



Miasta przyszłości - utopia czy konieczność

Jak zminimalizować negatywny wpływ rosnących aglomeracji miejskich na środowisko?

Rozwój urbanistyki

W latach 1901–1904 Tony Garnier opracował pierwszą serię rysunków dotyczących idealnego miasta przemysłowego. W 1917 roku opublikował jej zmodyfikowaną i znacznie uzupełnioną wersję w formie zbioru zatytułowanego *Une Cité Industrielle. Étude pour la construction des villes* (tłum. „Miasto przemysłowe. Studium dotyczące budowy miast”). Dzieło to odniosło ogromny sukces i jest dziś uważane za pierwszy manifest urbanistyki XX wieku. To jedno z pierwszych miast przyszłości zostało stworzone od podstaw, zaprojektowane tak, aby odpowiadać na potrzeby młodego społeczeństwa przemysłowego. Obiekty administracyjne, szkolne, szpitalne, kulturalne i sportowe były łatwo dostępne z dzielnic mieszkalnych. Ścieżki dla pieszych, oddzielone od dróg przeznaczonych dla samochodów, świadczyły o trosce architekta o dobre samopoczucie mieszkańców. Warto tu dodać, że miasto było zainspirowane powieścią Émile’a Zoli *Praca* i stanowi architektoniczne odzwierciedlenie utopijnej idei socjalistycznej. Ujawnia polityczny wymiar zawodu architekta i do dziś pozostaje w zgodzie z wyzwaniami współczesnego miasta.

Miasto Przemysłowe (*Cité Industrielle*) to wizjonerski projekt idealnego miasta przemysłowego z początku XX wieku, który wpłynął na rozwój urbanistyki.

Do kluczowych cech projektu należy zaliczyć:

- Układ liniowy - miasto miało być rozplanowane wzdłuż linii komunikacyjnej, oddzielając strefy mieszkalne, przemysłowe i rekreacyjne.
- Funkcjonalne oddzielenie - zastosowano zasadę segregacji funkcji miasta, oddzielając strefy pracy, mieszkania, usług i wypoczynku.
- Integrację zieleni - zieleni miała odgrywać ważną rolę w integrowaniu przestrzeni miejskiej, tworząc „wielki park”.
- Infrastrukturę - projekt przewidywał oddzielenie ruchu pieszego i kołowego oraz strefy przemysłowej.

Takie założenia *Cité Industrielle* bez wątplenia uczyniły tę koncepcję rewolucyjną i rozwojową. Funkcjonalne oddzielenie stref i zintegrowana zieleni miały silny wpływ na rozwój miast

(CIAĞ DALSZY NA S. 5)

W NUMERZE

między innymi:

- *Miasta przyszłości...* - prof. arch. Elżbieta Dagny Ryńska (s. 1, dokończenie s. 5)
- *IX Kosmos Pitagorasa...* - dr hab. Jacek Rogala (s. 1, dokończenie s. 22)
- *Kontrola jakości wspierana sztuczną inteligencją w produkcji* - dr inż. Krzysztof Ejsmont (s. 12)
- *Centrum AI* - prof. Leon Gradoń (s. 17)
- *Światło jako medium percepcji* - Beata Bajno (s. 19)
- *Inżynieria biomedyczna...* - prof. Tadeusz Pałko (s. 25)
- *Współpraca lekarz-inżynier* - dr hab. inż. Marcel Młynczak (s. 27)
- *Granty dydaktyczne* - teksty zespołów realizujących projekty dydaktyczne na Politechnice Warszawskiej (s. 32)
- *Filozofia w praktyce...* - dr Maciej Kulik i mgr Ewelina Gajewska (s. 38)

IX KOSMOS PITAGORASA DLA ERNSTA PÖPPELA

*laudacja wygłoszona przez
dr. hab. Jacka Rogalę*

Nadanie profesorowi Ernstowi Pöppelowi wyróżnienia Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej „Kosmos Pitagorasa” symbolizuje ścisłe związki między humanistyką a neuronauką.

Motto tego wyróżnienia *Laus tibi, non tuleris qui vincula mente animoque* (tłum. „Chwała Ci za to, że nie pozwoliłeś nałożyć więzów na swój umysł i swego ducha”), oddaje część absolutnej wolności

(CIAĞ DALSZY NA S. 22)

DZIAŁALNOŚĆ CENTRUM STUDIÓW ZAAWANSOWANYCH PW

czyli najważniejsze wydarzenia w CSZ PW

W okresie od lutego 2025 roku do kwietnia 2026 roku Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej kontynuowało swoją działalność naukową, popularyzatorską i dydaktyczną. W tym czasie zrealizowano liczne seminaria, warsztaty, sympozja, spotkania interdyscyplinarne oraz wydarzenia specjalne, obejmujące szerokie spektrum dziedzin.

Działania CSZ PW były prowadzone w ramach stałych serii wydarzeń naukowych oraz projektów, a także przy współpracy z jednostkami PW oraz instytucjami partnerskimi. Zrealizowane wydarzenia pokazują szeroki zakres zainteresowań i działalności Centrum – od matematyki i informatyki, przez biotechnologię i inżynierię materiałową, aż po neuronaukę, estetykę i filozofię.

Centrum konsekwentnie tworzy przestrzeń do interdyscyplinarnej wymiany myśli, prezentacji wyników badań oraz wspierania wybitnych osiągnięć naukowych, przyczyniając się do rozwoju środowiska akademickiego Politechniki Warszawskiej.

KOSMOS PITAGORASA

9 lutego 2026 r. odbyła się uroczystość wręczenia Wyróżnienia CSZ PW „Kosmos Pitagorasa” dla prof. Ernsta Pöppela z Uniwersytetu Ludwika i Maksymiliana w Monachium, wybitnego niemieckiego neuropsychologa, psychologa poznawczego i badacza czasu, którego interdyscyplinarna działalność obejmuje psychologię, neurofizjologię, filozofię, sztukę i estetykę. Profesor Pöppel jako pionier badań nad „ślepowidzeniem” (*blindsight*) wniósł istotny wkład w zrozumienie plastyczności mózgu i procesów regeneracji po urazach. Opracował także metody monitorowania głębokości znieczulenia oraz modele hierarchicznej percepcji czasu.

Z tej okazji laureat wygłosił odczyt pt. *Time windows: How the Brain makes Cognition possible*. Uroczystość odbyła się w Sali Senatu Politechniki Warszawskiej i zgromadziła wielu znakomitych gości ze świata nauki i kultury.
| → zob. s. 1 tekst laudacji wygłoszonej na cześć laureata

SPOTKANIA OTWARTYCH UMYŚLÓW

Goszcząc laureata Wyróżnienia „Kosmos Pitagorasa”, prof. Ernsta Pöppela, mieliśmy wyjątkową okazję zaprosić go

także do udziału w specjalnym panelu dyskusyjnym z cyklu Spotkania Otwartych Umysłów. Wydarzenie pt. *Brain Time and Aesthetics* odbyło się 10 lutego 2026 r. z udziałem:

dr. Pawła Boguszewskiego z Instytutu Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN (badacza mózgu, popularyzatora nauki i specjalisty od złożonych systemów neuronalnych);

prof. Stanisława Janeczko z Centrum Studiów Zaawansowanych PW i Wydziału MiNI PW (matematyka, który z pasją łączy perspektywę nauk ścisłych z refleksją nad świadomością);

prof. Ernsta Pöppela z Uniwersytetu Ludwika i Maksymiliana w Monachium (wybitnego neurobiologa i laureata Wyróżnienia CSZ PW „Kosmos Pitagorasa”, którego badania nad organizacją procesów poznawczych od lat inspirują zarówno środowisko naukowe, jak i twórców kultury);

dr. hab. Jacka Rogalę z Centrum Wiarygodnej Sztucznej Inteligencji Politechniki Warszawskiej (eksperta w dziedzinie neurostymulacji i procesów poznawczych, wykorzystującego w swojej pracy metody sztucznej inteligencji, specjalizującego się również w badaniu wpływu sztuki na układ nerwowy i ludzką psychikę);

Tomasza Stawiszyńskiego (filozofa, publicysty i eseisty, który wprowadził do rozmowy perspektywę humanistyczną i egzystencjalną).

