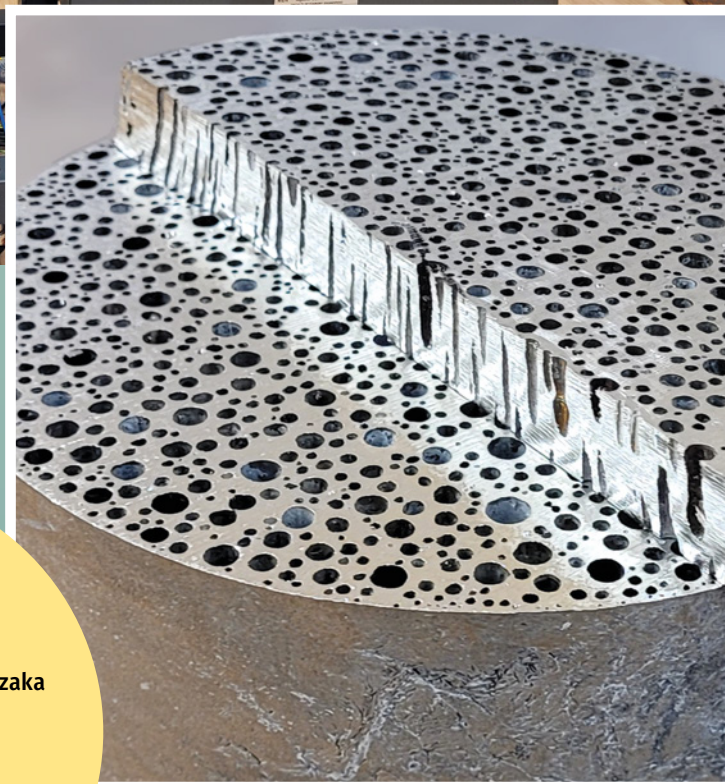
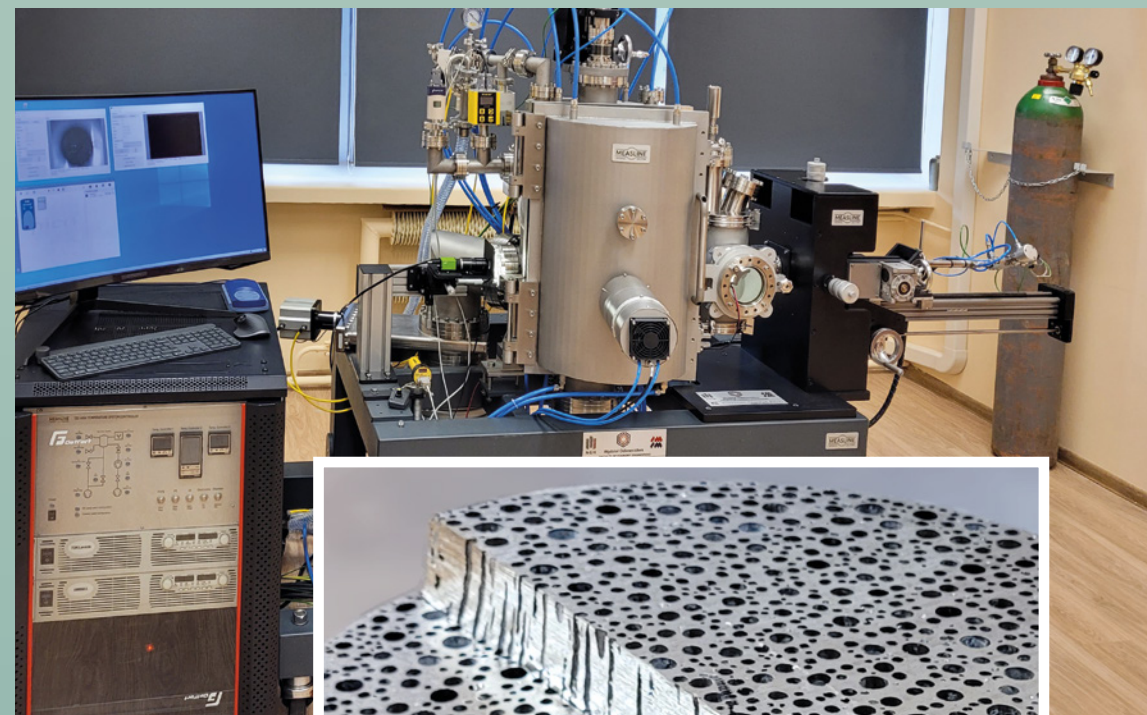
**Ultralekkie, wytrzymałe, pochłaniające dźwięki i energię, tłumiące drgania mechaniczne – to niektóre z właściwości, jakie posiadają gazary, wysokoporowate materiały na bazie magnezu. Mogą one zmienić nasze codzienne życie – dosłownie uczynić je lżejszym. Korzyści z ich zastosowania są wielorakie. Zmniejszenie wagi przedmiotów powszechnego użytku, np. laptopów, poprawia komfort ich użytkowania. Obniżenie masy pojazdu ogranicza zużycie energii, a tym samym niekorzystny wpływ na środowisko naturalne. Dlatego w AGH trwają prace nad rozwojem technologii otrzymywania tych szczególnych materiałów.**

Gazary, struktury typu lotos czy – jak nazywamy je w kraju – DioPoMat-y to nowa grupa materiałów porowatych o unikatowych właściwościach eksploatacyjnych, mogących wpłynąć na poprawę wielu aspektów naszego życia. Są one wytwarzane w specjalnych autoklawach w obecności wodoru, gazu powszechnie już wykorzystywanego np. do napędu pojazdów elektrycznych. Proces ten ze względu na stosowanie wodoru może wyglądać niebezpiecznie, jednakże współczesna wiedza i technologia pozwalają robić to w sposób niezagrożony, z wykorzystaniem mieszaniny także innych, mniej wybuchowych gazów. W tym przypadku wodór nie pełni roli magazynu energii np. elektrycznej, a jest czynnikiem kreującym strukturę materiału porowatego. Kontrolując stężenie atomów wodoru, temperaturę i ciśnienie, mamy praktycznie nieograniczone możliwości tworzenia struktur o ukierunkowanym rozkładzie porów. Dzięki temu gazary, które zawierają nawet do 70% objętości wodoru, są superlekkie, a dodatkowo mają zespół cech materiałowych nieobecnych w innych materiałach porowatych, np. pianach metalowych bądź syntaktycznych.

Gazary doskonale pochłaniają fale dźwiękowe i energię, tłumią drgania, innymi słowy: mają wysoką zdolność tłumienia (ang. *damping capacity*), a także bardzo dobrze przenoszą wyższe temperatury, jeżeli są na bazie ceramiki. Ponadto bardzo dobrze sprawują się tam, gdzie masa jest wartością kluczową, czyli we wszelkiego rodzaju urządzeniach poruszających się na Ziemi i poza nią. To z kolei jest cechą poszukiwaną praktycznie w każdym przemyśle – od motoryzacyjnego, przez zbrojeniowy, po kosmiczny. Przemysł samochodowy i lotniczy dążą do tego, żeby materiały, z których wytwarzane są części do różnego typu pojazdów, były wytrzymalsze, a jednocześnie

nie lżejsze, żeby stosunek wytrzymałości do gęstości był jak największy. I to jest aktualnie główny cel innowacji w całym przemyśle światowym. Gazary mogą być stosowane jako lekkie materiały konstrukcyjne, absorbenty promieniowania czy energii uderzenia, rozpylacze/mieszalniki paliwa. Obecnie znajdują zastosowanie jako filtry w przemyśle chemicznym, filtry do insuliny w medycynie, radiatory, części raket i silników odrzutowych, elementy aparatury kosmicznej czy też implanty w chirurgii odtworzeniowej.

W Laboratorium Inżynierii Ciekłego Metalu na Wydziale Odlewnictwa prowadzone są badania nie tylko nad zjawiskami tworzenia się struktur porowatych w obecności gazów aktywnych, ale również nad interakcjami zachodzącymi pomiędzy materiałami stosowanymi do budowy autoklawów. Zespół prof. Jerzego J. Sobczaka we współpracy z Instytutem Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie i firmą MeasLine opracował mobilne stanowisko do badań właściwości ciekłych metali, stopów, szkieł, żużli i innych substancji w szerokim zakresie temperatury topnienia. Umożliwia ono odtworzenie w skali laboratoryjnej warunków, jakie panują w trakcie syntezy gazarów, i przez to lepsze zrozumienie samego procesu tworzenia się ukierunkowanej porowatości. Urządzenie laboratoryjne pozwala „zajrzeć” badaczom w miejsca do tej pory niedostępne ze względu na ciśnienie i wysokie temperatury panujące wewnątrz reaktora ciśnieniowego. Badania nad dalszym rozwojem metod syntezy gazarów, poprawą wydajności procesu czy kontroli nad otrzymywaną strukturą staną się szerzej dostępne po zakończeniu dwóch obecnie realizowanych projektów (OPUS16 i OPUS21) finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki.



zespół pod kierownictwem  
**prof. dr. hab. inż. Jerzego J. Sobczaka**  
Wydział Odlewnictwa  
Katedra Tworzyw Formierskich,  
Technologii Formy i Odlewnictwa  
Metali Nieżelaznych

## Grunt to zdrowy kręgosłup. Robotyczne wspomaganie rehabilitacji

Rehabilitacja jest procesem długotrwałym, wymagającym dużo cierpliwości, regularności i zaangażowania zarówno pacjenta, jak rehabilitanta. Aby przyniosła zamierzony skutek, konieczne jest korzystanie nie tylko z różnego rodzaju technik i ćwiczeń, ale także wspomaganie się odpowiednio zaprojektowanymi narzędziami i sprzętem medycznym.

Na potrzebę tę może odpowiadać urządzenie do samodzielnej rehabilitacji w schorzeniach kręgosłupa, mięśni i układu nerwowego opracowane przez prof. dr. hab. inż. Jerzego Kwaśniewskiego i dr. inż. Szymona Molskiego z Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. Jest to chroniony patentem PL 226008 i zgłoszeniem patentowym P.431381 zautomatyzowany system podwieszenia pacjenta wyposażony w urządzenie do stymulacji mięśni.

Opracowane rozwiązanie technologiczne pozwala na generowanie samodzielnego, precyzyjnego i płynnego ruchu w odciążeniu poszczególnych segmentów ciała z równoczesną zmianą ich położenia w trzech płaszczyznach – w dowolnej konfiguracji dla każdej pary siłowników. Konfiguracje te obejmują:

- ▶ ruchy skrętne, podnoszenie i opuszczanie głowy, ramię i bioder (o różnych amplitudach, prędkości ruchu, częstotliwości itp.),
- ▶ ruch boczny tułowia,
- ▶ ruchy kończyn z zastosowaniem napędów bębnowych,
- ▶ możliwość generowania składowej wzdłużnej kręgosłupa oraz ćwiczenia w częściowym lub całkowitym odciążeniu połączone lub niepołączone z trakcją.

Dzięki temu, że system pracy siłowników jest w pełni zautomatyzowany, osiągalna jest duża precyzja generowanego ruchu w warunkach pełnego bezpieczeństwa pacjenta i kontroli procesu rehabilitacji.

Urządzenie łączy zatem w sobie funkcje wielopłaszczyznowej trakcji kręgosłupa z możliwością ćwiczeń w odciążeniu częściowym lub całkowitym, dając duże

**Dolegliwości w obrębie układu mięśniowo-szkieletowego, a szczególnie schorzenia kręgosłupa to jeden z najpowszechniejszych problemów zdrowotnych w krajach wysoko rozwiniętych. Szacuje się, że patologiczne krzywizny w płaszczyźnie czołowej kręgosłupa dotyczą aż 68% populacji. Sprawia to, że poza skutecznym diagnozowaniem zespołów bólowych kręgosłupa należy położyć odpowiedni nacisk na profilaktykę chorób grzbietu oraz rehabilitację.**

możliwości pracy z pacjentami chorującymi na zespoły bólowe kręgosłupa zarówno w stanach ostrych, jak i w przewlekłych. Taka funkcjonalność pozwala na odciążenie rehabilitanta, który nie musi już używać własnej siły do dźwigania pacjenta i przeprowadzania rehabilitacji w podwieszeniu. Jest to szczególnie ważne w przypadku pacjentów cierpiących na nadwagę i otyłość. Urządzenie może więc nie tylko usprawnić i udoskonalić proces rehabilitacji, ale i zwiększyć dostępność usług rehabilitacyjnych dla pacjentów bariatrycznych.

W tym celu należy opracować odpowiednie oprogramowanie, które umożliwi dostosowanie urządzenia do indywidualnych potrzeb każdego pacjenta. Oprogramowanie będzie zawierać bibliotekę wybranych jednostek chorobowych wraz z dedykowanymi zestawami ćwiczeń. Pozwoli ponadto na wizualizację modelu kręgosłupa i manualne sterowanie poszczególnymi siłownikami urządzenia. Dzięki danym przesyłanym przez urządzenie oprogramowanie umożliwi stworzenie modelu ruchu kręgosłupa, na podstawie którego dobrane zostaną optymalne metody rehabilitacji. Terapeuci korzystający z urządzenia będą mogli stworzyć własne zestawy ćwiczeń lub skorzystać z gotowych programów, tak by dostosować urządzenie do potrzeb poszczególnych pacjentów. W bazie danych przechowywane będą dane dotyczące częstości wykonywanych przez pacjenta ćwiczeń, co pozwoli terapeutom na weryfikację wypełnienia założonego planu rehabilitacji przez pacjentów oraz umożliwi ocenę poszczególnych sesji rehabilitacyjnych wykonywanych samodzielnie przez pacjentów.

Dalszy rozwój urządzenia i jego funkcjonalności odbywa się obecnie w ramach realizacji projektu konkursowego NCBR „Rzeczy są dla ludzi”, który zakłada finansowanie badań przemysłowych, prac rozwojowych i prac przedwdrożeniowych prowadzonych przez AGH i Warszawską Akademię Techniczną im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie.



**prof. dr hab. inż. Jerzy Kwaśniewski**  
**dr inż. Szymon Molski**

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki  
Katedra Inżynierii Maszyn i Transportu

Prace realizowane w ramach projektu  
„Rzeczy są dla ludzi”/NCBR

## Instalacja do oczyszczania powietrza chroniąca stanowiska pracy przed wirusami

W celu zahamowania rozprzestrzeniania się COVID-19, oprócz prac nad opracowaniem skutecznych terapii i szczepionek, niezbędna jest odpowiednia profilaktyka. Istotna jest w tej kwestii m.in. odpowiednia wentylacja pomieszczeń. Wywołujący chorobę wirus SARS-CoV-2 rozprzestrzenia się bowiem m.in. poprzez aerozole, czyli mieszaninę powietrza oraz cząstek stałych i ciekłych, które każdy człowiek emituje w trakcie oddychania i mówienia, nie wspominając o kaszlu czy kichaniu. Taka chmura, zawierająca patogeny, może przez dłuższy czas przemieszczać się i utrzymywać w zatłoczonych i źle wentylowanych pomieszczeniach.

Inżynierowie z Zespołu Wentylacji i Klimatyzacji Pomieszczeń działającego na Wydziale Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami postanowili zmierzyć się z opisanym problemem. Pracują aktualnie nad systemem oczyszczania powietrza, który w odróżnieniu od tych, które aplikuje się w ogólnych systemach wentylacji i klimatyzacji, jest przeznaczony dla pojedynczego człowieka.

– *Pomysł powstał w wyniku naszych obserwacji i uwzględnienia potrzeb przemysłu, gdzie istnieje konieczność pracy osób w bliskim kontakcie ze sobą bądź transportu ludzi skupionych na małej przestrzeni, np. w górnictwie. Wytworzenie takiego nawiewu umożliwi zminimalizowanie narażenia ludzi na działanie wirusa w opisanych sytuacjach* – tłumaczy dr hab. inż. Marek Borowski, prof. AGH, kierownik projektu.

Testowane rozwiązanie składa się z wentylatora nawiewnego, filtra elektrostatycznego zatrzymującego i neutralizującego drobnoustroje, instalacji nawiewnej oraz dyfuzora sufitowego wykonanego z elastycznego i łatwego do dezynfekcji materiału PET-G. Dyfuzor ma za zadanie wytworzyć strugę nawiewną, która usuwa wydychane powietrze ze strefy pomieszczenia zajmowanej przez użytkownika i jednocześnie nie dopuszcza do zasysania do niej powietrza z zewnątrz.

W trakcie prowadzonych prac naukowcy z AGH zbadali m.in., jaki wpływ na profil strugi powietrza ma miejsce, w którym do skrzynki rozprężnej doprowadzane jest

**Struga czystego powietrza opływa człowieka znajdującego się w pomieszczeniu, usuwa powietrze wydychane przez niego i jednocześnie tworzy barierę przed tym zasysanym z zewnątrz. To zasada działania prototypowej instalacji mającej chronić osoby pracujące w warunkach, które sprzyjają roznoszeniu się wirusów, w tym SARS-CoV-2.**

powietrze z instalacji. – *Skrzynka rozpręża strugę powietrza i powoduje, że jej prędkość obniża się, zanim spłynie przez nawiewnik, gdzie poprzez kierownice czy inne odpowiednie elementy nadawany jest jej odpowiedni profil. Ponadto, obniżając prędkość powietrza, redukuje też poziom hałasu* – wyjaśnia prof. Borowski. – *Dlatego badania nad kształtem skrzynki, kierunkiem, skąd doprowadzane jest do niej powietrze, oraz jego prędkością są bardzo istotne i prowadzone od wielu lat. Ciągłe dążymy do optymalnego kształtu, bo nie zawsze w warunkach zabudowy instalacji istnieje możliwość zastosowania idealnego rozwiązania.*

Wyzwaniem, z którym zmagają się projektanci i producenci systemów HVAC (ang. *Heating, Ventilation and Air-Conditioning*), jest zapewnienie optymalnej funkcjonalności urządzeń przy zachowaniu maksymalnego komfortu użytkownika. Na samopoczucie mają wpływ takie parametry jak temperatura, wilgotność, czystość oraz prędkość nawiewanego powietrza. Ten ostatni parametr decyduje o tym, czy w pomieszczeniu odczuwamy ożywczy powiew, czy nieprzyjemny przeciąg. Wykorzystując pomiary metodą PIV (ang. *Particle Image Velocimetry*) oraz modelowanie komputerowe metodą CFD (ang. *Computational Fluid Dynamics*), badacze z AGH wykazali, że sposób przyłączenia króćca do skrzynki rozprężnej ma znaczący wpływ na sposób rozchodzenia się powietrza z nawiewnika. Mimo iż producenci urządzeń z uwagi na ograniczenia przestrzenne najczęściej stosują skrzynki z przyłączem bocznym, uzyskany w ten sposób profil strugi powietrza jest mniej symetryczny niż w przypadku doprowadzenia powietrza od góry. Naukowcy wskazują, że częściowym rozwiązaniem tego problemu może być instalacja wewnątrz skrzynki paneli perforowanych, jednak może się to odbyć kosztem spadku ciśnienia oraz wzrostu hałasu generowanego przez urządzenie.

Opracowane przez badaczy z AGH rozwiązanie będzie można przeprojektować, np. stosując inny typ nawiewnika, tak by tworzyło barierę ochronną nie wokół pojedynczego człowieka, ale określonej grupy osób.



Test dymowy służący wizualizacji rozptywu powietrza nawiewanego wokół manekina

zespół pod kierownictwem **dr. hab. inż. Marka Borowskiego, prof. AGH** Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami projekt „System oczyszczania powietrza w warunkach narażenia na działanie wirusa COVID-19 do zastosowania na stanowiskach pracy” sfinansowany z grantu uczelnianego w ramach programu IDUB

## Interwencyjna metoda obniżania stężenia pyłów w warstwie smogu

Zanieczyszczenia pyłowe są powodem licznych chorób i przedwczesnych zgonów. Ocena jakości powietrza w Polsce za rok 2020 przygotowana przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska wykazała, że aż w 16 z 45 stref stężenie pyłów  $PM_{10}$  przekracza normy unijne i krajowe. Dlatego niezwykle ważne są wszelkie – także interwencyjne – działania zmierzające do redukcji zapylenia. Można ją osiągnąć, przyspieszając ruchy mas powietrza, tak by nie dopuścić do formowania smogu lub doprowadzić do jego dynamicznego zanikania.