WYKŁADY UOD CSZ PW

W Uczelnianej Ofercie Dydaktycznej Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej, dostępnej w ramach oferty Szkoły Doktorskiej PW słuchacze mieli możliwość wyboru spośród różnorodnej oferty tematycznej, zarówno kontynuacji, jak również nowości:

1. *Fundamentals of Computer Vision (English course)*, dr hab. inż. Agnieszka Jastrzębska, prof. uczelni (PW);
2. *Introduction to Singularity Theory (English course)*, prof. Stanisław Janeczko (PW);
3. *From Neuron to Consciousness (English course)*, dr hab. Jacek Rogala (PW);
4. *Iluzja Wiedzy i Granice Poznania*, prof. Stanisław Janeczko (PW);
5. *Therapy for the 21st Century (English course)*, prof. Ewa Bartnik (UW);

6. *Rozmowy i Rozumowania*, prof. Stanisław Janeczko (PW);

7. *Podstawy rozpoznawania obrazów*, dr hab. inż. Agnieszka Jastrzębska, prof. uczelni (PW).

*) Szczegółowy wykaz archiwalnych i realizowanych przedmiotów znajduje się na stronie www.konwersatorium.pw.edu.pl/oferta, dostępnej również ze strony Centrum – www.csz.pw.edu.pl.

HORYZONTY DYSCYPLIN NAUKI

Seria zapoczątkowana w 2023 roku pod patronatem Prorektora ds. Nauki Mariusza Malinowskiego, z inicjatywy prof. Janusza Zawily-Niedźwieckiego i Centrum Studiów Zaawansowanych, prezentująca osiągnięcia zespołów badawczych PW w poszczególnych dyscyplinach. Spotkania obejmują zarówno tematy inżynierskie, jak i ścisłe czy biomedyczne. W sumie zrealizowano 19 spotkań w formule on-line, w tym, w ciągu ostatniego roku:

20 marca 2025 – *Cyberbezpieczeństwo – aspekty prawne i społeczne*; dyscyplina: Nauki prawne; prelegenci: dr Marek Porzeżyński i dr Sebastian Zieliński (Wydział Administracji PW); wydarzenie poprowadził dr hab. Robert Suwaj (Wydział Administracji PW).

17 kwietnia 2025 – *Rola inżynierii materiałowej w kształtowaniu medycyny przyszłości*; dyscyplina: inżynieria materiałowa; prelegent: prof. dr hab. inż. Wojciech Świąszkowski (Wydział Inżynierii Materiałowej PW); wydarzenie poprowadził prof. dr hab. inż. Dariusz Oleszak (Wydział Inżynierii Materiałowej PW).

15 maja 2025 – *Filozofia w dobie nauki i technologii*; dyscyplina: Filozofia; prelegenci: dr hab. Antonio Vassallo, dr Maciej Kulik, mgr Ewelina Gajewska (Wydział Administracji i Nauk Społecznych PW); wydarzenie poprowadził dr Bartłomiej Skowron (Wydział Administracji i Nauk Społecznych PW).
| → zob. s. 38

16 października 2025 – *Czy fizyka może wyjaśniać zjawiska społeczne?*; dyscyplina: Nauki fizyczne; prelegenci: prof. dr hab. inż. Janusz Hołyst, dr hab. inż. Julian Sienkiewicz (Wydział Fizyki PW); koreferent: prof. dr hab. Katarzyna Sznajd-Weron (Wydział Zarządzania Politechniki Wrocławskiej); wydarzenie poprowadził dr hab. Marcin Koszowy, prof. uczelni (Wydział Administracji i Nauk Społecznych PW).

20 listopada 2025 – *Innowacyjne narzędzia dla współczesnej biotechnologii*; dyscyplina: Biotechnologia; prelegenci: dr Katarzyna Szymańska, dr inż. Agnieszka Żuchowska; dr hab. inż. Mariusz Pietrzak, prof. PW (Wydział Chemiczny PW); wydarzenie poprowadził prof. dr hab. inż. Michał Chudy (Wydział Chemiczny PW).

22 stycznia 2026 – *Samozasilająca się elektronika – klucz do zrównoważonej przyszłości* (grant ERC z IV.2024); dyscyplina: Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne; prelegent: prof. Tomasz Skotnicki (Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii PW); wydarzenie poprowadził prof. Romuald Beck (Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii PW).

19 marca 2026 – *Bioinformatyczna analiza danych z sekwencjonowania DNA*; dyscyplina: Informatyka techniczna i telekomunikacja; prelegent: dr inż. Wiktor Kuśmirek (WEiTI PW); wydarzenie poprowadził prof. dr hab. inż. Jarosław Arabas (WEiTI PW).

23 kwietnia 2026 – *Jak technologia odkrywa historię na nowo?*; dyscyplina: Inżynieria lądowa, geodezja i transport; prelegenci: dr hab. inż. Jakub Markiewicz, dr inż. Wojciech Ostrowski, dr inż. Sebastian Różycki (Wydział Geodezji i Kartografii PW); koreferenci: mgr Agnieszka Bocheńska (Zamek Królewski w Warszawie), dr Aleksandra Janus (Fundacja Zapomniane); wydarzenie poprowadziła dr hab. inż. Katarzyna Osińska-Skotak (Wydział Geodezji i Kartografii PW).

SYMPOZJA CENTRUM STUDIÓW ZAAWANSOWANYCH

Warsztaty ścisłego myślenia II

Warsztaty odbywały się 21-23 marca 2025 r. w Europejskim Centrum

Edukacji Geologicznej UW (Korzecko w Chęcinach) i zorganizowano je we współpracy z Centrum Badania Ryzyka Systemowego UW. Była to kontynuacja warsztatów pod tą samą nazwą, które odbyły się wiosną 2024. Wydarzenie było dedykowane dla szerokiego merytorycznie kręgu uczestników, otwartych na prezentowanie własnych przemyśleń i badań z uwzględnieniem różnych specjalizacji wśród słuchaczy. Szczególny nacisk położony został na zagadnienia złożoności systemów oraz zagadnienia z pogranicza dziedzin humanistycznych i matematyki, z odniesieniem do modelowania zjawisk w naukach przyrodniczych i społecznych.

III Warsztaty Konceptyjne CBRS – CSZ w Chęcinach

W dniach 9-11 maja 2025 r. w Europejskim Centrum Edukacji Geologicznej UW w Chęcinach odbyły się III Warsztaty Konceptyjne Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej we współpracy z Centrum Badania Ryzyka Systemowego UW. Spotkanie poświęcone było wielodyscyplinarnym projektom.

II Sympozjum Stowarzyszenia Singularis: DYSOCJACJE-INTEGRACJE

W dniach 10-12 października 2025 r. w Ośrodku Politechniki Warszawskiej w Wildze odbyło się II Sympozjum Stowarzyszenia Singularis DYSOCJACJE-INTEGRACJE. Jest to jeden z cykli spotkań organizowany przez Centrum Studiów Zaawansowanych w formule wyjazdowej i realizowany w ramach Spotkań Otwartych Umysłów. Sympozjum było poświęcone następującym zagadnieniom: Efektywność pracy zespołowej w nauce; Granice stosowalności AI – regulacje prawne i etyczne; Nowe okoliczności

– kierunki badań, oczekiwania i zagrożenia. | → zob. s. 17

STUDIA ID

Swoją kontynuacją miał program elitarnych studiów id dla najzdolniejszych studentów i kandydatów na studia, który jest realizowany na wcześniejszych zasadach. W minionym roku przeprowadzono dwa procesy rekrutacyjne zgodnie z harmonogramem. Pod opieką tutorów młodzi naukowcy kreują swoje indywidualne ścieżki. | → zob. s. 15

INTERDYSCYPLINARNE SEMINARIUM STUDIÓW ID

W ramach aktywizacji studentów realizujących indywidualny tryb studiów id, został uruchomiony cykl „Interdyscyplinarnych Seminariów Studiów ID”.