Mechanizm powstawania wysokich stężeń pyłów w warstwie przygrunтовой atmosfery jest ogólnie znany. Niekorzystne warunki meteorologiczne (m.in. brak wiatru i opadów) oraz terenowe (zagłębienia, doliny, kotliny) utrudniają naturalne ruchy mas powietrza, powodując lokalnie wzrost stężenia zanieczyszczeń wyemitowanych na niskich wysokościach. Szczególnie istotna przy powstawaniu smogu jest inwersja termiczna (wzrost temperatury wraz z wysokością w troposferze), która ogranicza pionowy ruch powietrza. Powoduje to, że wszystkie zanieczyszczenia z niskiej emisji są uwięzione w stabilnej masie powietrza poniżej warstwy powietrza cieplejszego, a ich stężenie gwałtownie wzrasta w pobliżu ziemi.

Sposobem rozwiązania tego problemu i doraźnego zmniejszania zanieczyszczenia powietrza może być wynalazek opracowany i rozwijany przez zespół w składzie: prof. dr hab. inż. Jacek Leszczyński, prof. dr hab. Barbara Kubica, prof. dr hab. inż. Wojciech Suwała, dr hab. Marcin Stobiński, prof. AGH, dr hab. Katarzyna Szarłowicz, prof. AGH, dr inż. Janusz Żyśk, dr inż. Filip Jędrzejek i mgr inż. Dominik Gryboś z Wydziału Energetyki i Paliw oraz prof. dr hab. inż. Jerzy Wiciak i dr inż. Dorota Czopek z Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. Technologia polega na interwencyjnej redukcji stężenia pyłów zawieszonych  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  dzięki rozbijaniu warstwy inwersyjnej poprzez generowanie ciepłych fal uderzeniowych. Powstają one w specjalnym generatorze w wyniku zapłonu mieszanki gazowo-powietrznej. Poprzez wygenerowanie ciągu kilkuset takich fal w ciągu godziny powstaje wymuszony efekt kominowy, który transportuje zimne powietrze wraz z zawieszonymi pyłami ponad powietrze cieplejsze. W efekcie przywracane są częściowo mechanizmy naturalnej konwekcji mas powietrza.

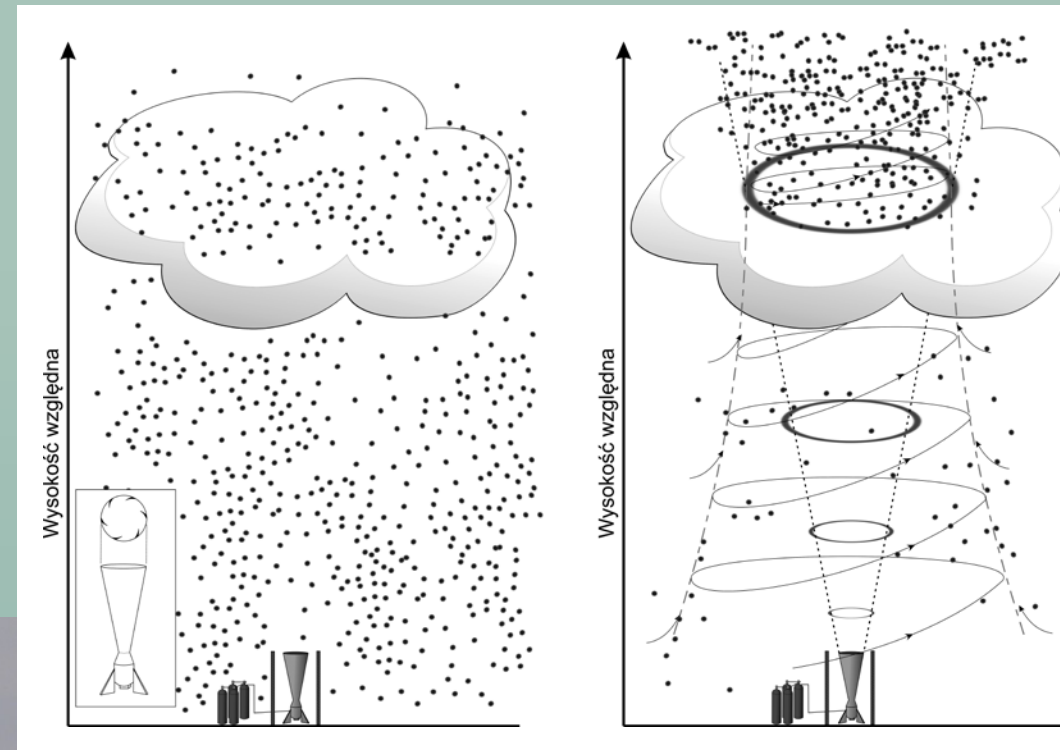
Rozwiązanie składa się z generatora fal uderzeniowych, mobilnej aparatury pomiarowej oraz specjalnego

algorytmu operacyjnego. System monitorowania jakości wyposażony jest w bezałogowy statek powietrzny, który mierzy stężenie zanieczyszczeń oraz warunki meteorologiczne. Poprzez przekazanie danych pomiarowych do jednostki centralnej ustalane są położenie oraz parametry warstwy inwersyjnej, a także stężenie pyłów w profilu wysokościowym. Na podstawie tych informacji dobierana jest częstotliwość i czas trwania generacji fal uderzeniowych.

Dwuletnie doświadczenia wykazały, że system jako jedno z nielicznych dostępnych rozwiązań może przyczynić się do doraźnej lokalnej poprawy jakości powietrza, w trakcie krótkiej interwencji redukując stężenie pyłów  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$  na obszarze do 4 km<sup>2</sup> o co najmniej 15%, a maksymalnie aż o 70%.

Wynalazek został zgłoszony w Polskim i Europejskim Urzędzie Patentowym. Twórcy liczą, że w krótkim czasie możliwe będzie wykorzystanie go do działań interwencyjnych w celu skrócenia czasu ekspozycji ludzi na zanieczyszczenia poprzez przeciwdziałanie formowaniu smogu i skrócenie okresów stagnacji oraz przyspieszenie procesu zanikania smogu. Naukowcy planują przekazać projekt w fazie wdrożenia do wybranych gmin, z którymi zostały już podpisane porozumienia o współpracy. System docelowo powinien być szeroko stosowany w razie potrzeby, podobnie jak aktualnie działają służby drogowe w czasie wystąpienia oblodzenia.

Prace nad systemem ciągle trwają, szczególnie w kwestii algorytmu decyzyjnego, który pozwalałby na automatyczne rozpoczęcie interwencji na podstawie danych wejściowych uzyskanych dzięki analizie warunków meteorologicznych sprzyjających powstaniu warstwy inwersyjnej. Inne kierunki badań to również modyfikacja konstrukcji generatora celem wzmocnienia oddziaływania oraz zmniejszenia emitowanego hałasu.



zespół pod kierownictwem  
**prof. dr hab. inż. Jacka Leszczyńskiego**  
Wydział Energetyki i Paliw  
Katedra Maszyn Ciepłych i Przepływowych

prace prowadzone w ramach projektu  
„Inkubator Innowacyjności 4.0”/MEiN



## Jak informatyka wspiera detektywów. LINK2 – system wspomagania analizy kryminalnej

**Proces analizy kryminalnej jest złożony i często opiera się na ogromnej ilości danych. Praca analityka ma na celu pozyskanie informacji, które nie są dostępne wprost, lecz pojawiają się dopiero po przeprowadzeniu wnikliwego oglądu dostępnych danych pod różnymi kątami. Biorąc pod uwagę dużą pracowitość czynności analitycznych i ograniczone możliwości percepcji człowieka, stwierdzono, że proces ten można znacząco uprościć dzięki zastosowaniu narzędzi informatycznych.**

Opracowanie i wdrożenie narzędzi odpowiadających na realne potrzeby instytucji odpowiedzialnych za bezpieczeństwo publiczne wymaga doświadczonego interdyscyplinarnego zespołu złożonego z naukowców, programistów, testerów i analityków – takiego jak Zespół Laboratorium Informatyki Śledczej AGH, który stworzył środowisko LINK2 – kompleksowe rozwiązanie informatyczne przeznaczone do wspierania pracy analityków kryminalnych. Oprogramowanie to, „uszyte na miarę” potrzeb polskich służb bezpieczeństwa publicznego i ekspertów dziedzinowych, udostępnia zestaw narzędzi do integracji, wstępnego przetwarzania oraz wizualizacji danych pochodzących z różnych źródeł.

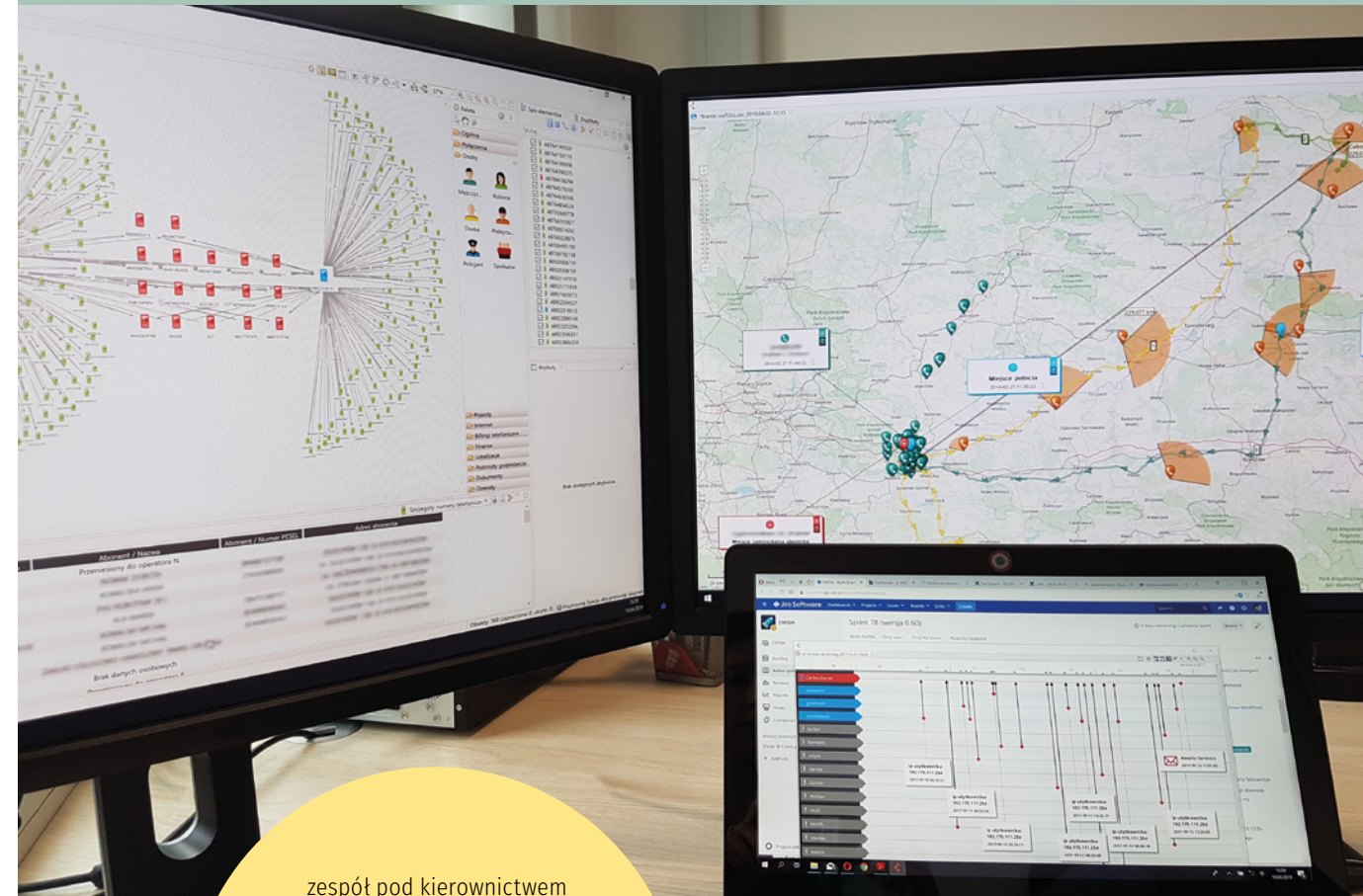
Jednym z pierwszych kroków w procesie analizy danych jest ich przygotowanie. Na podstawie doświadczeń oraz opinii analityków z pewnością można stwierdzić, że nie istnieje ustandaryzowana forma danych podlegających analizie. Dlatego istotnym i rozbudowanym elementem środowiska LINK2 jest zestaw narzędzi wspomagających import danych. Mają one formę graficznego kreatora, który prowadzi użytkownika krok po kroku przez cały proces. Podczas importu sprawdzana jest poprawność i kompletność danych w kontekście wybranych dziedzin.

Celem procesu analizy jest stawianie i weryfikacja hipotez, co odbywa się zazwyczaj poprzez odkrywanie istotnych relacji pomiędzy obiektami w dużej ilości powiązanych informacji. W procesie tym pomocne jest wykorzystanie wielu różnorodnych algorytmów i heurystyk. Przykładem takich narzędzi jest wyszukiwanie potencjalnych spotkań, odkrywanie i wyszukiwanie wzorców czy wielokryterialne filtrowanie i wyszukiwanie danych. Narzędzia te pozwalają na skupienie uwagi analityka na istotnych (z pewnego punktu widzenia) danych. Użytkownik może również obejrzeć statystyki ukazujące zbiorczą informację o analizowanych zbiorach danych, np. listę

najczęściej komunikujących się obiektów, ich aktywność i profile czasowe.

Kolejną ważną cechą środowiska LINK2 są metody wizualizacji pozwalające na odkrywanie i edycję danych oraz przygotowywanie końcowych raportów przeznaczonych do dalszego postępowania. W środowisko wbudowane są trzy edytory graficzne. Edytor schematyczny dostarcza narzędzi wspomagających wizualizację obiektów (jako węzłów grafu) i powiązań między nimi (jako krawędzi grafu). Pozwala na przejrzyste ułożenie elementów grafu, warunkowe zaznaczanie elementów oraz rozpoznawanie i scalanie podobnych węzłów. Edytor mapowy stworzono z myślą o usprawnieniu analiz prowadzonych w oparciu o dane geograficzne. Oprócz możliwości ich importu z heterogenicznych źródeł wypracowane zostały metody wizualizacji trasy przejazdów, różnych rodzajów zdarzeń, danych adresowych czy obiektów telekomunikacyjnych. Edytor został również wyposażony w narzędzia umożliwiające filtrowanie obiektów względem czasu wystąpienia powiązanych z nimi zdarzeń. Edytor czasowy z kolei ukazuje chronologię zdarzeń na osi czasu oraz pokazuje relacje między obiektami (np. spotkanie, połączenie telefoniczne, transakcja finansowa), co jest szczególnie przydatne w analizie sekwencji zdarzeń oraz analizie korelacji pomiędzy zdarzeniami dotyczącymi różnych obiektów (typowej np. przy badaniu przestępstw gospodarczych).

Dzięki współpracy z funkcjonariuszami formacji odpowiedzialnych za bezpieczeństwo możliwe było ustalenie szczegółowych wymagań wobec aplikacji i zrealizowanie w pełni funkcjonalnej wersji, która została pozytywnie zweryfikowana w praktyce (podpisano sto kilkadziesiąt umów licencyjnych z jednostkami bezpieczeństwa publicznego w całym kraju, a liczba aktywnych użytkowników sięga kilku tysięcy). Potwierdzają to również nagrody przyznane przez policję i straż graniczną.



zespół pod kierownictwem **prof. dr. hab. inż. Marka Kisiel-Dorohinickiego**, dr. inż. Jacka Dajdy i dr. inż. Kamila Piętaka Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji Instytut Informatyki

projekty finansowane ze środków NCBR

## Kolektywna inteligencja i elektroniczna republika. Internet a partycypacja społeczna

**W jaki sposób Internet może zwiększyć udział obywateli w sferze publicznej? Czy zjawisko kolektywnej inteligencji pomoże nam we wdrożeniu nowego modelu uczestnictwa w debacie publicznej? Na te pytania stara się odpowiedzieć grupa badawcza ds. zastosowań ICT (ang. *Information and Communication Technologies*, czyli technologii informacyjno-komunikacyjnych) w sferze publicznej, działająca na Wydziale Humanistycznym AGH.**

W starożytnej Grecji podejmowanie decyzji dotyczących całej wspólnoty dokonywało się podczas zgromadzeń na agorze, gdzie prowadzono również debaty dotyczące przyszłości *polis*. Współcześnie takim miejscem miał się stać Internet: wiązano z nim nadzieje na stworzenie przestrzeni, w której obywatele będą rozmawiać i wspólnie decydować o losach państwa. Ten właśnie ideał dr Rafał Olszowski, kierujący grupą badawczą, określa nazwą elektronicznej republiki.

Najbardziej rozpowszechnionym modelem partycypacji obywatelskiej jest obecnie demokracja pośrednia, mniej popularnym – demokracja bezpośrednia, w której obywatele sami dokonują wyborów w drodze głosowania, mając tym samym istotny wpływ na rządzenie krajem. Przykładem tej drugiej może być demokracja elektroniczna, która ma celu zaangażowanie wszystkich obywateli w sprawy publiczne poprzez wykorzystanie technologii teleinformatycznych, pozwalających na organizowanie internetowych referendum. Wobec demokracji bezpośredniej podnosi się niekiedy zarzut, że w istocie oznacza ona rządy tłumu, a przecież o wiele lepsze są rządy ekspertów. Czy jednak faktycznie tak jest?

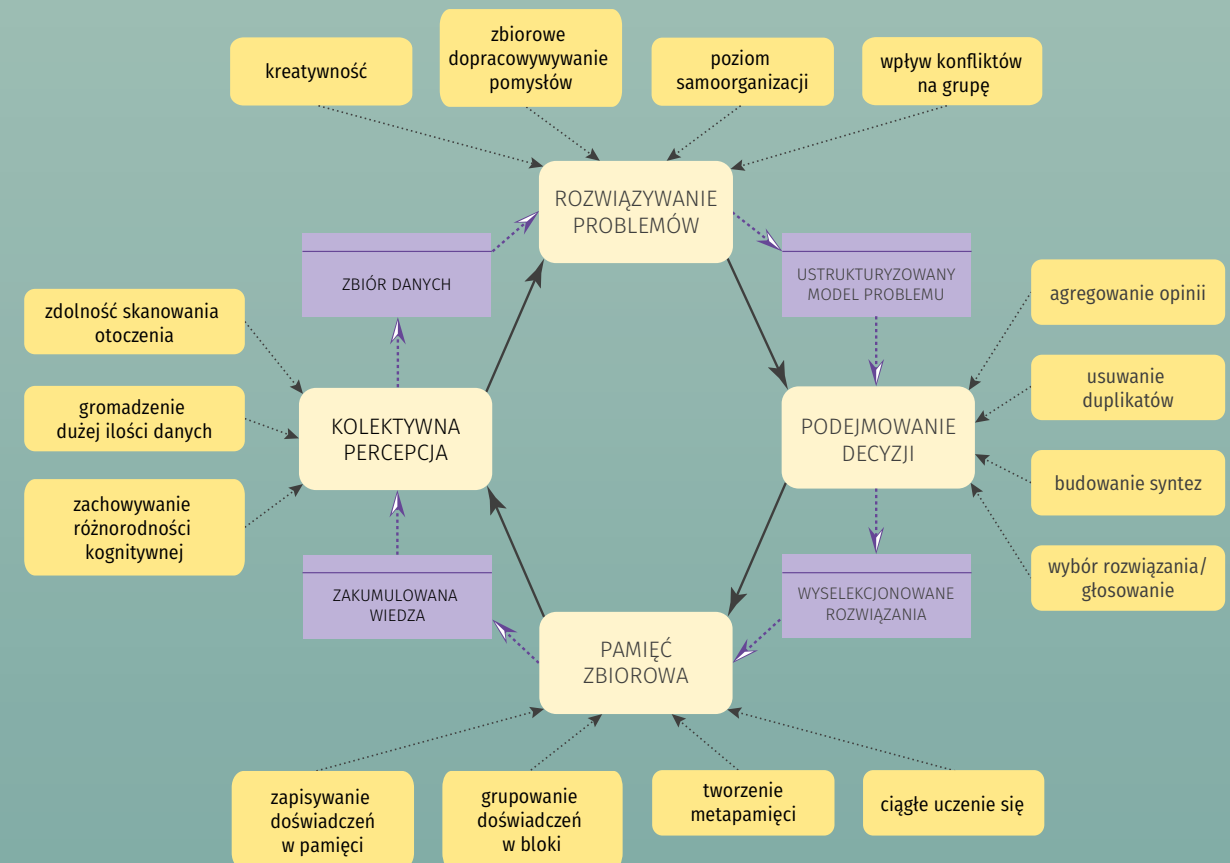
Naukowcy badający fenomen mądrości tłumu analizują procesy przepływu ogromnych zbiorów danych, z których próbują wydobyć pewne prawidłowości. Porządkując na przykład wielkoskalowy ruch i zachowania w Internecie, stwierdzają, że uśredniona odpowiedź masy anonimowych internautów czasem sprawdza się lepiej od opinii ekspertów. By mądrość tłumu mogła zaistnieć, muszą jednak zostać spełnione pewne warunki. Po pierwsze, istotna jest różnorodność kognitywna, czyli stan, w którym tłum prezentuje zróżnicowane punkty widzenia. Po drugie, ważne jest, by odpowiedzi były udzielane w sposób autonomiczny, czyli były niezależne. Po trzecie, liczą się struktura i jakość przedstawianych argumentów, a także model prowadzenia debaty – deliberacyjny bądź agonistyczny.

Uczeni z AGH analizują kolektywną inteligencję, badając w pierwszej kolejności mniejsze grupy – społeczności lokalne lub miejskie. Skupiają się jednak również na debacie publicznej realizowanej w dużej skali, w szczególności na portalu Twitter. Dzięki integracji używanego oprogramowania z API Twittera i narzędziom informatycznym przygotowanym w języku R (za prace programistyczne odpowiada mgr Piotr Pięta) gromadzone są duże zbiory wypowiedzi, analizowane następnie pod kątem zależności grupowych, sentymentu, polaryzacji opinii i zrównoważenia debaty.

– *Badania dowiodły, że jeśli pewna grupa ma podjąć zbiorową decyzję, różny styl myślenia członków tej społeczności, czyli właśnie różnorodność kognitywna, przekłada się często na lepszy rezultat. Najlepiej jednak, gdy reprezentują oni pewne wspólne wartości i cele, a także mają poczucie grupowej tożsamości* – przekonuje dr Olszowski. Na podstawie wniosków wyciągniętych z obserwacji inicjatyw społecznych realizowanych online – takich jak np. budżet obywatelski miasta Krakowa – zespół opisuje procesy kognitywne wpływające na zbiorową inteligencję. Grupa zastanawia się również, jaki model polityczny pasuje dobrze do systemu, w którym obywatel bierze aktywny udział w tworzeniu elektronicznej republiki. – *Analizujemy istniejące inicjatywy i zastanawiamy się, jaki mają one wpływ na tworzenie polityk publicznych, a także na przyjęty model obywatelstwa. Innymi słowy, próbujemy odpowiedzieć na pytanie, kim jest obywatel w elektronicznej republice – czy jest faktycznie współtwórcą sfery publicznej, czy raczej konsumentem, jak to jest w modelu liberalnym, gdzie otrzymuje on pewne usługi, za które płaci podatki* – tłumaczy dr Olszowski i podsumowuje: – *Małe społeczności wspomagane ICT mogą być silnym elementem sfery publicznej. Powinny równoważyć instytucje państwowe, działające w formie biurokracji, a także wielkie korporacje medialne, które coraz mocniej oddziałują na Internet.*

zespół pod kierownictwem  
**dr. Rafała Olszowskiego**  
Wydział Humanistyczny

projekt „Kolektywna inteligencja w Internecie: zastosowania w sferze publicznej, metody badania i modele partycypacji obywatelskiej” realizowany w ramach programu SONATINA 2/NCN



## Ku zrównoważonym technologiom energetycznym. Bezpieczne magazynowanie wodoru

**Magazynowanie i konwersja energii są wielkimi wyzwaniami XXI w. Bezpieczne magazynowanie wodoru to niezbędny element opartych na tym pierwiastku systemów energetycznych/zasilających. Obecnie szeroko wykorzystuje się magazynowanie wodoru w formie gazowej pod wysokimi ciśnieniami sięgającymi 700 bar lub w formie ciekłej w bardzo niskich temperaturach (20 K). Jednak dla wielu zastosowań żadne z tych rozwiązań nie jest optymalne z uwagi na wysoki koszt wynikający z zaawansowania technologicznego tych rezerwuarów. Dlatego pracuje się nad technologiami, które pozwolą na przechowywanie dużych ilości wodoru w małej objętości, bez konieczności utrzymywania wysokich ciśnień lub ekstremalnie niskich temperatur.**

Na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej opracowano koncepcję obrazowania oraz analizy ilościowej zbiorników na wodór (podczas ładowania lub rozładowywania), co stanowiło nowość na skalę światową. Wykazano, że założenia leżące u podstaw budowy rezerwuarów wodoru były mylne.

Tworzenie się wodoru metalu jest reakcją silnie egzotermiczną, dlatego kluczem jest zarządzanie przepływem ciepła, przy jednoczesnym zapewnieniu możliwości ekspansji objętościowej materiału zachodzącej podczas wodorowania. Badania wskazały, w jaki sposób należy projektować zbiorniki na wodór, aby uzyskać odpowiednią wydajność. Wykazano, że nanokompozytowanie materiału aktywnego z np. grafitem, będącym plastyczną matrycą transportującą ciepło, pozwala na znaczny przyrost efektywności rezerwuarów. Kompozytowanie zapobiega uwalnianiu się nanocząstek, które wędrując wraz z wodorem przez instalacje, uszkodzają elementy ruchome, np. zawory.

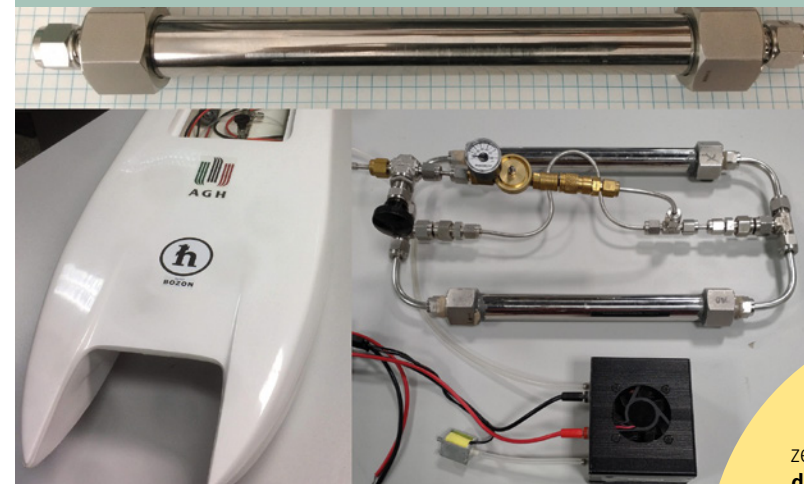
Zespół Badań Strukturalnych, Magnetycznych i Aplikacyjnych z Katedry Fizyki Ciała Stałego opracował technologię obrazowania na żywo zbiorników do magazynowania wodoru w formie związanej w wodorkach metali. Badania prowadzono we współpracy z Helmholtz-Zentrum Berlin, gdzie wykorzystywano wiązkę neutronów z reaktora badawczego BERII. Uczeń z zespołu – dr hab. Łukasz Gondka, prof. AGH, dr Joanna Czub i mgr inż. Anna Zarzecka – wdrożyli technikę obrazowania neutronowego do badań zachowania wodoru wnikającego do materiałów metalicznych, gdzie może zostać

zmagazynowany pod niewielkim ciśnieniem w temperaturze pokojowej. Dzięki tej technice możliwe jest obserwowanie online procesów zachodzących w pracującym zbiorniku na wodór. Pozwala to na optymalizację konstrukcji zbiornika i zwiększenie wydajności. Pokazano, że podczas pracy zbiornika głównym czynnikiem limitującym szybkość działania jest konieczność odprowadzania ciepła i zmiany objętości materiału metalicznego. Materiał po zaabsorbowaniu wodoru potrafi zwiększyć swoją objętość o ponad 15%. Badania wskazały, że efektywność można znacząco poprawić, wykorzystując kompozyty, które zawierają materiał aktywny (np.  $TiMn_2$ ) i materiał transportujący ciepło (np. grafit).

Magazynowanie wodoru w związkach metalicznych ma zastosowanie w magazynach stacjonarnych wodoru, w transporcie szynowym oraz morskim. Wraz ze Studenckim Kołem Naukowym Bozon zespół zaprojektował i zbudował układ zasilania do modelu łodzi napędzanej ogniwem paliwowym. Wykazano, że zbiorniki na wodór pracują stabilnie i nie stwarzają problemów podczas użytkowania.

Oprócz magazynowania wodoru technika jest bardzo przydatna w badaniach baterii wodorkowo-metalicznych (Ni-MH), gdzie umożliwia sprawdzenie działania elektrody, w którą dyfunduje wodór.

Wyniki badań zespołu znajdują przełożenie na zastosowania komercyjne. Korzysta z nich obecnie kilka europejskich firm z branży materiałów i systemów magazynowania związanych z technologiami wodorowymi (GKN Hydrogen, MCPHY, SGL Carbon, GfE).

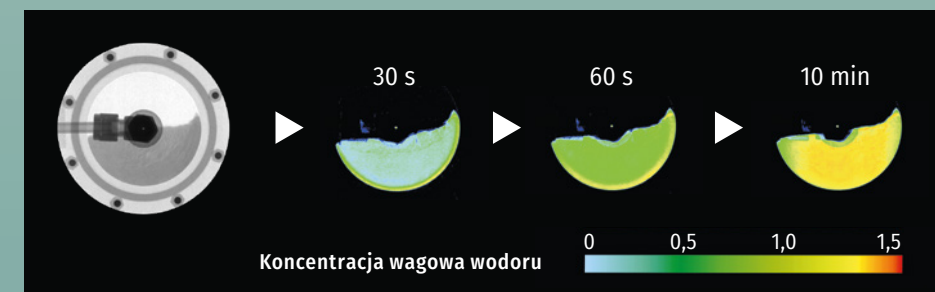
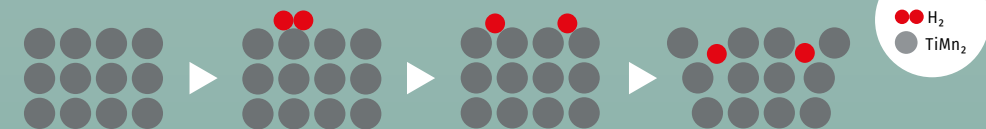


### Układ zasilania łodzi na wodór

W pojedynczym zbiorniczku o długości 20 cm mieści się 2 l wodoru zmagazynowanego w nanokompozycie metalicznym. Układ pozwala na pracę łódki przez ponad 1 h.

zespół pod kierownictwem **dr. hab. Łukasza Gondka, prof. AGH**  
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej  
Katedra Fizyki Ciała Stałego

prace zrealizowane m.in. dzięki projektowi „Nanomaterials for hydrogen storage” w ramach Polish-Norwegian Research Programme



### Pochłanianie wodoru przez metale

- a) obraz poglądowy (dysocjacja molekuly  $H_2$  i absorpcja przez metal –  $TiMn_2$ )  
b) proces widziany przy pomocy obrazowania neutronowego

## Mieszana rzeczywistość w wykrywaniu chorób neurodegeneracyjnych

**Gogle MR/VR to urządzenie, które umożliwia precyzyjne odwzorowanie ruchów użytkownika w cyfrowej rzeczywistości za pomocą szeregu wbudowanych sensorów. Dlaczego nie wykorzystać przetwarzanych w tym celu sygnałów do diagnostyki medycznej?**

Choroby neurodegeneracyjne, którym towarzyszy postępujące i nieodwracalne niszczenie komórek nerwowych, ujawniają się najczęściej w podeszłym wieku. Zważywszy na fakt, że starzenie się społeczeństw jest w krajach rozwiniętych dominującym trendem, w populacji wzrasta również odsetek osób cierpiących na schorzenia neurozwyrodnieniowe. Istotnym problemem staje się więc nie tylko opracowywanie skuteczniejszych sposobów ich leczenia, ale również precyzyjnej i szybkiej diagnostyki.

Podstawowymi metodami oceny stanu pacjentów z zespołami otępiennymi są wywiad lekarski oraz badania obrazowe i fizykalne. Na ich podstawie lekarz wypełnia na papierowych arkuszach skale medyczne, które pozwalają na rozpoznanie choroby oraz stopnia jej zaawansowania. Jest to proces czasochłonny i obarczony potencjalnymi błędami. Opiera się bowiem na subiektywnych odczuciach pacjenta oraz obserwacjach lekarza. Lepiej byłoby więc bazować na twardych danych. W kurs przyszłości może tutaj inżynieria biomedyczna, która od dawna rozwija metody zbierania oraz przetwarzania różnych sygnałów generowanych przez ciało człowieka.

Opracowanie metody rejestracji sygnałów i ich przetwarzania w celu diagnozowania chorób neurodegeneracyjnych – takich jak parkinsonizm czy choroba Huntingtona – to cel, jaki stawia przed sobą zespół kierowany przez dr inż. Darię Hemmerling z Katedry Metrologii i Elektroniki na Wydziale Elektroniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej. Jako narzędzie do pozyskiwania sygnałów naukowcy chcą wykorzystać gogle mieszanej rzeczywistości (MR) HoloLens 2.

Czym jest mieszana rzeczywistość i co odróżnia ją od rzeczywistości wirtualnej (VR)? Ta druga powszechnie kojarzy się z grami wideo – po założeniu specjalnych gogli możemy już nie tylko śledzić akcję na ekranie, ale stać się jej bezpośrednim uczestnikiem. W przypadku rzeczywistości mieszanej mamy natomiast do czynienia z hybrydą świata realnego z wkomponowanymi w niego cyfrowymi obiektami, którymi można manipulować. Coraz częściej wykorzystuje się to w profesjonalnych zastosowaniach. Dzięki temu chirurdzy mogą np. trenować przeprowadzanie zabiegów na trójwymiarowych holo-

gramach organu pacjenta, a technicy planować montaż różnych elementów w fizycznej przestrzeni, posługując się ich wirtualnymi modelami.

Aby takie operacje były możliwe, stworzone do tego gogle wyposażone są w bardzo precyzyjne kamery, mikrofony oraz sensory, które śledzą zachowania użytkownika. To właśnie ich inżynierowie z AGH chcą użyć, aby pozyskać od pacjentów dane diagnostyczne. Dzięki wykorzystaniu mieszanej rzeczywistości pacjentowi może zostać wyświetlona postać lekarza, który poprosi o wykonanie jednej bądź kilku czynności jednocześnie, np. przejście kilku kroków tam i z powrotem, wykonanie określonych zabiegów rękami czy wypowiedzenie kilku słów. System będzie natomiast w czasie rzeczywistym rejestrował dane, które mogą być istotne dla postawienia diagnozy: postawę, płynność ruchów czy artykulację oraz prędkość mowy. Będzie też śledził sakkady, czyli mimowolne ruchy gałek ocznych, które u chorych wyglądają zupełnie inaczej niż u osób zdrowych.

Naukowcy chcą, aby opracowane przez nich rozwiązanie pozwalało na postawienie poprawnej diagnozy z 80-procentową skutecznością. Jeśli to się uda, będzie to pierwsze na świecie narzędzie, które pozwoli na jednoczesną rejestrację i analizę wielu sygnałów istotnych w procesie wykrywania chorób neurodegeneracyjnych.

– *Wpadliśmy na przyszłościowy pomysł, by mieć jedno urządzenie, które dostarczy nam jeden protokół badania. Pozwoli to na obiektywną ocenę wszystkich parametrów, które możemy za jego pomocą zmierzyć (tak samo u każdego pacjenta, w różnych momentach w czasie itd.). Narzędzie może okazać się bardzo przydatne do uzupełniania skali medycznych, co dziś lekarz robi osobiście w trakcie wizyty. Teraz zamiast wypełniać papiery, będzie mógł skupić się na obserwacji pacjenta, bo badanie przeprowadzi za niego system rozszerzonej rzeczywistości – mówi dr inż. Hemmerling. Naukowczynie ma również nadzieję, że dane uzyskane w ten sposób od dużej liczby pacjentów pozwolą w przyszłości na odkrycie korelacji między poszczególnymi parametrami, dzięki czemu wzrośnie nasza wiedza na temat parkinsonizmu i choroby Huntingtona.*

zespół pod kierownictwem  
**dr inż. Darii Hemmerling**  
Wydział Elektroniki, Automatyki,  
Informatyki i Inżynierii Biomedycznej

projekt „Wykorzystanie mieszanej  
rzeczywistości do diagnostyki i oceny  
stanu chorób neurodegeneracyjnych”  
finansowany z programu  
LIDER/NCBR



Gogle HoloLens 2, które posłużą do badań



## Mgła jako źródło wody, przyroda jako inspiracja. Nowe zastosowanie nanowłókien polimerowych

**Brak dostępu do wody pitnej jest jednym z największych problemów XXI w. Boryka się z nim wiele regionów świata, a pozyskiwanie wody coraz częściej wymaga niekonwencjonalnych metod. Jedną z nich może być wychwytywanie kropeł wody z przepływającej mgły przy użyciu mat z nano- oraz mikrowłókien polimerowych wytworzonych za pomocą elektroprzędzenia.**

Pierwsze komercyjnie dostępne konstrukcje pozwalające na zbieranie wody z mgły (ang. *Fog Water Collectors*, FWC) powstały już w latach 90. ubiegłego wieku. Składają się one z rozciągniętych na metalowych rusztowaniach siatek o specjalnie dobranym splocie, które mają za zadanie wyłapywać krople z przepływającej mgły i sukcesywnie odprowadzać wodę do zbiornika. Istniejące kolektory wymagają jednak modyfikacji poprawiających ich wydajność. Znalezienie metody pozwalającej na efektywniejsze odzyskiwanie wody z mgły stanowi przedmiot badań naukowców na całym świecie. Projekt w tym temacie realizuje także zespół pod kierownictwem dr hab. inż. Urszuli Stachewicz, prof. AGH z Wydziału Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej.