Do poprowadzenia spotkań zapraszane są wybitne osoby świata nauki o wysokim potencjale popularyzatorskim, aktywne w dziedzinach, które intensywnie się rozwijają i stanowią ciekawą perspektywę dla młodych naukowców.

W minionym roku odbyły się kolejne spotkania z tego cyklu. Wśród zaproszonych gości znaleźli się: dr inż. Łucja Dybowska-Sarapuk z Wydziału Mechanicznego Technologicznego PW, Iryna Levkovich z Wydziału Chemicznego PW, dr inż. Łukasz Błaszczak z Wydziału Matematyki i Nauk Informacyjnych PW, dr hab. inż. Dariusz Gotlib, prof. uczelni z Wydziału Geodezji i Kartografii PW, prof. Dariusz Plewczyński z Wydziału Matematyki i Nauk Informacyjnych PW, prof. Andrzej Cacko z Zakładu Informatyki Medycznej i Telemedycyny WUM, prof. Andrzej Dragan z Wydziału Fizyki UW, prof. Paweł Dłotko z Instytutu Matematycznego PAN.

↓ Fot. 1 Dr hab. Maria Ganzha, prof. uczelni, podczas seminarium „Matematyczne i Informatyczne granice algorytmiczności”



SEMINARIUM „MATEMATYCZNE I INFORMATYCZNE GRANICE ALGORYTMICZNOŚCI”

Jedna z kluczowych serii organizowanych przez Centrum Studiów Zaawansowanych PW we współpracy z Wydziałem Matematyki i Nauk Informatycznych PW. Seminarium te stanowią przestrzeń do prezentacji najnowszych badań dotyczących podstaw inteligencji obliczeniowej, algorytmiczności i matematycznych aspektów informatyki. Łącznie odbyło się osiem spotkań w tym cyklu (na każdym po dwa wykłady), w tym pięć w ostatnim roku. Dyskutowane były tematy:

- *Czy Gödel dowiódł, że nie jesteś algorytmem?* Stanisław Krajewski, Wydział Filozofii, Uniwersytet Warszawski;
- *Czy Einstein przekonał nas, że każde myślnie poznanie musi się zdać na metafizyczny impuls?* Artur Przelaskowski, Wydział Matematyki i Nauk Informatycznych, Politechnika Warszawska;
- *Czego możemy się spodziewać po komputerach kwantowych, a czego nie,* Marek Kuś, Centrum Fizyki Teoretycznej, Polska Akademia Nauk;
- *Kryptografia postkwantowa,* Konstanty Junosza-Szaniawski, Wydział Matematyki i Nauk Informatycznych, Politechnika Warszawska;
- *Technologie argumentacyjne w analizie dyskursu: od badań korpusowych do systemów identyfikujących strategie komunikacyjne,* Marcin Koszowy, Wydział Administracji i Nauk Społecznych Politechniki Warszawskiej;

- *Praktyka prezentacji danych w systemach informatycznych,* Aldona Tomczyńska, Ośrodek Przetwarzania Informacji – Państwowy Instytut Badawczy;
- *Frugal AI – inteligencja przyjazna dla środowiska,* Maria Ganzha, Wydział Matematyki i Nauk Informatycznych, Politechnika Warszawska;
- *Polskie LLMy – czy i kiedy warto rozwijać i używać zlokalizowanych LLMów,* Marek Kozłowski, Wydział Elektroniki i Techniki Informatycznych, Politechnika Warszawska oraz Ośrodek Przetwarzania Informacji – Państwowy Instytut Badawczy;
- *Między informatyką a filozofią. O filozoficznej karierze pojęcia obliczania,* Paweł Stacewicz, Wydział Administracji i Nauk Społecznych Politechniki Warszawskiej;
- *Metody agregacji decyzji w systemach klasyfikacyjnych,* Paweł Karczmarek, Wydział Matematyki i Informatyki Technicznej Politechniki Lubelskiej.

WYDAWNICTWA

Publikacje CSZ, w tym liczne książki naukowe, można nabyć w księgarniach Oficyny Wydawniczej PW w Gmachu Głównym i przy ul. Noakowskiego 18/20 w Warszawie. | → zob. s. 40

INNOWACJE DYDAKTYCZNE

Zakończono realizację grantów dydaktycznych PW przyznanych w październiku 2024 roku. Ważnym wydarzeniem podsumowującym były prezentacje końcowe laureatów konkursu oraz Sympozjum DYSOCJACJE-INTEGRACJE, które odbyło się 10-12

października w Wildzie. Jego uczestnikami byli również przedstawiciele zespołów realizujących granty dydaktyczne na Politechnice Warszawskiej. | → zob. s. 32-37 artykuły opisujące realizację wybranych Grantów Dydaktycznych i ich efekty.

NAJBLIŻSZE PLANY

SYMPOZJA/WARSZTATY

W 2026 roku planowane są kolejne spotkania w formule wyjazdowej. Pierwsze pod nazwą Warsztaty Studiów Indywidualnych ID – Indywidualna droga, odbędzie się w maju 2026 r. w ośrodku wypoczynkowym Politechniki Warszawskiej w Wildzie.

SEMINARIA

Z niecierpliwością czekamy na nowe spotkania w naszych cyklach, o których będziemy informować z odpowiednim wyprzedzeniem.

STUDIA ID

Swoją kontynuację będzie miał również program studiów dla najzdolniejszych na Politechnice Warszawskiej. Planowane są kolejne procesy rekrutacyjne i wiele działań towarzyszących urozmaiceniu oferty dla całej grupy, w tym wyjazdy i spotkania dyskusyjno-integrujące.

Zespół CSZ

↓ Fot. 2 Panelowe Spotkanie Otwartych Umystów pt. *Brain Time and Aesthetics*, (od lewej) dr Paweł Boguszewski, Tomasz Stawiszyński, prof. Stanisław Janeczko, prof. Ernst Pöppel





↑ Il. 1 Jedna z ilustracji *Cité Industrielle* będąca częścią planu urbanistycznego zaprojektowanego przez Tony'ego Garniera (1917)
(Źródło: architectuul.com)

„Planowanie przyszłych miast wymaga zatem zwrócenia większej uwagi nie tylko na zwalczanie skutków nagłych zjawisk naturalnych będących konsekwencją zmian klimatu, ale także na dynamiczną sytuację społeczno-ekonomiczną i bezpieczeństwo w rzeczywistości miejskiej”

przemysłowych i ideę miast ogrodów. Projekt zerwał z zasadą koncentrycznego układu miast, proponując nowe podejście do planowania przestrzennego. *Cité Industrielle* przewyższyło projekt architektoniczny, stało się również wizją idealnego miasta przemysłowego, która wywarła znaczący wpływ na rozwój urbanistyki i myślenie o miastach w XX wieku [1].

Na przestrzeni lat stosowano różne określenia dla opisanego „idealnych” miast, takie jak miasto ogród [2],

miasto kreatywne [3], miasto globalne [4], miasto kompaktowe [5], miasto przyjazne mieszkańcom [6], miasto zeroemisyjne [7], miasto regeneracyjne [8], miasto kompaktowe [9], miasto inteligentne [10], miasto przyjazne osobom starszym [11], miasto ekologiczne [12], miasto odporne [13], miasto zero-odpadowe [14], miasto bezpieczne [15] i tak dalej. Takie nazwy podkreślają różne koncepcje miast, promując charakterystyczne cechy określone przez ich formę urbanistyczną, ukształtowanie polityczne i gospodarcze, aspekty

społeczne i kulturowe oraz aspekty środowiskowe i technologiczne.

XXI wiek przyniósł pogłębioną wiedzę klimatyczną, technologiczną, socjologiczną, ale także związaną z otaczającym nas środowiskiem. Szczególnym momentem przełomowym był rok 2008, kiedy po raz pierwszy w historii większość ludzi na świecie zaczęła mieszkać w miastach.

Zgodnie z analizami urbanistycznymi, praktycznie cały przewidywany wzrost liczby ludności w najbliższym pokoleniu będzie koncentrował się w obszarach zurbanizowanych. Oznacza to, że miasta staną się głównymi miejscami życia nowych mieszkańców naszej planety, co dodatkowo zwiększy presję na zasoby, infrastrukturę i środowisko. Przyszłe miasta będą musiały funkcjonować z minimalnym negatywnym wpływem na środowisko. Aby sprostać temu wyzwaniu, konieczne jest kompleksowe podejście obejmujące kwestie energii, wody, żywności, transportu oraz materiałów niezbędnych do budowy i utrzymania infrastruktury. Analizy dotyczące modelowego miasta roku 2050 pokazują, że jego samowystarczalność będzie wymagała precyzyjnego bilansu zapotrzebowania na zasoby oraz powierzchnię niezbędną do funkcjonowania w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju [16].

Parametry środowiskowe Ziemi są już nadmiernie obciążone emisjami pochodzącymi z węgla, ograniczoną dostępnością wody pitnej, zanieczyszczeniami z sektora rolniczego, przemysłowego i budowlanego, a przyrost ludności

jeszcze pogorszy sytuację. Jednak zurbanizowana przyszłość może stać się nie tylko problemem, może być również okazją do głębszych przemian.

Przed wszystkim należy wziąć pod uwagę uwarunkowania ekonomiczne oraz środowiskowe. Miasta zużywają około 75% światowych zasobów naturalnych, generują 70% wszystkich odpadów i odpowiadają za około 70% globalnej emisji gazów cieplarnianych [17]. Są także często wskazywane jako podstawowe obszary mające znaczny wpływ na globalne zmiany klimatyczne. Już teraz 70% miast odczuwa negatywne skutki zmian klimatycznych, a prawie wszystkie miasta są zagrożone. W ciągu ostatnich kilku dekad rosnące dysproporcje społeczno-gospodarcze wywołały obawy dotyczące polaryzacji jakości życia w miastach [18]. Planowanie przyszłych miast wymaga zatem zwrócenia większej uwagi nie tylko na zwalczanie skutków nagłych zjawisk naturalnych będących konsekwencją zmian klimatu, ale także na dynamiczną sytuację społeczno ekonomiczną i bezpieczeństwo w rzeczywistości miejskiej.

Podejście linearne vs. cyrkularne

Oczywiste jest, że miasta przyszłości muszą dążyć do osiągnięcia zrównoważonego rozwoju w różnych wymiarach: efektywności i samowystarczalności w wykorzystaniu zasobów, sprawiedliwości i dobrobytu społecznego, synerгии między środowiskiem naturalnym a zabudowanym oraz odporności w obliczu przeciwności losu. Niezależnie od tego, jakie etykiety zostaną przypisane lub jak będą nazywane miasta przyszłości, podstawową wspólną wartością lub celem wszystkich miast jest zapewnienie mieszkańcom optymalnych i najbardziej pożądaných parametrów życia. Dane, którymi dysponujemy prowadzą do wniosku, że linearne metody produkcji i konsumpcji nie sprzyjają zrównoważonemu rozwojowi. Jednocześnie, w miarę wzrostu urbanizacji i kontynuacji współczesnych zasad rozwoju, coraz bardziej zwiększa się zapotrzebowanie na surowce. Dlatego należałoby zwrócić się ku gospodarce cyrkularnej – pominięcie jej w procesach tworzenia przestrzeni zurbanizowanych, będzie oznaczało wyższy udział w produkcji odpadów, gdyż linearny proces *produce, use, dispose* jest z założenia procesem w wysokim stopniu marnotrawiącym zasoby. Zarówno jakość, jak i racjonalność wykorzystania surowców w miastach coraz częściej stają się krytycznymi działaniami wpływającymi na jakość cywilizacji. Zatem

jako słuszną zasadę można przyjąć treść cytatu: „W naturze nie ma odpadów, ponieważ każdy organizm jest elementem składowym całości. Owoc spada z drzewa na ziemię i staje się pożywieniem dla istot żyjących. Bakterie i grzyby odżywiają się organicznymi odpadami roślin i zwierząt, które jedzą owoce, tworząc w glebie składniki odżywcze niezbędne dla wzrostu drzewa. Odpad jednego organizmu staje się pożywieniem dla innego. Pożywienie jest procesem regeneratywnym, działającym w cyklu narodzin, rozpadu i kolejnych narodzin. Odpad oznacza pożywienie” [19].

Nie powinniśmy zapominać, że pomysł na ekonomię cyrkularną powstał jeszcze w latach 70. XX wieku, i już wtedy jego główną intencją było promowanie świata bez odpadów. Dopiero ponad 40 lat później powyższa wizja stała się priorytetem dla najbardziej zaawansowanych ekonomicznie krajów. Niedawna analiza istniejących definicji ekonomii cyrkularnej, wykonana przez Kirchherra, Reike oraz Hekkerta [20], umożliwiła zapis bardziej holistycznego zrozumienia tego zagadnienia. Cyrkularna ekonomia opisuje system funkcjonujący na bazie modeli biznesowych, zakładających zmianę koncepcji „końca życia produktu” poprzez ograniczenie, alternatywne oraz ponowne wykorzystanie, recykling i odzyskiwanie materiałów podczas procesów produkcji, dystrybucji oraz konsumpcji, a tym samym wdrożenie działań zarządczych i rozwojowych na poziomie mikro- (produkty, firmy, konsumenci), mezo- (eko parki przemysłowe) oraz makro- (miasto, region, państwo oraz obszary transgraniczne). Celem jest osiągnięcie zrównoważonego rozwoju, oznaczającego środowiskową jakość, ekonomiczną dochodowość oraz społeczne równouprawnienie – które mają przyczynić się do dalszego rozwoju obecnego i przyszłego społeczeństwa.

Koncepcja ekonomii cyrkularnej charakteryzuje się nieustannym cyklem zachowywania wartości, optymalizacji wykorzystywanych zasobów oraz „wbudowanymi”, zrównoważonymi, alternatywnymi rozwiązaniami pozwalającymi na eliminację odpadów. Przede wszystkim należy zaznaczyć, że gospodarka cyrkularna nie jest celem, jest natomiast etapem prowadzącym do osiągnięcia zadań rozwoju zrównoważonego. Ponadto o ekonomii cyrkularnej należy mówić w znacznie szerszym ujęciu niż tylko zarządzanie odpadami. Zawierają się w niej elementy efektywności projektowania i realizacji obiektów oraz recyklingu surowców

materiałowych. Wszelkie zastosowane komponenty oraz materiały mają stanowić wartość dodaną. U podstaw takich założeń znajdują się dane wskazujące, że przemysł budowlany jest obecnie jednym z sektorów generujących największą ilość odpadów. Rocznie to około 1,3 miliarda ton odpadów budowlanych, powstałych w efekcie realizacji nowych obiektów oraz demontażu istniejących struktur. Tak wysoki wskaźnik oznacza także ogromną ilość surowców, z czego ponad 50% stanowią surowce wydobywane za pomocą technologii kopalnianych.

Ewolucji podejścia do ekonomii cyrkularnej towarzyszyło kilka teoretycznych koncepcji, które powstały w różnym czasie i nie są bezpośrednio związane z jednym opracowaniem lub autorem. Pierwotny pomysł uległ znacznym przemianom w ciągu ostatnich 50 lat. Głównymi filarami są rozwój zrównoważony oraz ekonomia efektywności (*Performance Economy*), uwzględniająca wydłużenie życia produktu, jego trwałości oraz inteligentne zarządzanie odpadami jako komponentami wsadowymi, jak również wprowadzanie innowacyjnych rozwiązań i nowych modeli biznesowych. Jednym z podstawowych narzędzi jest stosowanie LCA (*Life Cycle Assessment*) oraz LCM (*Life Cycle Management*). Tym niemniej, w przypadku szacowania wartości produktu uwzględniane są założenia absolutnego szacowania zrównoważonego – ASA (*Absolute Sustainability Assessment*), a nie tylko wskazanie najbardziej negatywnych obszarów procesowych. Z punktu widzenia przemysłu budowlanego warto również wspomnieć o założeniach *Cradle to Cradle thinking*, oryginalnie stworzonych przez Williama McDonougha oraz Michaela Braungarta. Dominuje w nich paradygmat uzyskania całkowitego recyklingu produktu poprzez projekt oraz jego przeprojektowywanie. Ponadto, w procesie należy stosować bezpieczne, niskoemisyjne materiały i komponenty. Bardzo interesująco zarysowana jest także idea odłączenia mechanizmów ekonomicznych od potrzeb konsumentów oraz zasad przedłużonej odpowiedzialności wytwórcy (*Extended Producer Responsibility – EPR*) mająca za zadanie przełożenie środowiskowej odpowiedzialności produktu na producenta. Wydłużona odpowiedzialność za produkt jest ściśle biznesowym konceptem, związanym z konkretną firmą. Jest to przykład pierwszej próby stworzenia systematycznego, zamkniętego łańcucha systemowego w prywatnym przedsiębiorstwie. Główne

założenia to „projektowanie z komponentów odpadowych”.