– *Inspiracje bardzo często są czerpane z natury* – mówi członkini zespołu dr inż. Joanna Knapczyk-Korczak. – *Obserwując otaczający nas świat, możemy się dowiedzieć, jak przyroda nauczyła się pozyskiwać wodę w miejscach o jej ograniczonej dostępności.* Doskonałego przykładu dostarcza żuk *Stenocara gracilipes* żyjący w rejonach pustynnych, a więc w warunkach, w których nie ma mowy o tradycyjnych źródłach wody. Strategią na przetrwanie jest dla niego pozyskiwanie wody z mgły występującej wczesnym rankiem. Dzięki pancerzowi łączącemu właściwości hydrofilowe z hydrofobowymi jest on w stanie wyłapywać krople wody przenoszone przez wiatr, które następnie spływają bezpośrednio do jego aparatu gębowego. Inną inspiracją są sieci pajęczce, które pomimo swoich właściwości hydrofobowych zbierają krople wody z deszczu lub mgły. Okazało się, że naśladując naturę, można stworzyć biomimetyczne maty zdolne do zbierania wody z mgły, które nie tylko przypominają sieci pajęczce, ale również mogą łączyć właściwości hydrofobowe z hydrofilowymi. Maty te składają się z włókien polimerowych o średnicach od 100 nm do nawet 5 µm i są wytwarzane w procesie elektroprzędzenia. Elektroprzędzenie to nowoczesna metoda pozwalająca na wytwarzanie nano- i mikrowłókien z roztworów polimerów poddanych działaniu pola elektrycznego. – *Rozciągana w polu*

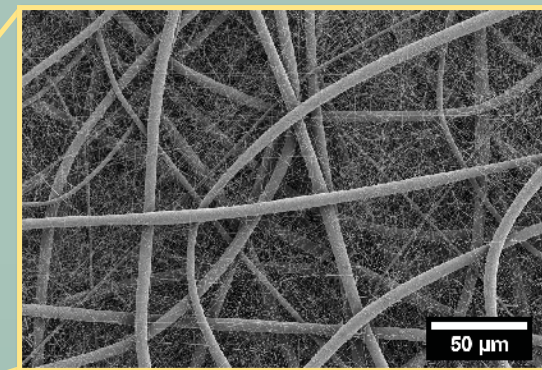
*elektrycznym kropla polimeru tworzy strugę, która porusza się ruchem spiralnym w stronę uziemionego kolektora, zmniejszając przy tym swoją średnicę – tłumaczy dr inż. Knapczyk-Korczak. – W trakcie procesu rozpuszczalnik odparowuje i struga zestala się, tworząc suche włókno, które następnie odkłada się na kolektorze.*

Włókna powstałe w procesie elektroprzędzenia stanowią alternatywę dla komercyjnie stosowanych siatek służących do zbierania wody z mgły, a dzięki swojej dużej porowatości i szeroko rozwiniętej powierzchni pozwalają na efektywne zbieranie kropeł w warunkach małego zamglenia. – *Nasze badania dowiodły, że aby wytworzyć skuteczny system do wyłapywania kropeł, trzeba połączyć materiały o właściwościach hydrofobowych i hydrofilowych* – kontynuuje dr inż. Knapczyk-Korczak. – *Mechanizm oparty na tym połączeniu nie tylko ułatwia wychwytywanie kropeł wody, lecz również pozwala na ich szybkie odprowadzenie z maty do zbiornika dzięki powstaniu specjalnego systemu drenażowego. Dzięki takiemu rozwiązaniu pory pomiędzy włóknami nie są zatykane przez zalegającą wodę, a przepływ mgły jest dalej swobodny.* Szybkość przepływu mgły ma ogromny wpływ na ilość zebranej wody. Badania dowiodły, że zastosowanie elektroprzędzonych nanowłókien polimerowych w komercyjnie stosowanych siatkach do zbierania wody znacząco zwiększa ich wydajność w warunkach bezwietrznych, czyli w sytuacji, kiedy ich efektywność mocno spada. Dodatkowo metoda ta jest szybka, tania i nie wymaga dodatkowych modyfikacji chemicznych.

Elektroprzędzone włókna to innowacyjne materiały, których możliwości aplikacyjne stale się zwiększają, a wykorzystanie ich do wychwytywania kropeł mgły jest tylko jednym z potencjalnych zastosowań – na przykład włączenie w obecne konstrukcje nanowłókien o właściwościach piezoelektrycznych mogłoby pozwolić na generowanie energii do zasilania małych urządzeń elektronicznych. Na pewno prowadzone badania dają nadzieję na optymalizację i rozpowszechnienie technologii FWC aż po stosowanie jej w gospodarstwach domowych.



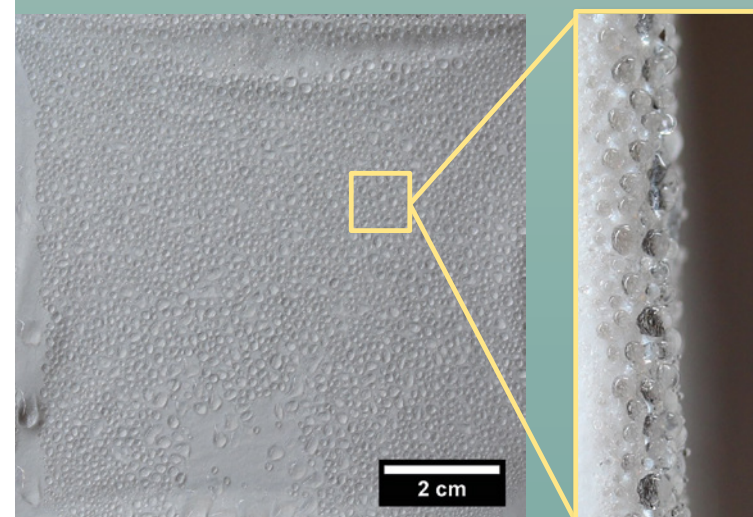
Elektroprzędzona mata z włókien polimerowych



Obraz mikroskopowy połączenia nano- i mikrowłókien

zespół pod kierownictwem **dr hab. inż. Urszuli Stachewicz, prof. AGH** Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej Katedra Metaloznawstwa i Metalurgii Proszków

projekt „Badanie właściwości sieci nanowłókien polimerowych zainspirowanych naturą w kontekście ich zastosowania do odzyskiwania wody i wytwarzania energii” w ramach programu SONATA BIS/NCN



Krople wody na macie

## Na ratunek Achillesowi. Ku nowoczesnej diagnostyce chorób i urazów ścięgna

Ścięgna to tkanki szczególnie narażone na uszkodzenia mechaniczne w wyniku przeciążenia w trakcie aktywności fizycznej. Są stosunkowo słabo poznane, zwłaszcza w kontekście zmian chorobowych oraz planowania terapii. Badania tkanek łącznych pod kątem wpływu zmian strukturalnych i biochemicznych na ich funkcjonowanie są z natury interdyscyplinarne, co wraz z fascynującą hierarchiczną i wieloskalową strukturą ścięgien zmotywowało naukowców z AGH do podjęcia próby opisu biomechaniki tych złożonych i odpowiedzialnych tkanek.

Badania w tym zakresie prowadzone od lat przez Zespół Biomechaniki Tkanek AGH są odpowiedzią na potrzebę głębszego zrozumienia patomechanizmów uszkodzeń ścięgien i skorelowania tej wiedzy z obrazem klinicznym oraz diagnostycznym uzyskiwanym podczas badań USG czy MRI. Prace w ramach projektów NCN – m.in. „Elektrochemo-mechanika uszkodzeń ścięgna – rola macierzy międzypęczkowej oraz jonów wapnia i fosforanów w biomechanice ścięgien” – zaowocowały nie tylko praktyczną wiedzą przydatną diagnostom oraz lekarzom ortopedom, lecz także szeregiem wartościowych publikacji.

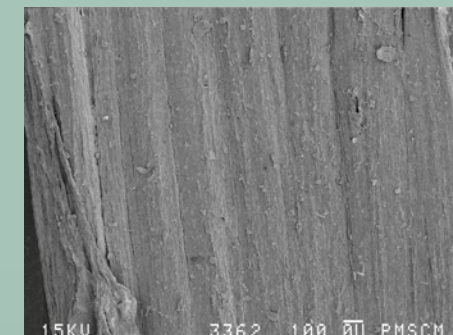
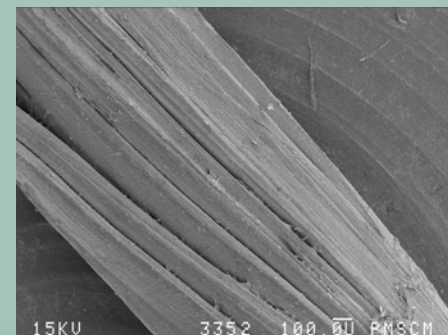
Macierz międzypęczkowa, jak opisali badacze z AGH, odpowiada za lepkosprężystość ścięgna i kontroluje wzajemne ślizganie się włókien podczas przeciążeń. Najbardziej narażona jest na uszkodzenia poprzeczne wywołane ruchami względnymi podjednostek ścięgna Achillesa. Dzięki pracom zespołu możliwe stało się bardzo wczesne wykrycie rozwarstwienia ścięgna wywołanego deformacją poprzeczną, a będącego fazą początkową poważnego uszkodzenia. Po raz pierwszy w literaturze światowej scharakteryzowano podjednostki ścięgna łączące kość piętową z różnymi mięśniami (SOL, GM i GL) pod kątem właściwości lepkosprężystych wynikających m.in. z różnic strukturalnych i funkcjonalnych. W połączeniu z wykazaniem korelacji między właściwościami lepkosprężystymi a zjawiskiem dyfuzji osocza, które zaobserwowano w obrazowaniu MRI, pozwoliło to na ocenę stanu macierzy międzypęczkowej, odpowiadającej także za przenoszenie obciążeń osiowych i stabilność całej struktury. Do uzyskania tych wyników konieczne było opracowanie nowego systemu do budowy modeli przestrzennych ścięgna, niezbędnych do prowadzenia analiz odwrotnych i charakteryzacji materiału, oraz wykorzystanie analiz 3D DIC.

Dzięki pracom prowadzonym i koordynowanym przez naukowców z AGH lekarze ortopedy i diagnosty otrzy-

mali zestaw nowych wskaźników diagnostycznych oraz nowe cele terapeutyczne, a pacjenci cierpiący na urazy ścięgien mogą być szybciej i trafniej diagnozowani i leczeni. Badania zespołu pozwoliły na:

- ▶ opisanie różnic między właściwościami biomechanicznymi podjednostek ścięgna pochodzących od różnych mięśni łydki, co umożliwiło interpretację różnic obserwowanych np. na elastografii ultradźwiękowej i pomaga stawiać precyzyjniejsze diagnozy;
- ▶ opisanie stanu odkształcenia i naprężenia w macierzy pojawiającego się w trakcie przeciążania ścięgna i wyjaśnienie mechanizmu powstawania podłużnego rozwarstwienia/rozdarcia ścięgna, co umożliwiło ortopedom diagnozowanie wczesnego stadium uszkodzenia ścięgna i leczenie go na etapie niewymagającym jeszcze interwencji chirurgicznej;
- ▶ udowodnienie, że przepuszczalność i lepkoplastyczność macierzy międzypęczkowej odpowiada za biomechanikę ścięgna, oraz pokazanie możliwości diagnozowania jej stanu, co dało nowe możliwości interpretacji wyników badań MRI czy USG. Dalszym celem badań jest udoskonalenie istniejących metod diagnostycznych, tak aby lekarze ortopedy na podstawie dostępnych metod obrazowania mogli precyzyjnie oceniać stan macierzy. Macierz zmienia właściwości sprężysto-lepko-plastyczne m.in. w początkowym stadium kalcyfikacji ścięgna czy też w zaburzeniach równowagi elektrolitowej organizmu. Wskazówki te są bezcenne na etapie diagnostyki oraz doboru procedur leczenia pacjenta.

Wyniki badań zespołu z AGH wykorzystuje w praktyce m.in. krakowskie centrum medyczne „ULTRAGEN”, gdzie diagnozowani i leczeni są m.in. sportowcy desygnowani przez Polski Komitet Olimpijski i reprezentanci polskiej kadry piłki nożnej.



Obrazy próbek ścięgna Achillesa pod skaningowym mikroskopem elektronowym: a) ultrastruktura ścięgna po rozwarstwieniu w wyniku nadmiernego obciążenia, b) kontrolna próbka nieobciążona

zespół pod kierownictwem  
**dr. hab. inż. Andrzeja Młyńca, prof. AGH**  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki  
Katedra Robotyki i Mechatroniki

projekt realizowany w ramach programu  
OPUS/NCN



Ścięgno Achillesa podczas izolowania na podścięgna (tzw. GM, GL i SOL) oraz przedni widok podścięgna GM

## Na styku informatyki i ekonomii. Obliczeniowe aspekty wyboru społecznego

**Co wspólnego mają ze sobą wyszukiwanie ciekawych filmów, konstruowanie budżetu obywatelskiego oraz rekrutacja pracowników w firmie? Każde z tych zagadnień można przedstawić jako proces zbiorowego podejmowania decyzji, z którym wiążą się specyficzne uwarunkowania i problemy.**

Z jednej strony mamy kandydatów – a więc dostępne w bazie danych filmy, pomysły na poprawę środowiska miejskiego oraz grono osób potencjalnie nadających się do pracy – a z drugiej szereg ocen tych kandydatów. Ocenami będą: głosy osób, które po obejrzeniu danego filmu umieściły opinię na jego temat w odpowiednim serwisie internetowym, głosy mieszkańców danego miasta i opinie rekruterów oceniających kandydatów do pracy (niektórzy mogą oceniać np. ich umiejętności techniczne, a inni zdolności interpersonalne). Na podstawie tych ocen – lub, bardziej formalnie, na podstawie oddanych głosów – chcemy wybrać grupę zwycięzców: filmy godne polecenia, projekty miejskie, które otrzymają finansowanie, oraz krótką listę kandydatów do pracy.

Tego typu procesy decyzyjne rozważane są w ekonomii, naukach politycznych, filozofii czy badaniach operacyjnych. Od pewnego czasu są także przedmiotem badań w ramach informatyki. Okazuje się bowiem, że zaskakująco wiele problemów wyborczych jest obliczeniowo trudnych i wymaga nietrywialnych rozwiązań algorytmicznych, zwłaszcza w sytuacjach takich jak powyżej, gdy chcemy wyłonić grupę zwycięzców, a nie tylko jednego najlepszego kandydata. Na przykład dla wielu naturalnych uogólnień klasycznej metody D'Hondta, pozwalających głosującym wyrażać opinie o poszczególnych kandydatach, problem stwierdzenia, kto zwyciężył w wyborach, jest NP-trudny. Oznacza to, że na obliczenie wyników moglibyśmy teoretycznie czekać nawet dziesiątki lat. Na szczęście istnieje wiele pomysłów, dzięki którym można tego uniknąć.

W ramach projektu PRAGMA prof. dr hab. inż. Piotr Faliszewski z Wydziału Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji oraz jego zespół zajmują się analizą tego typu problemów wyboru od strony teoretycznej oraz przeniesieniem wyników matematycznych do świata praktyki. Naukowcy stawiają sobie za cel opracowanie algorytmów, które pozwolą obejść trudności obliczeniowe i które będzie można łatwo stosować w praktyce. – *W szczególności będziemy szukać efektywnych algorytmów, które pozwolą sprawiedliwie i w zrozumiały dla wy-*

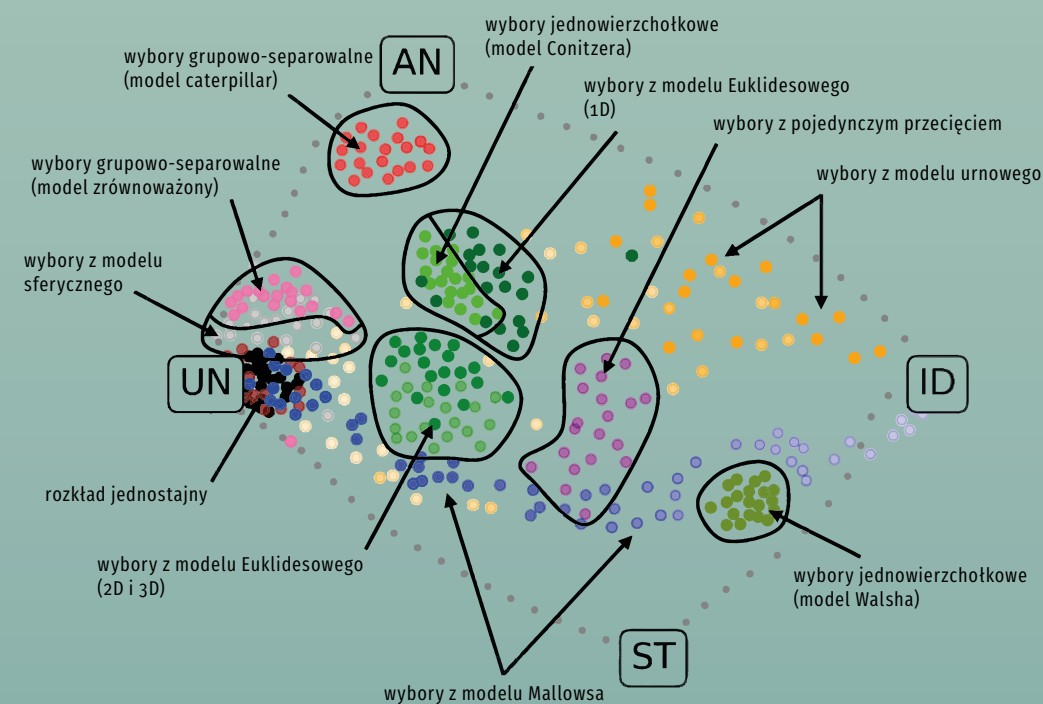
*borców sposób podejmować decyzje, którzy kandydaci, zawodnicy czy projekty obywatelskie powinny zostać wybrane* – podsumowuje prof. Faliszewski.

Jedną z kluczowych kwestii rozważanych w projekcie PRAGMA jest analiza danych wyborczych. Okazuje się, że choć wiele problemów może być teoretycznie trudnych obliczeniowo, to takie trudne przypadki często nie są obserwowane w praktyce. Zespół prof. Faliszewskiego opracowuje więc nowatorskie metody porównywania danych wyborczych, pozwalające ocenić, jakie modele wyborów są możliwe do zastosowania w praktyce. Dotychczasowe badania pozwoliły wyznaczyć naturalną przestrzeń metryczną wyborów oraz wskazać, jakie jej obszary zajmują wybory występujące w praktyce, a także w jakich obszarach, zależnie od parametrów, lokują się wybory generowane na podstawie standardowych modeli losowych (przykład takiej przestrzeni i wyborów wygenerowanych z kilku standardowych rozkładów znajduje się na rysunku obok). Dzięki temu możliwe jest szybkie generowanie dowolnej ilości danych wyborczych, które można następnie wykorzystać do projektowania i analizy algorytmów. Na przykład jeśli wiemy, że w pewnych wyborach można spodziewać się danych pochodzących z określonego rozkładu (lub zbliżonych), to dane wyborcze wygenerowane z tego rozkładu pozwolą przewidzieć, jak w tych wyborach zachowa się badany algorytm.

Projekt PRAGMA („Pragmatyka Wyboru Komitetów: algorytmy i analiza danych preferencyjnych”) rozwija się dzięki otrzymaniu przez prof. Faliszewskiego prestiżowego grantu ERC Consolidator. Wyniki prac prof. Faliszewskiego związane z projektem publikowane są zarówno w najwyższej klasy czasopismach i materiałach z konferencji poświęconych sztucznej inteligencji, takich jak czasopismo „Artificial Intelligence” oraz publikacje konferencyjne z serii AAAI czy IJCAI, jak i w czasopismach ekonomicznych, takich jak „Social Choice and Welfare”. Można się spodziewać, że znajdą zastosowanie w wielu dziedzinach życia związanych z koniecznością dokonywania wyboru – w społecznościach i instytucjach, sporcie, kulturze i biznesie.

zespół pod kierownictwem  
**prof. dr. hab. inż. Piotra Faliszewskiego**  
Wydział Informatyki, Elektroniki  
i Telekomunikacji  
Instytut Informatyki

projekt PRAGMA finansowany  
z grantu ERC



### Przykładowa mapa wyborów uzyskana w projekcie PRAGMA

Każdy punkt to pojedyncza elekcja, czyli para  $(C,V)$ , gdzie  $C$  to zbiór kandydatów, a  $V$  to zbiór głosów, reprezentowanych jako porządkowanie liniowe. Głosy pochodzą z szeregu standardowych rozkładów (np. modelu Mallowsa).