Z uwagi na komponenty materiałowe oraz procesy produkcyjne, w sektorze budowlanym koncepcja ekonomii cyrkularnej może być postrzegana jako:

- *Upstream circularity* (przed zastosowaniem) – dotyczy głównie zarządzania zasobami nieodnawialnymi, zwiększa efektywność procesu produkcji oraz konsumpcji, minimalizuje poziom odpadów oraz utrzymuje koszty wytworzenia na najniższym możliwym poziomie;
- *Downstream circularity* (po zastosowaniu) – dotyczy podtrzymania wartości pozostałej w materiałach odpadowych oraz maksymalizuje ponowne wykorzystanie wartości w ramach kolejnego systemu produkcyjnego.

Bardziej złożona sytuacja jest identyfikowalna w przypadku rozpatrywania obszarów zurbanizowanych. Zgodnie z definicją Ellen MacArthur Foundation, miasto cyrkularne funkcjonuje zgodnie z założeniami ekonomii cyrkularnej, tworząc regeneratywny i odtworzeniowy system urbanistyczny. W takich miastach eliminowana jest idea odpadów, obiekty są utrzymywane na najwyższym poziomie efektywności. Zastosowanie cyfrowych technologii stanowi narzędzie wspomagające proces działania. Celem miasta cyrkularnego jest generowanie ekonomicznej rezyliencji przy równoczesnym oddzieleniu wartości konsumpcyjnej od surowców. Jednym z wiodących w tym miast jest Amsterdam, który obecnie jest na etapie wdrażania licznych rozwiązań prowadzących do funkcjonowania zgodnie z zasadami cyrkularnej ekonomii. Powstałe prototypowe efekty mogą stanowić swoistą mapę drogową dla innych miast.

Rosnąca świadomość, że linearny model ekonomiczny powoduje nadmierną eksploatację surowców oraz podnosi emisję zanieczyszczeń, wywołała wzrost zainteresowania prośrodowiskowymi produktami. Także cele zrównoważonego rozwoju wyznaczone na 2030 rok zachęcają przedstawicieli państw do wdrażania zasad cyrkularności oraz wprowadzenia do miast innowacyjnych metod zarządczych wynikających ze społecznych, ekonomicznych, technologicznych i regulacyjnych założeń.

Do głównych czynników antropopresji, w związku z którymi niezbędne jest jak najszybsze podjęcie działań, należy zaliczyć:

„Jeżeli sektor budowlany nadal będzie korzystał tylko z tradycyjnych metod, bardzo szybko zdegraduje otaczające środowisko, naturalne surowce oraz obniży obecne standardy życia”

- urbanizację – w miarę coraz szerszej urbanizacji infrastruktura oraz usługi powodują większy nacisk na środowisko, gdyż ograniczone zasoby muszą być dostępne dla liczniejszej populacji;
- dostawy i ryzyko cenowe – obszary zurbanizowane są obszarami wrażliwymi na braki w dostawach surowców oraz na fluktuacje cen; praktyki cyrkularne mogą ograniczyć te ryzyka poprzez tworzenie handlu komponentami odpadowymi w jednym obszarze produkcji, jako materiałów wsadowych w innym obszarze;
- degradację ekosystemów – większość odpadów w procesie realizacji obiektów kubaturowych i liniowych (płynnych, organicznych oraz szkodliwych, w tym odpadów budowlanych oraz z procesów rozbiórki) trafia na wysypiska, dodatkowo obciążając ekosystemy zdegradowane przez zmiany klimatyczne, utratę bioróżnorodności, degradację ziemi

oraz zanieczyszczenia mające wpływ także na potencjał rolniczy;

- zmianę zachowania konsumentów – hiper konsumpcja powoduje wyrzucanie produktów, zanim zostanie wykorzystana ich całkowita wartość; tym samym pojawiają się w niektórych krajach próby wpływania na zmianę systemów zarządzania. Dąży się do usunięcia procesów odpadowych, co jest możliwe do zrealizowania w ramach nowych modeli biznesowych (np. produkt jako usługa).

W niektórych miastach coraz częściej założenia ekonomii cyrkularnej są stosowane przy kształtowaniu zarządzania infrastrukturą oraz usługami, począwszy od transportu poprzez energię i system zdrowia. Jednym z przykładów jest tworzenie systemowych przepływów wtórnych materiałów budowlanych na nowe place budowy. Biorąc pod uwagę rosnącą populację miejską, niezbędne jest zrealizowanie nowej infrastruktury miejskiej, a dotyczy to 75% infrastruktury, która będzie potrzebna do 2050 roku, przy czym należy także uwzględnić koszt modernizacji tej już istniejącej. Materiały budowlane są odpowiedzialne za 40–50% węglowego śladu budynków (produkcja cementu oraz stali dotyczy ok. 80% energii wykorzystanej do realizacji obiektów budowlanych). Pozostały udział to transport materiałów, usuwanie odpadów oraz wykorzystanie energii do celów realizacji budowy. Jeżeli sektor budowlany nadal będzie korzystał tylko z tradycyjnych metod, bardzo szybko zdegraduje otaczające środowisko, naturalne surowce oraz obniży obecne standardy życia. Tym samym władze miast powinny tworzyć programy zachęcające decydentów związanych z szeroko pojętym procesem projektowania, realizacji i użytkowania tkanki budowlanej do stworzenia bardziej holistycznych zasad projektowania, realizacji, utrzymania, konserwacji budynków oraz wykorzystania poszczególnych komponentów budowlanych po zakończeniu czasu życia. Budynki powinny być projektowane w sposób pozwalający na ponowne wykorzystanie lub zmianę przeznaczenia materiałów budowlanych w maksymalnym zakresie ich „życia”. Cenne będzie stosowanie „paszportów materiałowych” podczas realizacji obiektów – podających charakterystykę ilościową i jakościową wszelkich materiałów, pomocnych następnie w procesie odzyskiwania, recyklingu lub ponownego wykorzystania podczas ostatecznej rozbiórki. Wirtualne rynki materiałów →

budowlanych oraz bazy danych mogą połączyć producentów, banki zasobów wtórnych, a także utworzyć nowe miejsca pracy związane z katalogowaniem materiałów, mechanizmami transportowymi oraz finansowymi. Nowe technologie produkcyjne – drukowanie 3D oraz prefabrykacja – mogą wspomóc tworzenie projektów bazujących na elementach modularnych, a tym samym realizację wielofunkcyjnych, zoptymalizowanych budynków. Takie działania zwiększą szanse, że na późniejszych etapach budynek będzie raczej podlegał przekształceniom, a nie procesom rozbiórki, a ostatecznie stanie się bankiem wartościowych materiałów budowlanych [21].

Od greckiego Polis do miasta przyszłości

Z historycznego punktu widzenia miasta tworzone przez różnorodne cywilizacje zawsze stanowiły centra handlu, kultury i innowacji. Na przykład starożytni Grecy nie mieli jednolitej wizji „miasta przyszłości”. Ich miasta były kształtowane przez specyficzne warunki geograficzne, polityczne i społeczne. Jednak znane powszechnie rozważania filozoficzne i mitologiczne dostarczają

pewnych wskazówek dotyczących ich wyobrażeń o idealnym państwie-mieście. Polis jako centrum życia było nie tylko miejscem zamieszkania, ale przede wszystkim areną życia politycznego, społecznego i kulturalnego. Idealne miasto miało zapewniać obywatelom możliwość aktywnego uczestnictwa w życiu publicznym. Filozofowie, jak Platon, w swoich pismach o idealnym państwie kładli nacisk przede wszystkim na harmonię, sprawiedliwość i porządek. Idealne miasto miało być odzwierciedleniem kosmicznego porządku, w którym każdy element pełnił swoją funkcję.

Choć współczesna Grecja bardziej kieruje się oczekiwaniami mieszkańców niż filozoficznymi wywodami, to właśnie tam powstaje utopijna wizja miasta przyszłości. **Ellinikon** – projekt popularnie nazywany „miastem kwadransem” – jest już na etapie budowy. Jego głównym założeniem jest odległość z każdego miejsca do najważniejszych punktów w mieście, zajmująca zaledwie 15 minut drogi spacerem. **Ellinikon** ma stać się jednym z najważniejszych miast XXI wieku – największym samowystarczalnym i inteligentnym miastem w Europie.

Kosztująca 8 mld euro metropolia ma być miejscem, gdzie znikną zapelnione samochodami ulice charakterystyczne dla greckich miast. Miasto znajduje się bezpośrednio nad morzem, co dodatkowo zwiększa jego atrakcyjność. Cała infrastruktura budowana jest z surowców uznanych za ekologiczne. Wykorzystywane będą źródła zielonej energii oraz woda opadowa. Projekt powstaje na terenie dawnego ateńskiego lotniska i stadionu. Ma to być przestrzeń do życia, pracy i wypoczynku. Obok hoteli, biur, lokali usługowych i centrów kulturalno rozrywkowych powstanie także park krajobrazowy – wszystko to będzie znajdować się w odległości umożliwiającej mieszkańcom i turystom dotarcie w krótkim czasie, maksymalnie 15 minut. Miłośnikom kultury zapewniono atrakcje poprzez włączenie najistotniejszych historycznych zabytków, które będzie można spotkać na licznych szlakach. Zrealizowana zostanie, mająca 50 kilometrów, ścieżka pieszo rowerowa. Pozostałymi akceptowalnymi środkami transportu będą tylko samochody elektryczne. Choć piętnastominutowe miasta kojarzą się głównie z Barceloną, Amsterdamem czy Kopenhagą, nie dorównują



↑ Il. 2. Ateny, Ellinikon (Źródło: Sasaki / Hellinikon S.M.S.A.)

→ Il. 3 Model założeń Ellinikonu jako „miasta-kwadransa” (Źródło: pollalis.com)

one realizowanej właśnie metropolii. W prace nad ekologicznym miastem zaangażowały się największe studia architektoniczne, w tym 314 Architecture Studio, Bjarke Ingels Group (BIG), Foster + Partners, biura Normana Foster’a i Japończyka Kengo Kuma.

W pierwszym etapie inwestycji budowane jest osiedle zwane „Małymi Atenami” obejmujące 115 mieszkań i 115 lokali usługowych. Według portalu thetotalbusiness.com, ich budowa ma zostać zakończona w 2026 roku. Podobnie jak całe miasto, „Małe Ateny” będą obfitować w zielenią, zgodnie z zasadami projektowania biofilicznego. **Ellinikon** będzie w pełni inteligentnym miastem wykorzystującym nowe technologie. Wszystkie budynki zostaną wyposażone w system czujników, które będą zarządzały infrastrukturą, sieciami miejskimi i pomogą w gromadzeniu danych m.in. do kontroli parametrów sieci miejskiej. Dzięki nim będzie można natychmiast wykryć pożar, przeanalizować jakość powietrza czy intensywność ruchu na drogach. Dane będą dostępne dla mieszkańców poprzez aplikacje. Ambicją projektantów i pomysłodawców jest stworzenie modelowego cyrkularnego miasta. Roczne zapotrzebowanie na prąd zostanie pokryte z zielonej energii, odpady będą poddawane recyklingowi. Stosowane będą wszelkie zasady gospodarki obiegu zamkniętego – zarówno podczas budowy, jak i projektu – poprzez recykling i upcykling. Architekci zapowiedzieli, że przy budowie domów zostanie wykorzystany, coraz popularniejszy na świecie, nurt biofilii – projektowania przy wykorzystaniu zasobów roślinności.

Innym, równie ważnym przykładem są Malediwy – jeden z rajskich zakątków naszej planety, gdzie właśnie realizowane jest największe na świecie pływające miasto – **Maldives Floating City**. Zajmuje 200 hektarów i będzie w stanie pomieścić 20 tys. osób – 5 proc. mieszkańców kraju. Miasto ma nie tylko przyciągnąć turystów, ale też stworzyć rozwiązania odporne na zmiany klimatu, gdyż pod koniec wieku cały, złożony z 1200 wysp, archipelag może się znaleźć pod wodą. Złożone z 5 tys. jednostek pływających miasto z góry przypomina rafę popularnego w Oceanie Indyjskim bardzo twardego koralowca mózgowatego (*Mussidae, Merulinida*). Oddzielone wodą moduły to sześcioramienne domy, restauracje, sklepy, szkoły, a nawet szpital. Całość



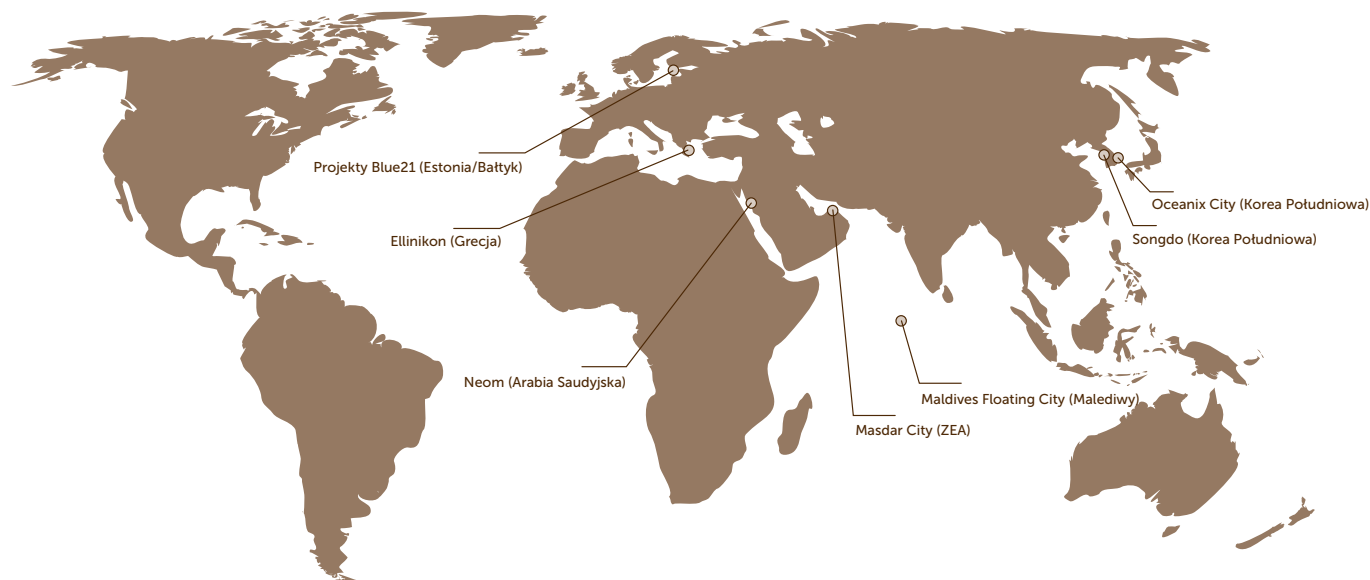
„Najbardziej kontrowersyjną, współczesną, zurbanizowaną przestrzenią, zwaną często ultrazamkniętym miastem, jest Masdar...”