Mapa zawiera też cztery punkty charakterystyczne:

- UN (ang. *uniformity*; głosy są maksymalnie zróżnicowane),
- ID (ang. *identity*; wszystkie głosy są identyczne),
- AN (ang. *antagonism*; połowa wyborców ma przeciwne poglądy do drugiej połowy)
- ST (ang. *stratification*; wszyscy wyborcy uważają tę samą połowę kandydatów za bardziej preferowanych od pozostałych).

## Nowe biodegradowalne nawozy CRF – ekologiczna alternatywa dla upraw

**Rosnąca konsumpcja produktów pochodzenia roślinnego sprawia, że poszukuje się sposobów na zwiększenie wydajności produkcji rolnej. Wiąże się to z używaniem ogromnych ilości różnego rodzaju nawozów sztucznych, które wprawdzie pozwalają otrzymać wyższe plony, ale wywołują procesy prowadzące do degradacji i dewastacji gleb. Są to skutki w praktyce nieodwracalne – tworzenie się gleby zależy od wielu złożonych czynników, a cały proces trwa nieraz tysiące lat.**

W celu zwiększenia zawartości azotu, który sprzyja właściwemu rozwojowi i wzrostowi roślin, stosuje się głównie wieloskładnikowe nawozy mineralne. Stanowią one aż 56,9% źródeł pierwiastków odżywczych (azot i fosfor) w glebie upraw rolnych w Polsce. Takie dane są niepokojące, ponieważ intensywne stosowanie nawozów mineralnych może przyczynić się do szeregu zjawisk niekorzystnych dla środowiska (m.in. zakwaszania gleb i eutrofizacji wód) czy klimatu (brak roślin na obszarach ziemi zdegradowanej oznacza brak absorpcji gazów cieplarnianych). Wiąże się ponadto z wykorzystaniem dużej ilości nieodnawialnych surowców i kopalin. Dlatego istotne jest opracowanie lepszych, bardziej ekologicznych metod dostarczania roślinom substancji odżywczych.

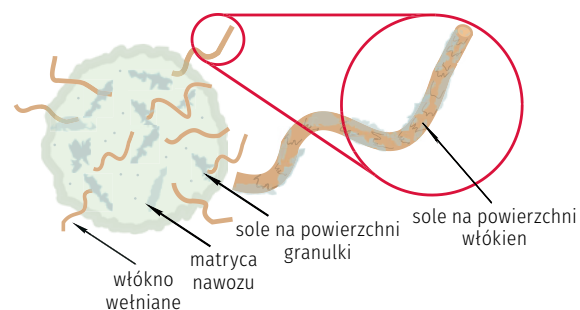
Jest to możliwe dzięki zastosowaniu nowoczesnych nawozów o kontrolowanym uwalnianiu (CRF – od ang. *Controlled Release Fertilizers*) wytwarzanych na bazie substancji biodegradowalnych, które nie zalegają w środowisku ani nie powodują jego dewastacji. CRF zawierają pierwiastki biogenne dostępne w postaci, której roślina nie może natychmiast wchłonąć. Są zazwyczaj powleka- ne lub kapsułkowane przy użyciu materiałów umożliwiających kontrolę tempa, mechanizmu i czasu uwalniania składników odżywczych.

Badania nad CRF prowadzone są w AGH na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki w Katedrze Biomateriałów i Kompozytów. Dr. inż. Piotrowi Szatkowskiemu i inż. Katarzynie Suchorowiec udało się zoptymalizować proces wytwarzania takich nawozów, a także zbadać i ocenić ich właściwości w czasie, w porównaniu do analogicznych konwencjonalnych nawozów mineralnych (CRF-AGH i badane nawozy mineralne miały identyczną zawartość pierwiastków biogennych). Badania dotyczące działania zaprojektowanych nawozów, złożonych z mieszaniny soli mineralnych (23%), biopolimeru (70%) i wypełniaczy (7%), przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych na uprawach różnych roślin, m.in. face-

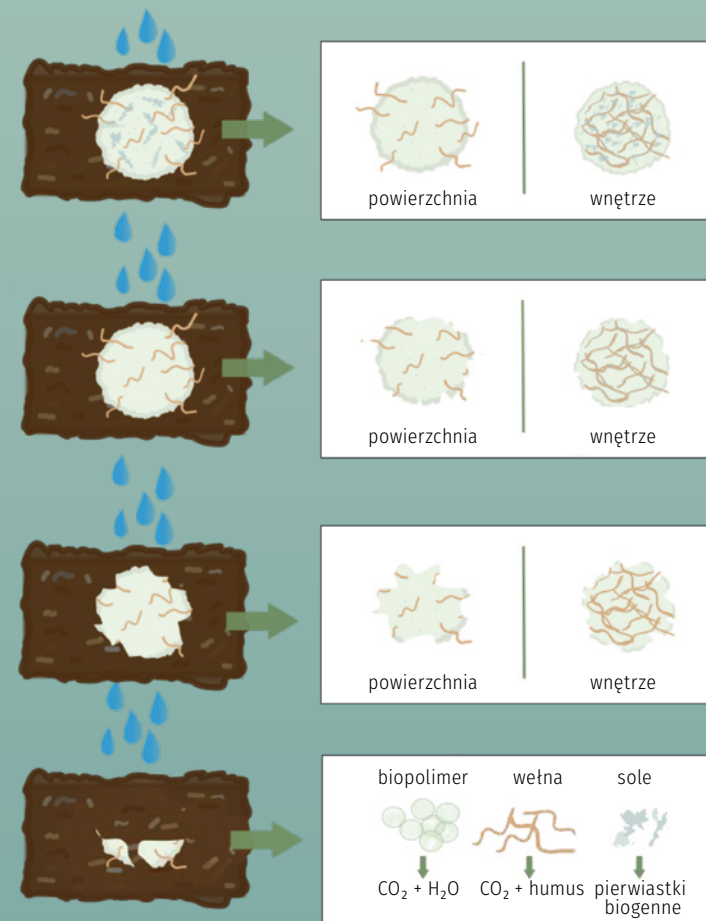
lii miododajnej, owsa i prosa. Na uprawach zasymulowane zostały opady deszczu i na podstawie wody, która przepłynęła przez glebę, a następnie została zebrana w szczelnym pojemniku, wyznaczono stężenie soli z niej wymytej. Jak się okazało, dużo większe było stężenie soli wymytych w próbkach z nawozem komercyjnym. Rośliny, do których uprawy zastosowano CRF, odznaczały się większą grubością łodygi oraz bardziej intensywną i wyrazistą barwą. Dodatkowo posiadały większą zdolność do akumulacji wody, w porównaniu do roślin uprawianych na innych podłożach (CRF-AGH kumulowały i zatrzymywały wodę w glebie – zasługa wypełniacza naturalnego).

CRF bardzo dobrze rokują, jeśli chodzi o zastosowanie ich do nawożenia roślin rosnących w wodzie, które również mogą wymagać dostarczania pierwiastków biogenych. Możliwość zasilania tego typu roślin nawozami była do tej pory mocno ograniczona ze względu na pojawianie się skokowego wzrostu stężenia soli mineralnych w wodzie, doprowadzającego do jej przesolenia i eutrofizacji. Naukowcy z AGH zbadali zachowanie opracowanych przez siebie nawozów w wodzie. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że zarówno w początkowej fazie, jak i po dłuższym czasie CRF-AGH uwalniają zatrzymane w nich sole stopniowo i proporcjonalnie, to znaczy, że ich stężenie w jednakowych odstępach czasu rośnie o tę samą wartość. Obecność bariery spowalniającej (kilku mechanizmów uwalniania jednocześnie) sprawia, że CRF zastosowany w środowisku wodnym (np. do nawożenia roślin akwariowych) rozkłada się w sposób kontrolowany, czego nie można osiągnąć, stosując konwencjonalne nawozy syntetyczne, gdyż one rozpuszczają się natychmiast. Precyzyjne zasilanie tak skonstruowanym nawozem np. upraw ryżu wiązałoby się z dużo mniejszą ingerencją w środowisko naturalne zarówno na polach uprawnych, jak i w ich pobliżu. Szersze zastosowanie CRF dałoby producentom roślin możliwość wzięcia większej odpowiedzialności za stan otoczenia.

Budowa granulki CRF i schemat jej rozkładu



Powierzchnia granulki nawozu



zespół pod kierownictwem  
**dr. inż. Piotra Szatkowskiego**  
Wydział Inżynierii Materiałowej  
i Ceramiki  
Katedra Biomateriałów  
i Kompozytów



## Nowe życie „Senstera”. Strategie konserwacji i reaktywacji interaktywnych dzieł sztuki

**Mierzył ponad pięć metrów wysokości, kształtem przypominał niezidentyfikowane bliżej zwierzę. Choć ze stali, poruszał się zwinnie dzięki zsynchronizowanej pracy ośmiu siłowników. Zmianą położenia sterował program komputerowy. „Senster” reagował na dźwięki i ruch w otoczeniu, odczytując sygnały przesłane z mikrofonów i czujników dopplerowskich. Zamart – zdawałoby się na zawsze – w połowie lat 70. XX w. Powrócił do życia w roku 2018 dzięki wysiłkowi zespołu naukowców i projektantów.**

RE:Senster – tak nazwano przedsięwzięcie polegające na rekonstrukcji jednego z klasycznych dzieł sztuki mediów – wielkoformatowej instalacji kinetycznej „Senster” stworzonej pod koniec lat 60. XX w. przez Edwarda Ihnatowicza. Projektując „Senstera”, Ihnatowicz nawiązywał do doświadczeń ówczesnej robotyki oraz eksperymentów w dziedzinie sztucznej inteligencji. Praca, jakkolwiek zaliczana do kanonów dzieł sztuki cyfrowej i stale przywoływana w studiach poświęconych relacjom nauki, technologii i sztuk pięknych, długo uznawana była za zaginioną. Jej pozostałości zostały odnalezione i „ożywione” dzięki staraniom zespołu zawiązanego z inicjatywy Wydziału Humanistycznego AGH.

Projekt połączył specjalistów o zróżnicowanych kompetencjach badawczych, począwszy od dziedzin humanistycznych: kulturoznawcze badania nad technologią oraz sceną sztuki mediów, przez działania konserwatorskie i kuratorskie, po inżynierię mechaniczną, robotykę i automatykę. Utworzenie interdyscyplinarnego zespołu było konieczne dla opracowania holistycznej strategii reaktywacji pracy, przeprowadzenia wyczerpującej kwerendy źródłowej oraz odnalezienia odpowiednich rozwiązań technologicznych. W efekcie RE:Senster, wraz z towarzyszącymi mu wydarzeniami, realizuje postulat transferu współczesnej humanistyki w domenę nauk ścisłych i technologii. Działania naukowe zespołu polegały na opracowaniu strategii rewitalizacji zabytków technologii i podtrzymania ciągłości funkcjonowania dzieł sztuki najnowszej. Realizacja projektu przyczyniła się do rozwinięcia procedur utrzymania oraz zasad ekspozycji wielkoformatowych dzieł sztuki wykorzystujących zaawansowane rozwiązania technologiczne charakterystyczne dla prac powstających w 2 poł. XX w.

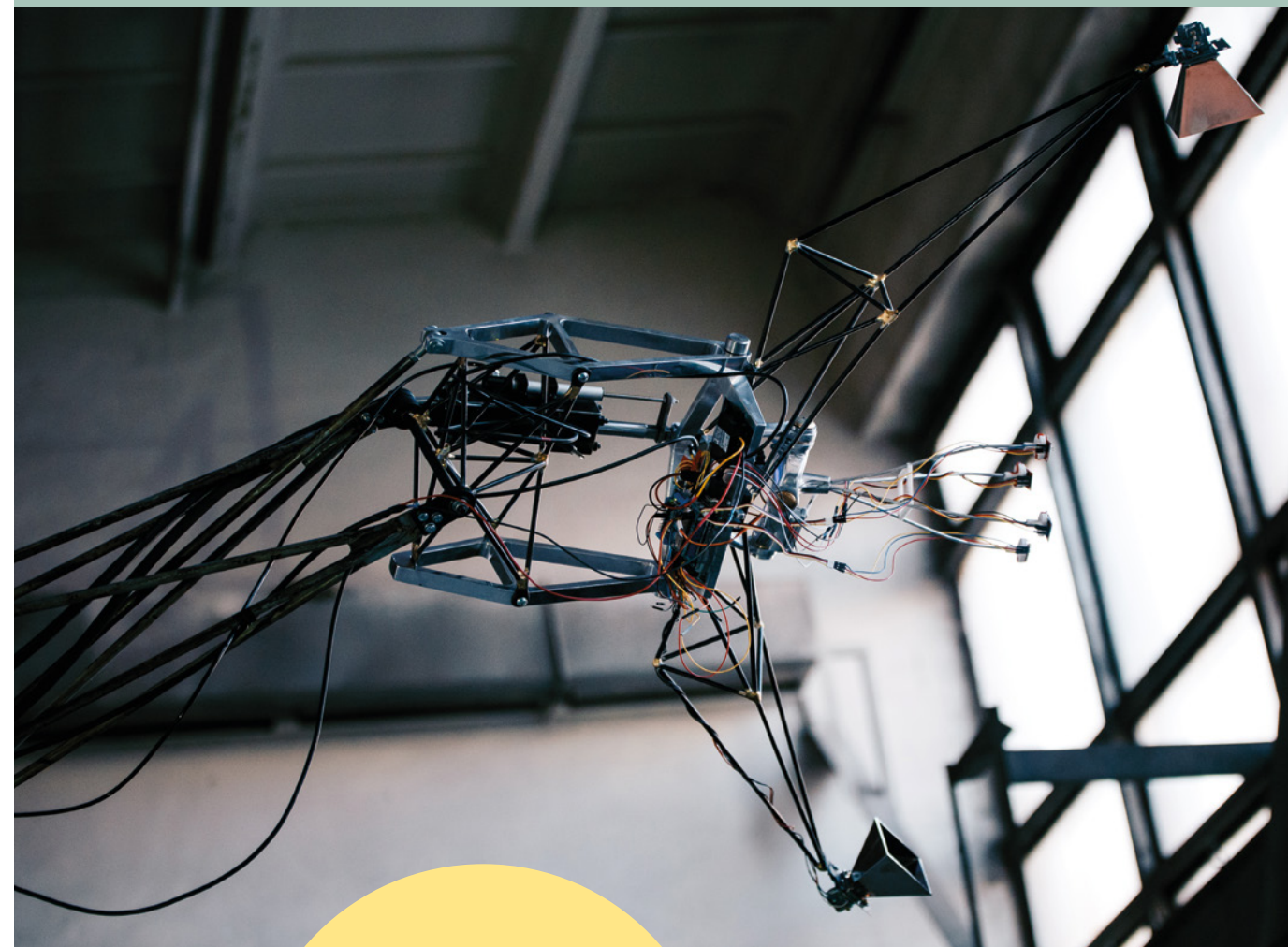
RE:Senster Lab – laboratorium sztuki mediów założone w trakcie prac nad rewitalizacją instalacji – integruje środowisko specjalistów oferujące wsparcie techniczne

i koncepcyjne niezbędne dla performatywnego (obiekt w działaniu) prezentowania prac nowomediów w muzeach i galeriach.

W ciągu niespełna dwóch lat od ukończenia prac projekt został dostrzeżony przez środowisko kuratorskie i odbiorców zarówno w Polsce, jak i za granicą. „Senster” pokazany został dotychczas m.in. w ramach jubileuszowej edycji Biennale Sztuki Mediów WRO (2019), w warszawskiej Narodowej Galerii Sztuki Zachęta (2020/2021), w ramach Międzynarodowego Festiwalu Sztuki Współczesnej w Sapporo w Japonii (SIAF 2020 – edycja online), na festiwalach UNSOUND, Patchlab i Audio Art.

Rozwijanie zarówno sztuki mediów, jak i szerzej rozumianej kultury cyfrowej wymagało zbudowania kompetencji wykraczających poza doświadczenia zdobywane w ramach działań uczelni, muzeum czy koncertu technologicznego. Projekt RE:Senster przyczynił się do budowania kapitału kulturowego, konsolidując sferę techniczną z obiegiem społecznym: kształcąc młodą kadrę badaczy i projektantów, prowokując dyskusje na gruncie krytyki artystycznej, popularyzując dyskursy współczesnej humanistyki poza murami akademii.

Pomysłodawczynią i kuratorką projektu była dr Anna Olszewska. Reaktywację pracy przeprowadzono we współpracy z wydziałami: Inżynierii Mechanicznej i Robotyki (mechanika: dr inż. Jerzy Stojek, mgr Kamil Sikora), Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej (sterowanie: dr inż. Marek Długosz; Rafał Bieszczad) oraz Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji (prace nad układem radarowym: dr hab. inż. Kamil Staszek, prof. AGH; prof. dr hab. inż. Sławomir Gruszczyński). Realizacja odbywała się w kooperacji z Akademią Sztuk Pięknych w Krakowie (konsultacje, udział w wprowadzeniu instalacji do Krakowa, prace przy systemie interakcji dźwiękowej, dokumentacja). Współpracę międzyuczelnianą koordynowała dr hab. Anna Siwik, prof. AGH.



zespół pod kierownictwem  
**dr Anny Olszewskiej**  
Wydział Humanistyczny  
Katedra Studiów nad Kulturą  
i Badań Ery Cyfrowej

projekt RE:Senster

## Od komory bezechowej do opery. Innowacje w zakresie akustyki wnętrz

Chwaląc jakość dźwięku w sali koncertowej lub dziwiąc się, jak cicho jest w pokoju, najczęściej nie zastanawiamy się, co nadało pomieszczeniom te szczególne właściwości. Tymczasem stoją za nimi nowatorskie rozwiązania będące owocem długoletnich nieraz badań w zakresie akustyki architektonicznej, źródeł dźwięku, materiałów i ustrojów akustycznych oraz parametrów akustycznych wnętrz. Autorami wielu z nich są naukowcy z Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH.

W Laboratorium Akustyki Technicznej (LAT) przy Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki znajdują się komora bezechowa o objętości 844 m<sup>3</sup>, komora pogłosowa o objętości 181 m<sup>3</sup>, pomieszczenia laboratoryjne i pomocnicze. LAT posiada najnowocześniejsze wyposażenie pomiarowe, co umożliwia prowadzenie kompleksowych badań i symulacji obliczeniowych, zajęć dydaktycznych oraz prac na zamówienie przemysłu. Obsługujący obecnie laboratorium zespół pod kierunkiem prof. Tadeusza Kamińskiego to doświadczeni adiunkci (dr inż. Artur Flach, dr inż. Łukasz Gorazd, dr inż. Adam Pilch, dr inż. Jarosław Rubacha) i doktoranci (mgr inż. Wojciech Biniek, mgr inż. Aleksandra Chojak, mgr inż. Bartłomiej Chojnacki, mgr inż. Julia Idczak, mgr inż. Klara Juros). Przy LAT działa także Koło Naukowe Akustyki Architektonicznej. Wieloletnia praca zespołu włożona w sukcesywną modernizację i budowę stanowisk badawczych zaowocowała licznymi opracowaniami naukowymi i wdrożeniami (ponad 400 publikacji naukowych i ok. 30 patentów).

W zakresie akustyki sal koncertowych i teatralnych były to m.in.:

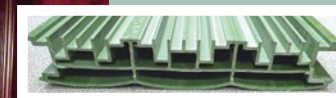
- ▶ nadsцениczne panele refleksyjne zintegrowane z rozpraszaczem Schroedera, odbijające dźwięk o rozszerzonym zakresie częstotliwości, stosowane w celu uzyskania pożądaných efektów akustycznych w przestrzeni sceny i widowni sal widowiskowych (patent PL 227198, wdrożone w Teatrze Varieté w Krakowie);
- ▶ konstrukcja ścianki czołowej orkiestronu – bariery oddzielającej orkiestrę od widowni – wyposażona w uchylne żaluzje, zapewniająca ulepszenie propagacji dźwięku w przestrzeni fosi orkiestrowej, widowni oraz sceny poprzez regulację ekranowania i odbicia (wdrożona w Operze Krakowskiej);
- ▶ ustroje rozpraszające dźwięk dla fosi orkiestrowej, poprawiające emisję dźwięku i komfort akustyczny muzyków;

- ▶ panele dyfuzyjno-dźwiękochłonne przewidziane do zastosowania jako element ekranu akustycznego, obudowy dźwiękochłonoizolacyjnej lub jako ustrój rozpraszający do adaptacji akustycznej wnętrz (zgłoszenie patentowe P.425769, wzór UE nr 000977053-001, wdrożone w Operze Lwowskiej, wielu polskich salach koncertowych i innych obiektach).