dzieli od Malé, stolicy archipelagu i międzynarodowego lotniska, niespełna 10-minutowa wycieczka łodzią. Pierwsi mieszkańcy już się wprowadzili, a cały projekt ma zostać zakończony w 2027 r. W nowo powstającym mieście typ zabudowy inspirowany jest wielowiekową tradycją żeglarstwa. Domy charakteryzują się bogatą kolorystyką, mają balkony i 40-metrowe tarasy. Podstawową komunikacją będą łodzie, ale na pływających wyspach wyznaczono też piaszczyste drogi. Można jeździć na rowerach albo hulajnogach. Używanie samochodów jest zakazane. Ważna jest część projektu dotycząca tego, co jest ukryte pod wodą. Każdy z modułów miasta jest przymocowany do dużego, podwodnego kadłuba lub przytrzymywany na stalowych palach wbitych w dno oceanu. Projektanci

pomyśleli też o specjalnych, podwodnych konstrukcjach, które pełnią funkcję falochronów i przyczyniają się do stymulacji wzrostu koralowców. Na zlecenie rządu Malediwów wart milion dolarów projekt został zrealizowany przez holenderski Dutch Docklands we współpracy z firmą architektoniczną Waterstudio. Konstrukcja ma sprostać zmianom klimatycznym, w tym podnoszącemu się poziomowi wód oceanicznych, z jakimi zmagają się północno-zachodnie rejony Oceanu Indyjskiego. Niemal 80% powierzchni Malediwów położone jest zaledwie metr nad poziomem wody. Archipelag może przestać istnieć pod koniec wieku. Zdaniem ekologów żadne państwo nie stoi w obliczu tak wielkiego zagrożenia spowodowanego zmianami klimatu. Zgodnie z wymogami tamtejszego rządu projekt stawia na samowystarczalność miasta.

Maldives Floating City będzie pierwszym ośrodkiem na świecie, „który został opracowany w taki sposób, aby w równym stopniu uwzględniał zrównoważony rozwój i komfort życia”. Domy zasili głównie energia słoneczna. Ze ścieków – po oczyszczeniu – będzie produkowany kompost, a do klimatyzowania wnętrza będzie używana woda pompowana z oceanu z głębokości 700 metrów [22].

Maldives Floating City nie jest pierwszym na świecie projektem pływającego miasta. Innym jest **Oceanix City** w Busan – drugim co do wielkości mieście w Korei Południowej. Na powierzchni 12 hektarów mają powstać pływające wyspy, które pomieszczą 1650 osób, a zwielokrotnienie tego modelu – nawet 10 tys. osób. Innym projektem są pływające wyspy na Bałtyku, z których pierwsza ma zostać zbudowana około sześciu mil od Estonii. Ich projektantem jest holenderskie studio Blue21. Wkrótce, z powodu zmian klimatu



↑ Il. 4 Planowane, trwające lub zrealizowane projekty miast przyszłości na świecie

„Miasta przyszłości są już budowane i funkcjonują na naszych oczach. Nie są utopią, lecz jednym z najbardziej prawdopodobnych kierunków rozwoju ...”

i wzrostu poziomu mórz i oceanów, mieszkanie na wodzie może stać się nie tylko kaprysem, ale też koniecznością. Coraz więcej terenów znika pod wodą. Szacuje się, że w 2050 r. problem ten może dotyczyć nawet 90% nadmorskich miast [22].

Najbardziej kontrowersyjną współczesną, zurbanizowaną przestrzenią, zwaną często „ultrazamkniętym miastem”, jest **Masdar**, zlokalizowany w Zjednoczonych Emiratach Arabskich.

Administracja miasta promuje ten zurbanizowany obszar jako w pełni zrównoważony. Początki projektu **Masdar City** sięgają 2006 roku. Władze Zjednoczonych Emiratów Arabskich (ZEA) postanowiły sprawdzić możliwość realizacji miasta w pełni zeroemisyjnego. Wybrano lokalizację – 17 km od stolicy Abu Zabi, na pustyni w pobliżu lotniska. To położenie z góry określiło m.in. wysokość tamtejszych budynków – nie są one wyższe niż 5-6 pięter. Na początku planowano, że budowa miasta skończy się do 2016 roku i do tego czasu zamieszka tam 50 tys. osób. Do dziś osiedliło się w nim 15 tys. osób – w tym sporo pracowników linii lotniczych i samego lotniska w Abu Zabi, a zakończenie projektu najpierw przesunięto na 2030, a ostatnio na 2040 rok. Choć nadal nieukończone, czerpie ze słońca 100% energii, odzyskuje wodę z powietrza, ogranicza użycie wind i systemów klimatyzacji. Po mieście można poruszać się bezobsługowymi elektrycznymi pojazdami. Miasto w całości jest wzniesione na sztucznej platformie, wyniesionej 7,5 metra nad poziomem okolicznego terenu. Chodzi tutaj o wiatr, którego przewiew powoduje, że temperatura na podwyższonym terenie zurbanizowanym jest zawsze od 5 do 10°C niższa niż w Abu Zabi. Nawiązująca do dawnych instalacji wieża wiatrowa (*malquaf*), wzorowana na budowlach wznoszonych przez mieszkańców obszarów pustynnych, wylapuje wiatr – na jej szczycie umieszczona jest stacja meteorologiczna, kontrolująca kierunki wiatru. W zależności od przeważającego kierunku otwierają się panele; wiatr przedostaje się do wnętrza wieży, a następnie przepływa na poziomie chodników, żeby chłodzić

teren zabudowany. 10 megawatowa elektrownia fotowoltaiczna **Masdar City** była pierwszym projektem energii odnawialnej podłączonym do sieci w Zjednoczonych Emiratach Arabskich i największym tego typu obiektem na Bliskim Wschodzie w momencie uruchomienia w 2009 roku. Na większości budynków **Masdar** znajdują się również instalacje fotowoltaiczne. Ciekawym i prostym rozwiązaniem służącym oszczędzaniu energii jest ekspozycja klatek schodowych w budynkach przy jednoczesnym odsunięciu ekspozycji trzonów wind. Warto przy tym przypomnieć, że budynki są maksymalnie 6 piętrowe oraz że osoby, które muszą skorzystać z windy, bez problemu je zlokalizują. Oszczędność energii uzyskuje się też przez zbilansowanie oświetlenia dziennego i sztucznego. I tak np. systemy świetlików w chodnikach zapewniają dostęp dziennego światła do pomieszczeń pod ziemią, podobnie jak przeszklone ściany budynków. Żeby uchronić wnętrza przed nadmiernym nagrzewaniem, dachy kształtowane są tak, by ograniczyć dostęp promieni słonecznych na poziomie ulic oraz we wnętrzach budynków. Woda jest pozyskiwana w pewnym stopniu z powietrza. Służy do tego wieża wodna – para wodna, która osiada wewnątrz wieży, skrapla się i spływa, by zasilać podlewanie roślinności. Są także instalacje stosowane do odzyskiwania wody szarej. Komunikacja miejska w dużej mierze opiera się na systemie PRT (*Personal Rapid Transport*). To zasilane energią pochodzącą ze słońca kiluosobowe pojazdy, które poruszają się po specjalnych torach magnetycznych. Trasa jest zaprogramowana, co oznacza,

że pojazdy zatrzymują się w najważniejszych punktach, by zapewnić np. dojeżdżającym pracownikom dostanie się z parkingu do biura.

Ważnym punktem w **Masdar** jest Uniwersytet Sztucznej Inteligencji (*Mohamed bin Zayed University of Artificial Intelligence*). To uczelnia, która przyjmuje wyłącznie na studia magisterskie i doktoranckie, a dostać się tam nie jest łatwo. Z kilku tysięcy aplikujących wybieranych jest 200 stypendystów z całego świata. Mieszkają w akademikach, których architektura i użyte materiały (mieszanka gliny i włókna szklanego) nawiązują do islamskiej architektury. W **Masdar** trwają też rozmaite projekty badawcze na rzecz zrównoważonego rozwoju. Jednym z nich jest *Seawater Energy and Agriculture System* – pierwszy na świecie ośrodek badawczy zajmujący się produkcją zarówno żywności (roślin i ryb), jak i biopaliw na terenach pustynnych nawadnianych odsalaną wodą morską. Powstałe tam biopaliwo było m.in. wykorzystywane jako komponent zrównoważonego paliwa samolotowego (*Sustainable Aviation Fuel*) w liniach Etihad Airways podczas lotu Boeinga 787 z Abu Zabi do Amsterdamu.