W wyniku wdrożeń wynalazków w salach koncertowych uzyskano poprawę jakości dźwięku odbieranego przez publiczność oraz rozszerzenie możliwości twórczych artystów.

Korzyści z badań i innowacji stworzonych przez zespół LAT nie dotyczą jednak tylko grona melomanów. Projekt badawczy „Pasywne akustycznie materiały do produkcji mebli” zrealizowany we współpracy z Uniwersytetem Przyrodniczym w Poznaniu skutkowało opracowaniem i wdrożeniem nowych płyt komórkowych (patenty: PL 229521 B1, 2018; PL 228784 B1, 2018; PL 232942 B1, 2019; PL 235039 B1, 2020). Wskazano tu również szereg rozwiązań zwiększających dźwiękochłonność mebli oraz możliwości ich zastosowania do kształtowania parametrów akustycznych wnętrz. Zastosowanie wyników badań przez firmy meblarskie (BeJot, Nowy Styl, MARO) pozwoliło wejść z produktami na wymagające światowe rynki w zakresie wnętrz biurowych, szkolnych oraz gabinetowych.

Zespół od roku 2014 współpracuje z Centrum Badań Kosmicznych PAN, MPE (Niemcy) i UNIPA (Włochy) w programie ATHENA. Athena to teleskop rentgenowski nowej generacji zaakceptowany przez Europejską Agencję Kosmiczną z planem wyniesienia na orbitę w roku 2028. Zadaniem zespołu LAT jest zabezpieczenie filtra UV spektrometru rentgenowskiego przed falą akustyczną generowaną przy starcie rakiety. W tym celu realizowane są obliczenia numeryczne i badania laboratoryjne z użyciem wysokich poziomów dźwięku (142,5 dB).



Panel o przekroju 600 × 115 mm wykonano z kompozytu PCV z pyłem drzewnym. Jedną powierzchnię panelu zaprojektowano w postaci rozpraszającej struktury Schroedera opartej na liczbie pierwszej 7, drugą zaś stroną w postaci trzech wypukłych półwałców.

Panele dyfuzyjno-dźwiękochłonne w Operze Lwowskiej

zespół pod kierownictwem  
**dr. hab. inż. Tadeusza Kamińskiego, prof. AGH**  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki  
Katedra Mechaniki i Wibroakustyki



Ścianka czołowa orkiestronu w Operze Krakowskiej – regulacja ekranowania i odbicia dźwięku przez elementy bariery

## Otoimplant – polimerowa proteza ucha środkowego o działaniu bakteriobójczym

Zapalenie ucha środkowego – jedno z najczęstszych schorzeń spotykanych w otolaryngologii – może prowadzić do przewodzeniowego upośledzenia słuchu na skutek destrukcji struktur kostnych w obrębie przestrzeni ucha środkowego. Głównym celem nowoczesnej mikrochirurgii ucha jest odtworzenie funkcji aparatu przewodzenia dźwięku. W sytuacjach bardzo rozległych zniszczeń w obrębie łańcucha kosteczek słuchowych wskazane jest użycie protez. Zastosowanie nowych implantów ucha środkowego nie tylko umożliwia odtworzenie ciągłości budowy struktur kostnych i przywraca utracone funkcje, ale także ogranicza ryzyko związane z powikłaniami w przebiegu infekcji i zakażeń bakteryjnych.

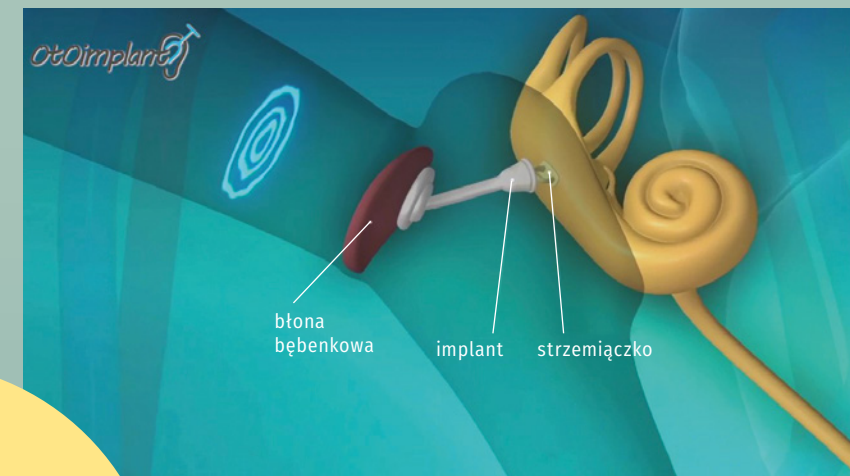
Takim produktem jest innowacyjna ze względu na swój kształt i działanie proteza o nazwie Otoimplant, stworzona przez dr hab. inż. Magdalenę Ziąbkę, prof. AGH w ramach badań prowadzonych przez nią na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki. Prace badawcze obejmowały zaprojektowanie prototypu implantu, jego kształtu, konstrukcji, formy i składu chemicznego. W ich wyniku powstały dwa typy implantów: Otoimplant wykonany z tworzywa polimerowego oraz innowacyjny Otoimplant zawierający nanocząstki srebra.

Materiał, z jakiego wykonany jest implant, może wywoływać różną odpowiedź pooperacyjną. Modyfikacja składu chemicznego, tak jak zostało to zrobione w przypadku Otoimplantu, stwarza możliwości zmiany parametrów mechanicznych i biologicznych funkcji protez. Testy wykazały, że implant jest bezpieczny, wpisuje się w powszechnie stosowane procedury chirurgiczne i może z powodzeniem być stosowany u pacjentów. Ma także dwie nowe cechy użytkowe – bakteriobójczość i lekkość konstrukcji – dzięki którym została wyeliminowana konieczność stosowania antybiotyków po operacji i skrócił się czas rekonwalescencji, a pacjenci odnotowali większą poprawę słuchu niż ci z innym typem rekonstrukcji.

Otoimplanty zostały przebadane pod względem właściwości fizykochemicznych takich jak właściwości mechaniczne, wytrzymałość na zerwanie, moduł Younga, twardość. Oceniono rozmieszczenie nanocząstek w implantach oraz trwałość implantów przy użyciu badań ultradźwiękowych. Wykonano badania strukturalne: oceniono mikrostrukturę, przeprowadzono badania dyfrakcji rentgenowskiej, badania termiczne. Następnie

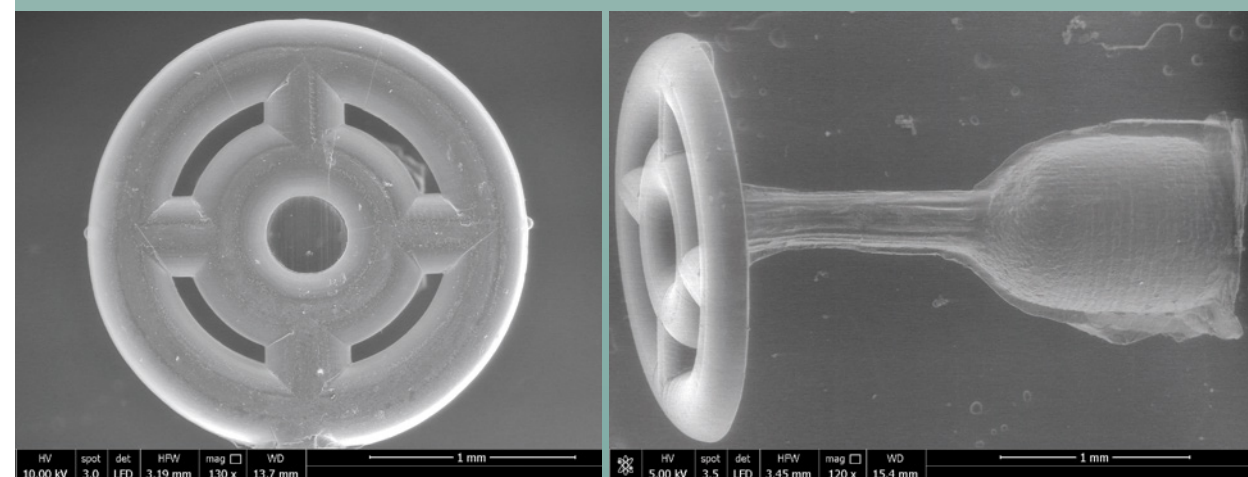
przeprowadzono badania biologiczne *in vitro*. Oceniono skuteczność antybakteryjną wobec bakterii Gram-dodatnich i Gram-ujemnych, najczęściej występujących w przestrzeniach ucha środkowego. Zbadano ilość jonów srebra uwalniających się do środowiska biologicznego podczas inkubacji implantów celem ustalenia bezpiecznego poziomu srebra w organizmie. Przeprowadzono badania oceny cytotoksyczności i żywotności komórek ludzkich w kontakcie z implantami. W tym celu wykorzystano ludzkie linie komórkowe osteoblastów i fibroblastów. Kolejnym etapem były badania *in vivo* na zwierzętach, którym wszczepiono oba typy implantów celem sprawdzenia reakcji na ciało obce i potwierdzenia biogodności obydwu typów protez. Przeprowadzono badania *ex vivo* skrawków tkankowych oraz badania tomograficzne w celu sprawdzenia trwałości implantów. Ostatnim etapem badawczym było uzyskanie pozwoleń Komisji Bioetycznej i Prezesa Urzędu Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych na przeprowadzenie badań klinicznych z udziałem pacjentów. 6 pacjentom wszczepiono innowacyjne Otoimplanty do ucha środkowego i poddano obserwacjom po 7, 30, 90, 180 i 360 dniach. Wszystkie badania zakończyły się sukcesem, a pacjenci uzyskali poprawę słuchu.

Dzięki realizacji wszystkich kroków rozwoju implantu został stworzony produkt, który może być z powodzeniem stosowany we współczesnej otolaryngologii. Otoimplant rozwiązuje problem głuchoty lub ubytku słuchu, które są przyczyną wykluczenia chorych ze społeczeństwa, i daje szansę na powrót do normalnego życia.



zespół pod kierownictwem  
**dr hab. inż. Magdaleny Ziąbki, prof. AGH**  
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki  
Katedra Ceramiki i Materiałów Ogniotrwałych

prace realizowane w ramach  
projektu LIDER/NCBR



## Smog, tsunami i pandemii. Co mogą pokazać i jak działają symulacje izogeometryczne

**Współcześnie trudno wyobrazić sobie dziedzinę nauki czy gałąź przemysłu, w której nie miałyby zastosowania symulacje komputerowe. Symulacje zjawisk zmiennych w czasie są jednak bardzo trudne do przeprowadzenia, a ponadto często bywają niestabilne i dostarczają błędnych wyników. W uproszczeniu wynika to z faktu, że teoria matematyczna, na której się opierają, działa w abstrakcyjnych przestrzeniach matematycznych, natomiast niekoniecznie w zero-jedynkowym świecie komputera. Nad rozwiązaniem tego problemu pracują m.in. uczeni z AGH.**

Zespół prof. dr. hab. Macieja Paszyńskiego z Wydziału Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji opracował izogeometryczną metodę minimalizacji reziduum (iGRM) – sposób przeprowadzania symulacji komputerowych łączący zalety tzw. metody DPG (stabilizującej symulacje), nowoczesnych solverów zmiennie-kierunkowych (umożliwiających przeprowadzanie ekstremalnie szybkich symulacji nawet na laptopie) oraz nowoczesnej izogeometrycznej metody elementów skończonych (pozwalającej na przeprowadzanie gładkich, zintegrowanych z systemami CAD/CAE symulacji problemów zmieniających się w czasie).

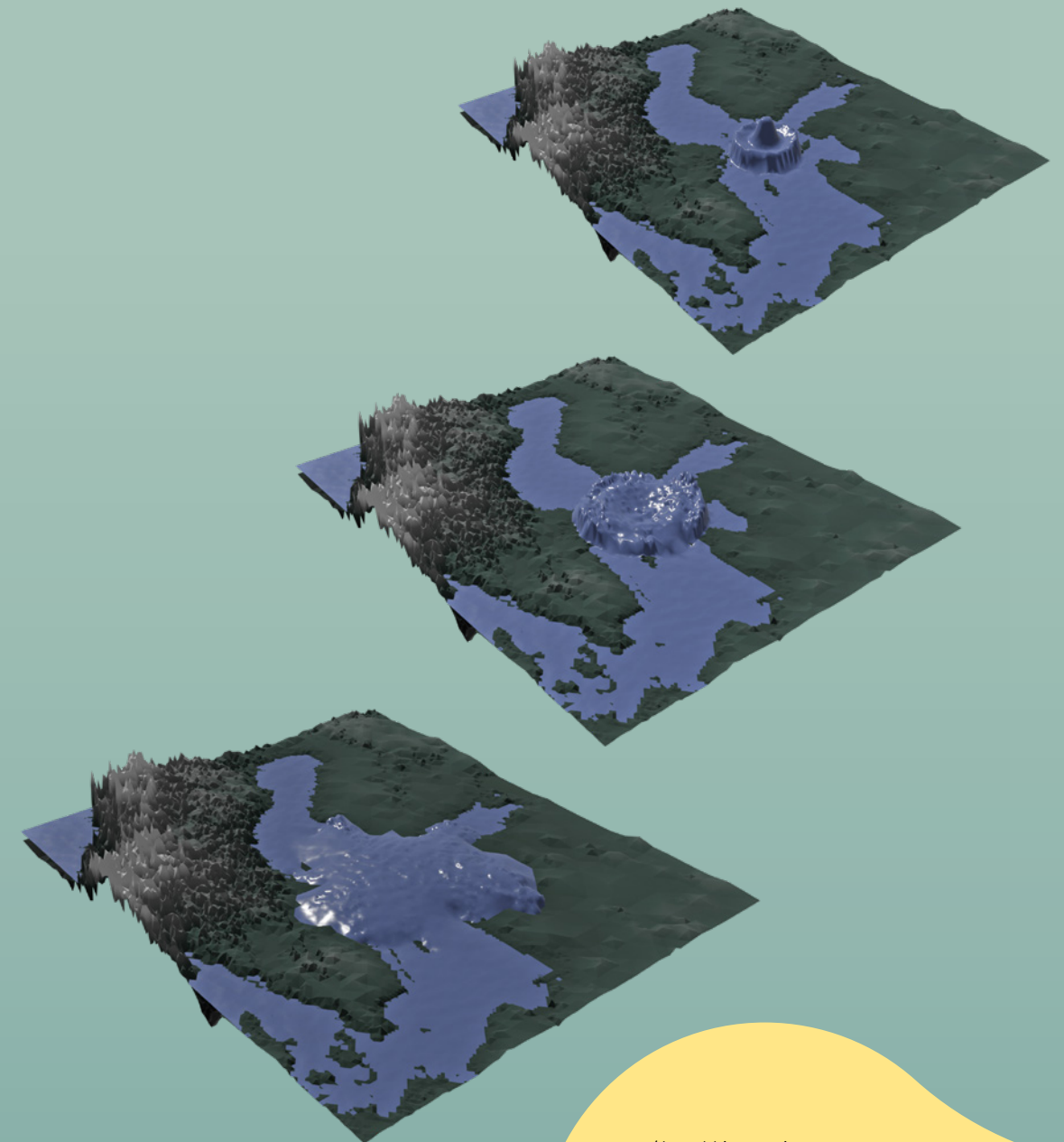
Jak działają metody analizy izogeometrycznej, wynalezionej w 2010 r. przez prof. Toma Hughesa z University of Texas? – Wyobraźmy sobie, że w otaczającej nas przestrzeni rozciągamy niewidzialny arkusz tkaniny i za jego pomocą chcemy przybliżyć pewne wielkości fizyczne nad zadanym obszarem – mówi prof. Paszyński. – W styczniu 2022 r. asteroida o średnicy około 1 km przeleciała w pobliżu Ziemi, w odległości 1 mln km. Jest to odległość pięć razy większa niż odległość z Ziemi do Księżyca. Wykorzystując metody analizy izogeometrycznej, możemy przeprowadzić symulacje tego, co by się stało, gdyby asteroida wpadła do Morza Bałtyckiego. W naszych symulacjach uwzględniliśmy nieco mniejszą asteroidę i wykorzystaliśmy dwa arkusze tkaniny izogeometrycznej, jedną do pokrycia topografii wybrzeża i dna morską, a drugą reprezentującą poziom morza. Następnie, znając odpowiednie wzory matematyczne i równania różniczkowe, które rządzą tym zjawiskiem, zawiesiliśmy w przestrzeni niewidzialne „żabki”, które rozpinają naszą tkaninę, i przesuwaliśmy te „spinacze” tak, aby symulowała ona fale tsunami i zmiany poziomu morza.

Prof. Paszyński tłumaczy mechanizm tworzenia symulacji: – Wirtualne tkaniny używane do przybliżania zja-

wisk fizycznych to z matematycznego punktu widzenia kombinacje liniowe smukłych funkcji splajnów. Oczywiście symulacje przebiegają w czasie, mamy więc oś czasu i dzielimy ją na odcinki – kroki czasowe, i symulujemy klatki jak w filmie, pokazując, jak zmienia się stan naszego układu w poszczególnych krokach czasowych.

Wirtualne tkaniny izogeometryczne można rozciągnąć w powietrzu i wtedy będą one naśladować na przykład stężenie zanieczyszczeń. Następnie, stosując odpowiednie równania i metody, można symulować rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w powietrzu. – Pracujemy nad następującą symulacją: nad teren województwa małopolskiego od północy nadciąga chmura zanieczyszczeń, a wiatr wieje w kierunku południowo-wschodnim – kontynuuje prof. Paszyński. – Nasz symulator potrafi przewidzieć, jak ta chmura zanieczyszczeń może się rozprzestrzeniać i jak będzie się zmieniać stężenie zanieczyszczeń w czasie w różnych miejscach w przestrzeni.

Rozpięcie wirtualnych tkanin w warstwach geologicznych, gdzie będą reprezentować ciśnienie, umożliwia symulowanie procesów wydobywania ropy naftowej za pomocą szczelinowania hydraulicznego lub procesu składowania dwutlenku węgla pod ziemią. Możemy też wykorzystać wirtualne arkusze do modelowania stężenia patogenów, np. COVID-19, w przestrzeni wokół nas, a następnie symulować rozprzestrzenianie się tych patogenów poprzez kaszel. Możliwe jest także wykorzystanie wirtualnych arkuszy analizy izogeometrycznej w ciele człowieka – mogą np. symulować wzrost guzów nowotworowych. Wówczas jeden arkusz będzie na przykład charakteryzował gęstość guzów, inny będzie określał stężenie enzymów angiogennych produkowanych przez guz, kolejny – stężenie tlenu dostarczanego przez naczynia krwionośne, a jeszcze inny będzie modelował degradację zdrowej tkanki.



**Wykonana symulacja fali tsunami na Morzu Bałtyckim po uderzeniu asteroidy**  
(projekt sfinansowany z grantu uczelnianego w ramach programu IDUB)

zespół pod kierownictwem  
**prof. dr. hab. Macieja Paszyńskiego**  
Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji  
Instytut Informatyki

projekt „Nowy paradygmat obliczeniowy izogeometrycznej metody minimalizacji reziduum (iGRM) i jego zastosowanie (...)” realizowany w ramach programu HARMONIA 9/NCN

## Sztuczne mózgi kontra gardła von Neumanna, czyli prace nad syntetyczną inteligencją

**Sztuczny mózg zamiast klasycznego komputera? Tak może wyglądać przyszłość. Zespół pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Konrada Szaciłowskiego z ACMiN AGH pracuje nad udoskonaleniem memrystorów, będących sztucznym odpowiednikiem synaps. Łączą one właściwości pamięci oraz procesora, co zdecydowanie zwiększa wydajność obliczeniową układu, przy jednoczesnej redukcji jego zapotrzebowania na energię. To sposób na pokonanie tzw. wąskiego gardła von Neumanna, które stanowi istotne ograniczenie używanych obecnie komputerów.**

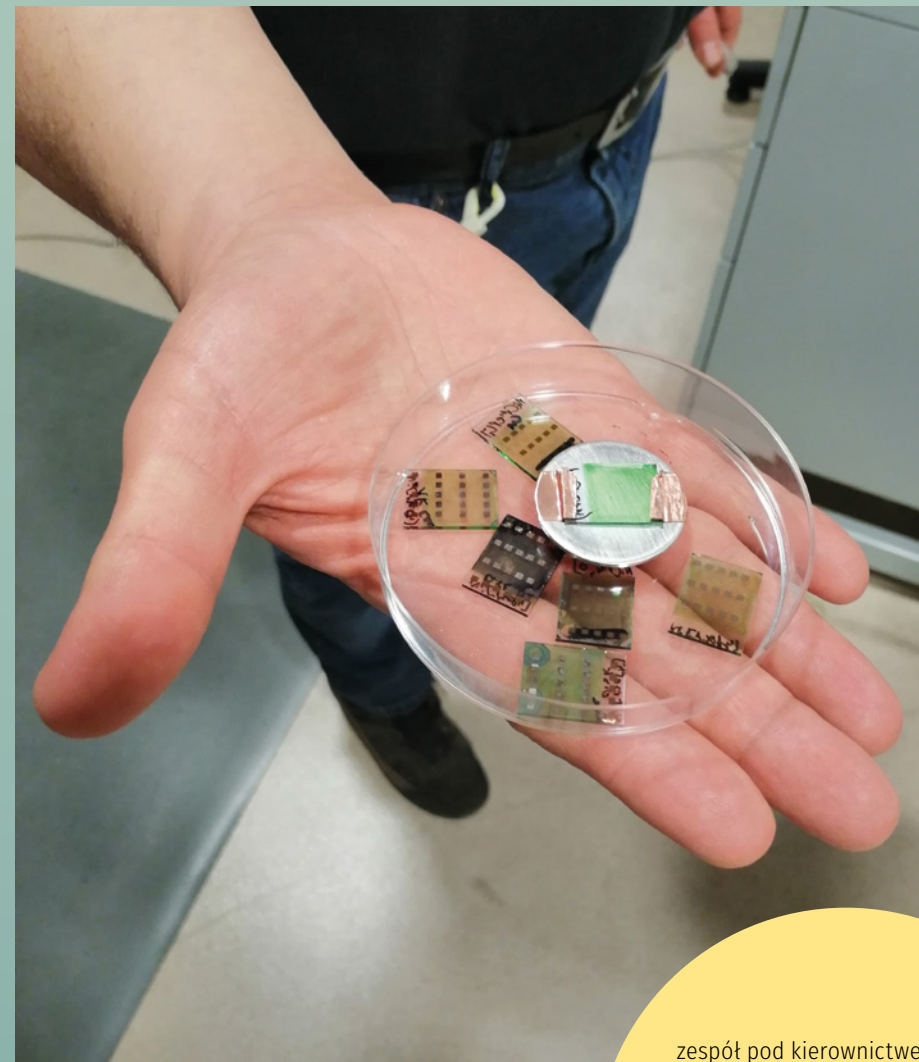
Składają się one z procesora (ang. CPU) i pamięci, pomiędzy którymi przenoszone są dane. Rozwiązanie to ma jedną fundamentalną wadę: szerokość pasma informacji transportowanych między tymi jednostkami jest ograniczona, wskutek czego CPU stoi beczynnie, zanim otrzyma dane. Problem ten nie dotyczy ludzkiego mózgu, który także można pojmować jako maszynę liczącą. Wszystko to dzięki komórkom łączącym funkcje pamięci oraz procesora. Badania wykazały, że synapsy potrafią jednocześnie przechowywać informacje i je przetwarzać. Dzieje się tak dlatego, że zapamiętują przepływ elektronów, a zatem dysponują pamięcią lokalną, która opiera się nie na logice binarnej, lecz rozmytej lub wielowartościowej. Powstaje więc pytanie, jak skopiować ten sprytny patent natury i stworzyć komputer nowej generacji, przypominający w funkcjonowaniu układ nerwowy.

Nadzieją na postęp w technologii jest tzw. memrystor (od ang. *memory* – pamięć, *resistor* – opornik), który można nazwać sztucznym odpowiednikiem synapsy. Jego oporność wzrasta, gdy elektrony przepływają w jednym kierunku, a maleje, kiedy płyną w kierunku przeciwnym. Memrystor pamięta swój stan nawet po wyłączeniu zasilania, zachowując ostatnią oporność w sytuacji braku napięcia. Czyni go to doskonałym kandydatem na komponent, z jakiego można w przyszłości zbudować fizycznie istniejącą syntetyczną sieć neuronową, która będzie odwzorowywać pracę mózgu.

Konstrukcja memrystora stanowi poważne wyzwanie. Konieczne są innowacyjne rozwiązania, których poszukują m.in. badacze z ACMiN AGH. Wykorzystując interdyscyplinarną wiedzę, próbują zbudować rezystor z pamięcią, który będzie mógł działać w warunkach domowych. Konstruują w tym celu układy złożone z nanocząstek i czułych na światło materiałów postperowskitowych.

– *Memrystor to nieliniowy element elektroniczny zwany sztuczną synapsą, można bowiem wymusić na nim pewien prymitywny rodzaj pamięci – będzie on mianowicie pamiętał, czy przepłynął przez niego impuls elektryczny, czy nie. Sztucznym neuronem natomiast nazywana jest często komórka elektrochemiczna, która generuje impulsy elektryczne pod wpływem światła. Chodzi nam teraz o to, by połączyć te dwa różne elementy w celu stworzenia całkowicie syntetycznego układu, który będzie przetwarzał dane w sposób analogiczny do tego, jak zachodzi to wewnątrz naturalnego układu nerwowego – tłumaczy kierownik projektu. – Memrystory oparte o perowskity są badane od 6–8 lat. W tym konkretnym przypadku chodzi o tzw. perowskity ołowowe, czyli związki kompleksowe zawierające ołów, jod oraz kation organiczny. Charakteryzują się one dobrym przewodnictwem elektrycznym i są stosowane powszechnie w ogniwach fotowoltaicznych. Zbudowane z nich memrystory mają jednak podstawową wadę: są bardzo wrażliwe na powietrze czy wilgoć. Dlatego poszukujemy zupełnie nowych materiałów, które będą mieć takie właściwości jak perowskity, a więc wykazywać tzw. memrystancję, natomiast jednocześnie nie będą tak wrażliwe na czynniki środowiskowe. Potrzebne nam są bowiem takie memrystory, które będzie można kiedyś produkować na większą skalę.*

Gdy naukowcom uda się opracować pojedyncze komponenty, przystąpią do budowy sieci neuronowych, zdolnych wykonywać konkretne zadania. – *Chcemy zrobić wiaderko galarety, z którą będziemy mogli zagrać w szachy – mówi półżartem prof. Szaciłowski. Innymi słowy, celem jest stworzenie materialnej syntetycznej inteligencji, którą będzie można wykorzystywać m.in. do budowy sprzętu komputerowego.*



zespół pod kierownictwem  
**prof. dr. hab. inż. Konrada Szaciłowskiego**  
Akademiczne Centrum Materiałów  
i Nanotechnologii AGH

projekt „Post-perowskitowe materiały  
memrystyczne do budowy hardware’owych sieci”  
sfinansowany z grantu uczelnianego  
w ramach programu IDUB

## Świecić z głową: system do projektowania mądrego oświetlenia

**Przestarzałe, źle zaplanowane oświetlenie jest nie tylko kosztowne w eksploatacji, ale i nieekologiczne – poczynając od energochłonności wiążącej się z dużą emisją CO<sub>2</sub> po generowanie szkodliwego smogu świetlnego. Zaprojektowanie nowoczesnego, zgodnego z aktualnymi normami oświetlenia przestrzeni miejskiej jest zaś trudnym zadaniem. W sukurs przychodzi sztuczna inteligencja i rozwiązanie opracowane przez naukowców z AGH.**

Projektowanie oświetlenia zewnętrznego musi uwzględniać kompromis między kosztem energii oświetlenia ulic a bezpieczeństwem ich użytkowników. Optymalne projektowanie przez systemy komputerowe jest trudne ze względu na brak możliwości analizy wszystkich przypadków – dla pojedynczej ulicy należy przeanalizować kilkadziesiąt parametrów z wieloma stopniami swobody. W efekcie interdyscyplinarnych badań prowadzonych w AGH powstał wieloagentowy system sztucznej inteligencji umożliwiający ograniczenie liczby analizowanych wariantów projektowych systemu oświetleniowego poprzez zastosowanie równoległych transformacji grafowych. Wyniki gwarantują co najmniej 70% oszczędności energii elektrycznej przy wymianie oświetlenia na LED (projektowane ręcznie – tylko 50% oszczędności). Przekłada się to na skrócenie czasu projektowania, redukcję emisji CO<sub>2</sub>, zmniejszenie kosztów wymiany oświetlenia oraz zanieczyszczenia światłem. Nad projektem pracowali pod kierunkiem prof. dr. hab. Leszka Kotulskiego: prof. dr. hab. Andrzej Bielecki, dr. hab. Adam Sędziwo, prof. AGH, dr. hab. inż. Igor Wojnicki, prof. AGH, dr. inż. Artur Basiura i dr. inż. Sebastian Ernst. Prace teoretyczne zostały skomercjalizowane w produkt PhoCa (dzięki realizacji projektu NCBR) przez wynubrowany spin-off AGH GRADIS Sp. z o.o. Rozwiązania firmy są z powodzeniem wdrażane w Polsce i za granicą – łącznie wykonano już ponad 100 projektów dla miast, operatorów energetycznych oraz międzynarodowych firm oświetleniowych.

W przypadku pojedynczych właścicieli instalacji oświetleniowych efektem zastosowania PhoCa jest zysk wynikający z lepszego zaprojektowania nowego systemu opartego o LED – można mówić o ponad 20% zysku w kontekście wydatku energetycznego i około 5% obniżeniu kosztów wymiany w porównaniu z projektami wykonywanymi przez człowieka. Ważniejsze wydają się jednak skutki w większej skali. Pomimo że wymiana źródeł oświetlenia stanowi najbardziej efektywną metodę

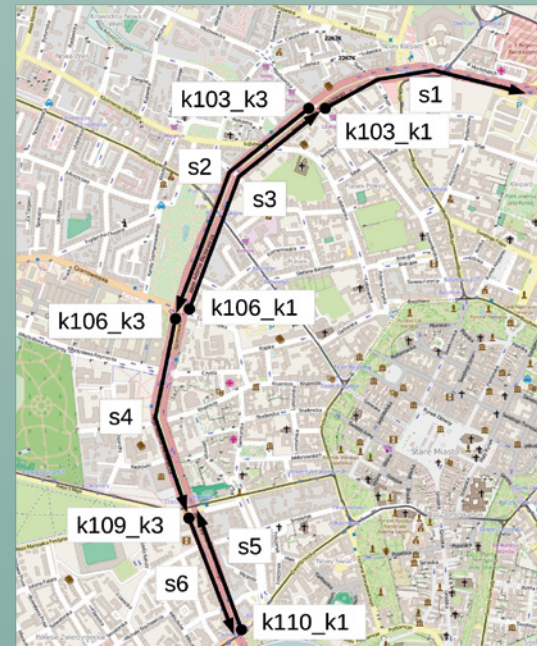
oszczędzania energii, decyduje się na nią stosunkowo niewiele miast. Powodem jest niechęć do podejmowania inwestycji o długim czasie zwrotu (13 lat przy 40% efektywności wymiany, nieco ponad 10 lat przy 50% efektywności wymiany). Oferowany przez PhoCa 20% wzrost efektywności wymiany jest rozwiązaniem przelomowym, bo skraca czas zwrotu do 7,5 roku.

PhoCa zapewnia wyjątkową szybkość i skalowalność obliczeń (liczy co najmniej kilka tysięcy razy szybciej niż człowiek). Dzięki tym cechom istnieje możliwość wykonywania projektów wariantowych w celu optymalizacji podejmowanych decyzji. Korzyści z używania systemu PhoCa stają się tym wyraźniejsze, im większy jest obszar projektowania/analizy. Dla projektów realizowanych w Tbilisi (91 tys. punktów) i Waszyngtonie (56 tys. punktów) pojedynczy wariant projektu system obliczał w ciągu 24 godzin. W Krakowie dla 4 tys. punktów projektanci bez wspomaganie systemu liczyli 6 tygodni, podczas gdy pierwsza wersja systemu PhoCa przygotowała projekt w 8 godzin.

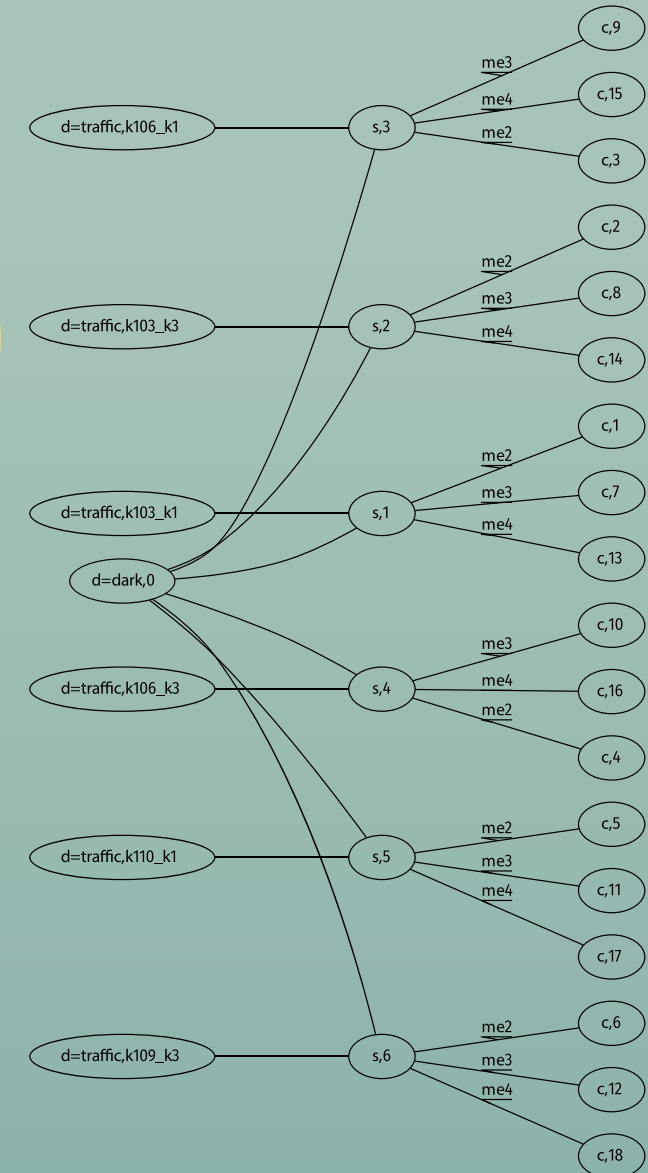
Możliwość analizy wielu wariantów projektowych jest jeszcze ważniejsza w przypadku projektów ESCO, gdzie za stałą ustaloną opłatą firma przejmuje zadania oświetleniowe od miasta. Wówczas liczba wariantów wzrasta, bo analizuje się nie tylko cenę inwestycji, ale również zysk pochodzący z kosztów operacyjnych.

Szczególnym przypadkiem, w którym przydają się możliwości systemu PhoCa, jest dynamiczne sterowanie oświetleniem. Norma 13201 dopuszcza obniżenie wymagań oświetleniowych, np. gdy spada natężenie ruchu. Obniżenie to nie jest jednak procentowe, np. o 10% czy 20%, tylko o jedną lub dwie klasy oświetleniowe – i dla tych niższych klas trzeba przygotować kolejne projekty. System dynamicznego sterowania zgodnego z normą 13201 działa np. już od kilku lat w Krakowie (al. Krasińskiego i al. Mickiewicza) i generuje 47% oszczędności w porównaniu ze statycznym systemem opartym na LED.

zespół pod kierownictwem  
**prof. dr. hab. Leszka Kotulskiego**  
Wydział Elektrotechniki, Automatyki,  
Informatyki i Inżynierii Biomedycznej  
Katedra Informatyki Stosowanej  
system PhoCa



Zakres projektu dynamicznego sterowania oświetleniem (na mapie widoczne Aleje Trzech Wieszczów w Krakowie) i fragment grafu sterującego, wiążącego informacje z sensorów z parametrami ściemnienia lamp



## Termiczne przetwarzanie odpadów organicznych jako metoda pozyskiwania zasobów

**Znaczny odsetek wszystkich śmieci w Polsce stanowią odpady organiczne. W jaki sposób można je wykorzystać, by nie zalegały na wysypisku? Jedną z metod są procesy konwersji termicznej – np. torfikacja, hydrotermiczne uwęglanie, piroliza czy zgazowanie – które pozwalają odzyskać z bioodpadów wartościowe produkty, a nawet przekształcić je w paliwo alternatywne.**

Prowadzenie badań w tym zakresie wpisuje się zatem w koncepcję gospodarki o obiegu zamkniętym, w myśl której należy zminimalizować wydobycie surowców i w jak największym stopniu ponownie wykorzystywać te same produkty. W ten sposób można nie tylko zaradzić niedoborom ziemskich zasobów, lecz również zredukować emisję gazów cieplarnianych.

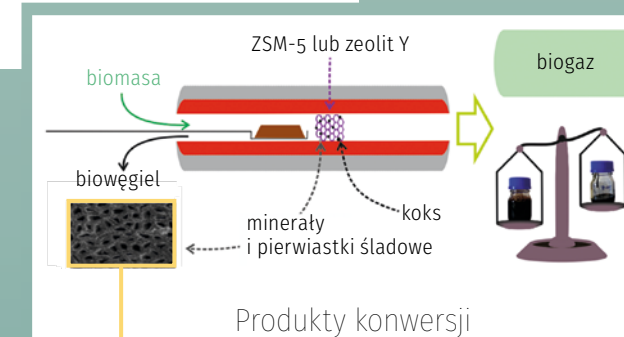
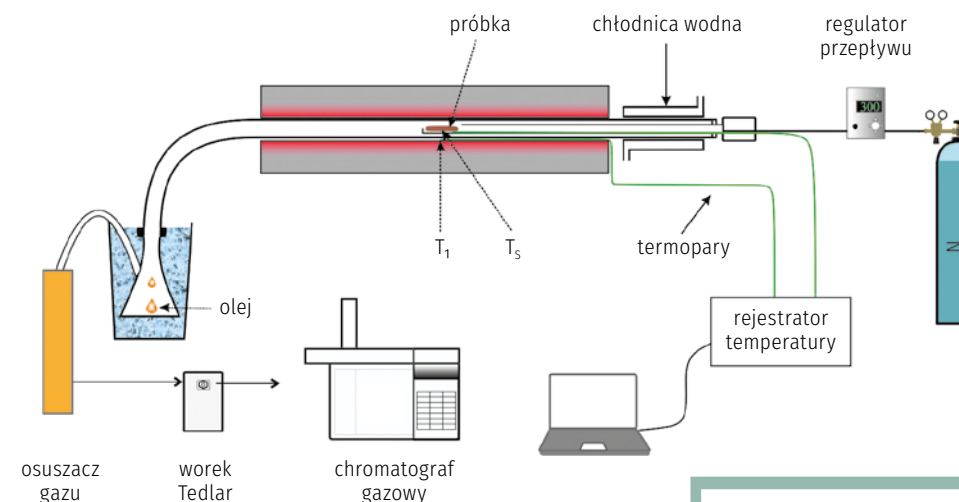
Na problematyce termicznego przetwarzania odpadów organicznych, z których można pozyskać zarówno surowce do przemysłu chemicznego, jak i biopaliwa, koncentruje się zespół badawczy pod kierownictwem dr hab. Anety Magdziarz, prof. AGH z Wydziału Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, realizujący projekt „Wielokryterialna analiza procesu pirolizy rolniczej biomasy odpadowej, odpadów biodegradowalnych oraz paliwa typu RDF”.

Piroliza (z gr. *pyr* – ogień, *lysis* – rozpad) jest procesem polegającym na rozkładzie złożonych związków chemicznych na związki proste, który zachodzi w warunkach wysokiej temperatury w atmosferze beztlenowej ( $N_2$ , Ar). Badania prowadzone w AGH dotyczą pirolizy odpadów pochodzenia rolniczego oraz odpadów typu drzewnego. Podczas realizacji projektu dokonano szczegółowej analizy parametrów fizykochemicznych substratów i produktów pirolizy badanych odpadów, wykorzystując szerokie spektrum zaawansowanych metod instrumentalnych. Ponadto sprawdzono także, w jaki sposób udział katalizatora wpływa na wydajność procesu oraz na jakość poszczególnych produktów. We współpracy z Xi'an Jiaotong University prowadzono również badania tzw. współpirolizy drzewnej biomasy odpadowej i odpadów gumowych w warunkach krakingu katalitycznego. W efekcie uzyskano zmniejszenie stężenia fenolu w oleju pirolitycznym oraz zmniejszenie zawartości wody w produktach pirolizy.

W ramach projektu prowadzone są różne badania cząstkowe, wykonywane przez doktorantów. Mgr inż. Artur Bieniek wykorzystuje metody numeryczne z zakresu komputerowej mechaniki płynów (ang. CFD – *Computa-*

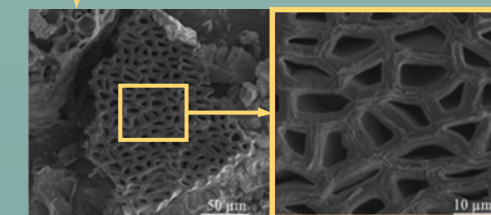
*tional Fluid Dynamics*) do obliczeń wydajności produktów pirolizy przy zmieniających się warunkach procesu: tj. w zależności od temperatury, rodzaju gazu nośnego czy szybkości jego przepływu. Mgr inż. Małgorzata Sieradzka analizuje skład gazu pirolitycznego z wykorzystaniem chromatografii gazowej. – *Chromatografia gazowa jest metodą instrumentalną, która służy do analizy składu poszczególnych związków chemicznych w mieszaninie. Krótko mówiąc, mamy pewną mieszaninę gazową – dla przykładu gaz pirolityczny – i analizujemy go pod kątem zawartości i stężenia m.in. wodoru, tlenu węgla, dwutlenku węgla i węglowodorów. W celu analizy poszczególnych związków wchodzących w skład mieszaniny gazowej, są one przenoszone przez obojętny gaz nośny (np. He) do kolumny chromatograficznej, gdzie dochodzi do ich rozdzielenia na podstawie tzw. czasu retencji. Kolumna dobierana jest odpowiednio pod kątem analizowanych substancji. W rezultacie otrzymujemy chromatogram, będący obrazem przedstawiającym piki dla poszczególnych związków w funkcji czasu. Wyniki te porównywane są z chromatogramami otrzymanymi podczas analizy gazów wzorcowych o znanym składzie i stężeniu – tłumaczy prof. Magdziarz.*

Zużyte materiały organiczne mogą zyskać drugie życie na wiele sposobów. Jedną z metod ich wykorzystania jest przekształcenie w paliwo RDF (ang. *Refuse Derived Fuel*). Tak określa się paliwa alternatywne z wyselekcjonowanych odpadów o wysokiej wartości opałowej (14–19 MJ/kg). Tego typu źródło energii może być dobrym zamiennikiem dla konwencjonalnego paliwa kopalnego – węgla, ropy czy też gazu ziemnego. Co więcej, bioodpady są także cennym źródłem związków chemicznych, które można z powodzeniem wykorzystać do produkcji kosmetyków. Takim przykładem jest odpad z przemysłu browarniczego, czyli tzw. młóto, które jest materiałem lignocelulozowym i zawiera związki bioaktywne, w tym związki fenolowe, które cieszą się ogromnym zainteresowaniem społeczności naukowej ze względu na ich szerokie zastosowanie.



zespół pod kierownictwem **dr hab. Anety Magdziarz, prof. AGH** Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

projekt sfinansowany z grantu uczelnianego w ramach programu IDUB



Struktura biowęgla w powiększeniu

## VRSophy, czyli o przekładaniu klasycznych koncepcji filozofii na język współczesności

**Z czym na ogół kojarzy się nam filozofia? Z zakurzonymi tomami, abstrakcyjnymi pojęciami, zawiłymi dyskusjami w akademickim gronie. Tylko garstka entuzjastów przekonuje, że tak naprawdę chodzi w niej o sprawy istotne dla każdego z nas, a pozornie suchy filozoficzny dyskurs faktycznie kryje w sobie potężny ładunek emocji, opowiadając o prawdzie, wyzwaniu się z iluzji i sensie codziennej egzystencji.**

A gdyby tak pokazać filozofię w zupełnie inny sposób? Zamiast do lektury tekstu zaprosić do fascynującej gry? Gry, która angażuje jednocześnie intelekt i ciało? I to gry survivalowej? Taki właśnie jest zamysł projektu VRSophy, realizowanego w EduVRLab – Laboratorium Badań Rzeczywistości Wirtualnej – na Wydziale Humanistycznym AGH we współpracy ze Szkołą Filmową w Łodzi. Prace zespołu koordynują dr hab. Jowita Guja, prof. AGH i mgr Adam Żądło z Katedry Technologii Informatycznych i Mediów. Projekt pomyślany jako cykl aplikacji otwiera Jaskinia VR – adaptacja klasycznego tekstu Platona realizowana w wirtualnej rzeczywistości.

Mowa oczywiście o fragmencie *Państwa*, w którym filozof prezentuje sugestywną metaforę ludzkiego życia. Wyobraźmy sobie – powiada – wnętrza jaskini, a w niej przykutych kajdanami więźniów odwróconych plecami do wyjścia. Ich oczy zwrócone są na ścianę jaskini, na której pojawiają się cienie rzucane przez ludzi i przedmioty, poruszające się daleko z tyłu. Więźniowie nie wiedzą jednak, że są uwięzieni. Są przekonani, że prawdziwą rzeczywistością jest teatr cieni, a ich więzienie jest całym światem. Tymi więźniami – przekonuje Platon – jesteśmy my sami, a to, co bierzemy za prawdę, jest jedynie iluzją. Istnieje możliwość wydobycia się z naszego więzienia i zwrócenia w stronę prawdziwej rzeczywistości. Jest to jednak bardzo trudne, wymaga porzucenia wszystkiego, co znane i bezpieczne.

Przekonanie, że otaczający nas świat jest kłamstwem, przez które trzeba się przebić, to bardzo ważny kulturowy paradygmat, na którym oparte są nie tylko systemy filozoficzne i religijne, ale także takie popkulturowe dzieła jak *Matrix* czy *Truman Show*. Istotą obrazu jaskini jest zaburzenie oczywistości – to, co znane i powszechnie respektowane, okazuje się fałszem. Przebudzenie z iluzji to jednak dopiero początek długiego i trudnego procesu, ilustrowanego przez Platona obrazami wyrywania z kajdan, mozolnej wspinaczki, bólu oczu oślepionych światłem. Platon umieszcza opowieść o jaskini w kontekście

własnej ontologii, sama metafora ma jednak charakter uniwersalny. Wyrwanie z tego, co swojskie i bezpieczne, jest karkołomne niezależnie od tego, jaka jaskinia stanowi nasze więzienie. Może być ona systemem ideologicznym, religijnym lub politycznym. Jaskinią może być również „wnętrze” VR-owego headsetu, chociaż można je potraktować jako metaforę w obrębie innej metafory.

Współczesne odczytanie metafory jaskini generuje także wątpliwości: a co jeżeli jaskinia nie ma granic? Jeżeli jak lalka matryoszka umieszczona jest w innej jaskini, a tamta w jeszcze innej, i tak bez końca?

– *Przenosząc tekst filozoficzny do VR, chcemy spowodować do zadania tych pytań – mówi prof. Jowita Guja. – Jednocześnie, każąc jego odbiorcy fizycznie wyrwać się z więzów, wspinać i pływać (nasza jaskinia wypełniona jest wodą), pytamy o relację refleksji i ciała. Zakładamy, że filozofowanie „na poważnie” jest czymś więcej niż spokojną lekturą i dyskusją w wykładowej sali. Prezentując multimedialne doświadczenie wymagające nie tylko wysiłku umysłowego, ale i fizycznego, chcemy podkreślić przeżyciowy charakter filozofii.*

Jaskinię VR można odbierać na wielu poziomach – równie dobrze może być ona doświadczeniem egzystencjalnym lub podstawą filozoficznej dysputy, jak i zwykłą rozrywką. Różne swoje warstwy odstania ona w zależności od nastawienia użytkownika oraz sytuacji: immersant może zostać odpowiednio wprowadzony na filozoficznym seminarium bądź indywidualnie eksplorować jako jedną z wielu gier ściągniętych ze Steam czy Oculus Store.

Jaskinia VR to eksperymentalna realizacja inicjująca cykl VR-owych adaptacji klasycznych filozoficznych konceptów. – *Mogą one służyć jako punkt odniesienia dyskusji filozoficznych uzupełniający tradycyjną lekturę tekstów, chcielibyśmy jednak, żeby każde z tych doświadczeń mogło funkcjonować poza sferą akademickiego dyskursu: przemawiało własnym, swoistym językiem przekraczającym granice filmu, gry wideo i filozoficznej rozprawy – dodaje prof. Guja.*



zespół pod kierownictwem  
**dr hab. Jowity Guj, prof. AGH**  
Wydział Humanistyczny  
EduVRLab – międzykatedralne  
Laboratorium Badań  
Rzeczywistości Wirtualnej

Projekt VRSophy realizowany  
w ramach programu vnLab  
oraz grantu Rozwój Sektorów  
Kreatywnych/MKiDN



## W stronę energetyki neutralnej dla klimatu. Niekonwencjonalne systemy geotermalne

Na wielu terenach klasyczna eksploatacja złóż energii geotermalnej, kojarzona przede wszystkim z wykorzystaniem gorących wód, jest utrudniona ze względu na warunki hydrogeologiczne. Alternatywą mogą być systemy wykorzystujące potencjał energetyczny suchych gorących skał. Odbiór ciepła w takim systemie odbywa się poprzez zatłaczane pod dużym ciśnieniem płyny, które cyrkulują przez gorącą strukturę skalną. Coraz większym zainteresowaniem na całym świecie cieszą się wspomagane systemy geotermalne (Enhanced Geothermal Systems, EGS) wykorzystujące jako płyn roboczy dwutlenek węgla zamiast wody.

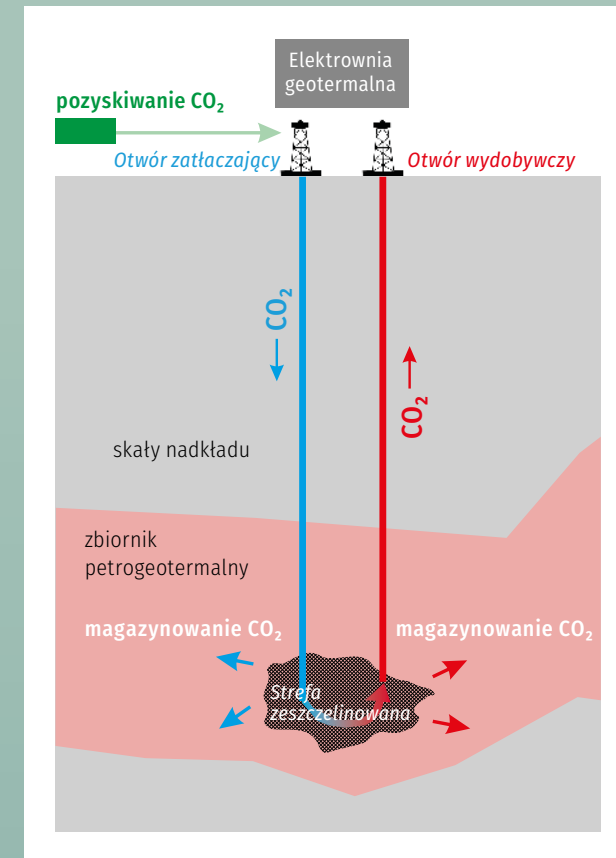
Przyczyną tego zainteresowania jest możliwość geologicznego składowania CO<sub>2</sub> w procesie konwersji energii geotermalnej do energii użytecznej. Technologia CO<sub>2</sub>-EGS przyczynia się do ochrony klimatu poprzez dostarczenie czystej energii geotermalnej, przy jednoczesnej eliminacji emisji dwutlenku węgla pochodzącej ze spalania paliw kopalnych. Badania wykazały także znaczne zalety stosowania CO<sub>2</sub> jako płynu roboczego, w tym korzystne właściwości termodynamiczne, transportowe czy niską aktywność chemiczną.

Prace badawcze ukierunkowane na analizę efektywności funkcjonowania EGS wykorzystujących jako płyn roboczy dwutlenek węgla w stanie nadkrytycznym prowadzi polsko-norweskie konsorcjum pod kierownictwem dr hab. inż. Anny Sowizdżał, prof. AGH z Katedry Surowców Energetycznych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska. W skład konsorcjum, którego liderem jest AGH, wchodzi: Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, SINTEF Energi AS (Trondheim, Norwegia), Norwegian University of Science and Technology (Trondheim, Norwegia) oraz EXERGON Spółka z o.o. (Gliwice). Od października 2020 r. konsorcjanci wspólnie realizują projekt „CO<sub>2</sub>-Enhanced Geothermal Systems for Climate Neutral Energy Supply” (Niekonwencjonalne systemy geotermalne CO<sub>2</sub>-EGS jako systemy energetyczne neutralne dla klimatu), akronim EnerGizerS. Otrzymał on dofinansowanie w ramach polsko-norweskich projektów badawczych POLNOR 2019 finansowanych przez Fundusze Norweskie za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

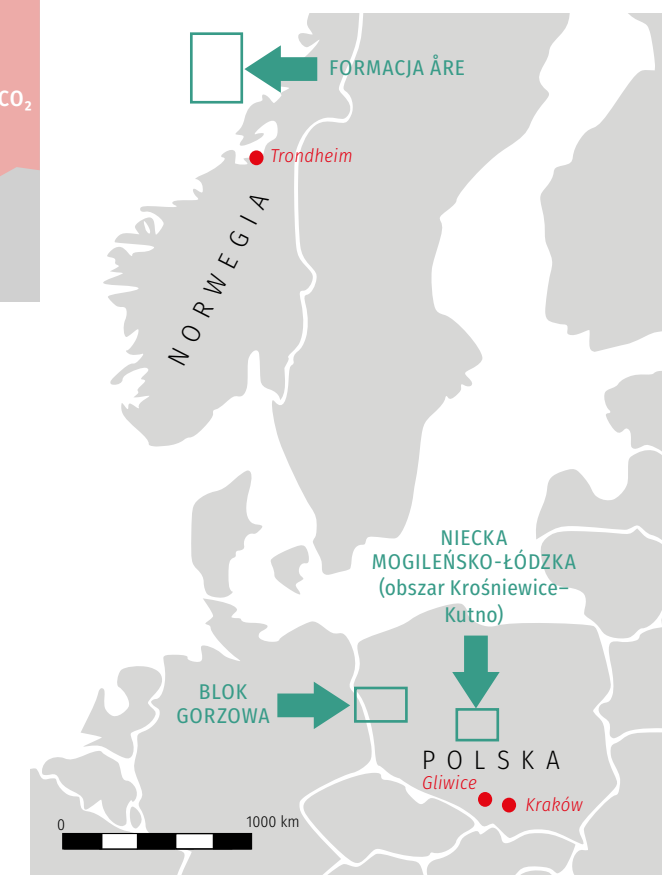
Głównymi celami projektu jest rozwój technologii wspomaganých systemów geotermalnych wykorzystu-

jących nadkrytyczny dwutlenek węgla jako medium, ale także intensyfikacja współpracy między partnerami polskimi i norweskimi oraz wymiana doświadczeń w zakresie wykorzystania energii geotermalnej i geologicznego składowania dwutlenku węgla. Podejmowane działania zmierzają do ograniczenia emisji dwutlenku węgla i łagodzenia antropogenicznych zmian klimatu przy jednoczesnym zaspokojeniu potrzeb energetycznych.

Projekt EnerGizerS składa się z sześciu pakietów roboczych, w ramach których prowadzone są badania mające na celu identyfikację i szczegółową charakterystykę struktur geologicznych odpowiednich dla lokalizacji systemów CO<sub>2</sub>-EGS w Polsce i Norwegii. Zamknięcie pierwszego etapu prac zaowocowało wskazaniem istotnych parametrów dla lokalizacji takich systemów na lądzie (Polska) i na morzu (Norwegia) oraz identyfikację perspektywicznych struktur geologicznych: bloku Gorzowa oraz obszaru Krośniewice-Kutno w Polsce, a także formacji Åre na Morzu Norweskim w Norwegii. Przeprowadzono kompleksowe badania laboratoryjne próbek rdzeni wiertniczych pobranych z odpowiednich formacji geologicznych, umożliwiające charakterystykę petrofizyczną, termiczną i mechaniczną skał. W ramach kampanii eksperymentalnej, której celem było określenie właściwości i sposobu zachowania się płynów roboczych systemów CO<sub>2</sub>-EGS, zorganizowano wyjazd młodego naukowca, doktoranta z Katedry Surowców Energetycznych WGGiOŚ AGH, do norweskiego partnera – SINTEF. Obecnie prowadzone są prace nad modelami systemów podziemnych oraz napowierzchniowych. Postępy prowadzonych prac można śledzić na stronie internetowej projektu: energizers.agh.edu.pl. Ostateczne wyniki projektu będą znane pod koniec 2023 r.



Instalacja EGS-CO<sub>2</sub>



Perspektywiczne struktury geologiczne dla EGS-CO<sub>2</sub> wskazane w projekcie EnerGizerS

zespół pod kierownictwem  
**dr hab. inż. Anny Sowizdżał, prof. AGH**  
 Wydział Geologii, Geofizyki  
 i Ochrony Środowiska  
 Katedra Surowców Energetycznych  
 prace realizowane w ramach projektu  
 EnerGizerS/NCBR

## **Innowator AGH 2022. Osiągnięcia naukowe**

Copyright by  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie

ISBN 978-83-66727-96-0

Kraków 2022

### WYDAWCA

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

### REDAKCJA, OPRACOWANIE GRAFICZNE I SKŁAD

Marianna Cielecka

### KOREKTA

Weronika Legut, Katarzyna Wrzozczyk

### ILUSTRACJE

W publikacji wykorzystano przede wszystkim grafiki i zdjęcia z zasobów autorów opisanych badań.  
Rysunek na s. 9 oraz fotografie na s. 15 i 39 (osoba w goglach VR) pochodzą z bazy Dreamstime.  
Zdjęcia na s. 23, 29 i 39 (gogle HoloLens 2) wykonała Marianna Cielecka, a fotografię na s. 49 – Maciej Talar/ Krakowska Studencka Agencja Fotograficzna AGH.  
Autorem rysunku na s. 55 jest mgr inż. Paweł Maczuga.  
Zdjęcie na s. 57 – Michał Ciesielka.

### PRODUKCJA

NBI Media



[agh.edu.pl](http://agh.edu.pl)