Opisane projekty bynajmniej nie wyczerpują listy przykładów. W wielu innych częściach świata powstają już miasta przyszłości. Dwa inne przykłady najbardziej innowacyjnych projektów, które wyznaczają kierunki rozwoju miejskich metropolii, to **Neom** i **Songdo**. **Neom**, budowane na północnym zachodzie Arabii Saudyjskiej, to jeden z najbardziej ambitnych projektów miejskich w historii. Miasto ma być zasilane w 100% energią odnawialną, a jego konstrukcja skupia się na maksymalnej efektywności i zrównoważonym rozwoju. Sercem miasta ma być długi na 170 km pas, w którym nie będzie samochodów ani dróg kołowych. Mieszkańcy będą mogli przemieszczać się pieszo, a transport odbywać się będzie podziemnymi tunelami. Projekt zakłada pełną integrację z parametrami środowiskowymi oraz nowoczesne technologie, jak sztuczna inteligencja i autonomiczne systemy. Zakończenie pierwszej fazy budowy planowane jest na 2030 rok. **Songdo** uważane jest za jedno z pierwszych na świecie inteligentnych miast. Zbudowane od podstaw na sztucznie usypanym płaskowyżu nad Morzem Żółtym, integruje technologię z każdym aspektem codziennego życia. Całe miasto zostało zaprojektowane z myślą o minimalizowaniu emisji dwutlenku węgla. Dzięki sieci czujników oraz kamer systemy

zarządzania ruchem, energią i odpadami są optymalizowane w czasie rzeczywistym. Budynki posiadają inteligentne systemy energetyczne, a transport publiczny jest zasilany energią elektryczną. Ciekawostką jest to, że systemy **Songdo** obejmują także zautomatyzowane zarządzanie odpadami – wszystkie śmieci są transportowane podziemnymi kanałami bez udziału ciężarówek.

Miasta przyszłości są już budowane i funkcjonują na naszych oczach. Nie są utopią, lecz jednym z najbardziej prawdopodobnych kierunków rozwoju współczesnych metropolii. Łączą w sobie technologie, ekologię, odporność, gospodarkę cyrkularną i humanistyczne elementy projektowania, stając się odpowiedzią na największe wyzwania XXI wieku.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://www.citedelarchitecture.fr/fr/CiteDeLArchiChezVous/la-cite-industrielle-de-tony-garnier>
- [2] Howard E.: *Garden Cities of To-Morrow*; MIT Press, 1965
- [3] Yencken D.: *The Creative City*, Meanjin, 1988
- [4] Sassen S.: *The Global City*: New York, London, Tokyo; Princeton University Press, 2001
- [5] Breheny M.: Urban compaction: feasible and acceptable? *Cities*, Volume 14, Issue 4, 1997
- [6] Lees L., Demeritt D.: *Concise Encyclopedia of Human Geography*; Elgar Encyclopedias in the Social Sciences series, 2023
- [7] Hayter S., Torcellini P., Deru M.: *Photovoltaics for Buildings: New Applications and Lessons Learned*; Preprint, 2002
- [8] Girardet, H.: *Cities, People, Planet. Rozdział 6 Globalization, Globalism, Environments, and Environmentalism: Consciousness of Connections* Vertovec S. (red), 2004
- [9] Neuman, M.: *The Compact City Fallacy*. *Journal of Planning Education and Research*, 25(1), 11-26. <https://doi.org/10.1177/0739456X04270466>, 2005
- [10] Giffinger, Rudolf & Fertner, Christian & Kramar, Hans & Kalasek, Robert & Milanović, Nataša & Meijers, Evert. *Smart cities - Ranking of European medium-sized cities*, 2007
- [11] WHO: *Global age-friendly cities: a guide*, 2007, <https://www.who.int/publications/i/item/9789241547307>
- [12] Shih-Shen, C.: *Chinese eco-cities: A perspective of land-speculation-oriented local entrepreneurialism*. *China Information*, 27(2), 173-196. <https://doi.org/10.1177/0920203X13485702>, 2013
- [13] Newman, Peter & Beatley, Tim & Boyer, Heather: *Resilient Cities: Responding to Peak Oil and Climate Change*. *Bibliovault OAI Repository, The University of Chicago Press*. 17. 10.1080/13574809.2012.666179, 2009
- [14] Zaman, A. and Lehmann, S.: *Urban Growth and Waste Management Optimization towards 'Zero Waste City'*. *City, Culture and Society*, 2, 177-187. <https://doi.org/10.1016/j.ccs.2011.11.007>, 2011
- [15] Leo van den Berg: *The Safe City: Safety and Urban Development in European Cities*. Ashgate Publishing, Ltd., 2006

- [16] Kiss, G., Jansen, H., Castaldo, V., Orsi, L. *The 2050 City*. *Procedia Engineering*. 118. 326-355. 10.1016/j.proeng.2015.08.434, 2015
- [17] United Nations Convention to Combat Desertification <https://www.unccd.int/convention/overview>, 2013
- [18] Fainstein, S. S. *Inequality in Global City-Regions*. *disP - The Planning Review*, 37(144), 20-25. <https://doi.org/10.1080/02513625.2001.10556764>, 2001
- [19] McDonough, W., Braungard M. *„Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, 2002
- [20] Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M.: *Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions* (September 15, 2017). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3037579> lub <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3037579>
- [21] Shahed Khan, Atiq Uz Zaman, *Future cities: Conceptualizing the future based on a critical examination of existing notions of cities*, *Cities*, Volume 72, Part B, 2018, Pages 217-225, ISSN 0264-2751, <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.08.022>
- [22] https://biznes.interia.pl/gospodarka/news-buduja-miasto-na-wodzie-ma-byc-najwieksze-na-swiecie.nld.7486961#parametr=1_nutm_source=pasteutm_medium=pasteutm_campaign=firefox

Prof. dr hab. Arch. Elżbieta Dagny Ryńska – pracuje w Zakładzie Projektowania Prośrodowiskowego na Wydziale Architektury PW. Specjalizuje się w architekturze i budownictwie zrównoważonym oraz projektowaniu cyrkularnym; BREEAM AP (od 2012), WELL AP (od 2018). W swojej działalności implementuje zasady zrównoważonego rozwoju w projektowaniu architektonicznym i planowaniu urbanistycznym. Zajmuje się także ekonomiką inwestycji budowlanych, organizacją i zarządzaniem budowlanego procesu inwestycyjnego ukierunkowanego na cele zrównoważonego rozwoju Autorka publikacji, uczestniczka grantów międzynarodowych, współorganizatorka konferencji i warsztatów klimatycznych. Od 1994 roku współpracuje z firmami deweloperskimi oraz konsultacyjnymi aktywnie wdrażając idee rozwoju zrównoważonego. Jest członkiem zespołu ds. środowiska i ochrony klimatu SARP oraz członkiem Komisji ds. Klimatu UN Global Compact Poland }

KONTROLA JAKOŚCI WSPIERANA SZTUCZNĄ INTELIGENCJĄ W PRODUKCJI

Kiedy maszyny uczą się jakości: jak AI zmienia europejskie MŚP

„małe i średnie przedsiębiorstwa (MŚP) stanowią około 90% firm w Europie i odgrywają kluczową rolę w tworzeniu miejsc pracy oraz zapewnianiu elastyczności gospodarki...”

Sztuczna inteligencja (ang. *Artificial Intelligence - AI*) przez długi czas była w przemyśle postrzegana jako technologia dla dużych firm: kosztowna, trudna w integracji, wymagająca działu IT i rozbudowanych zbiorów danych. Tymczasem to właśnie małe i średnie przedsiębiorstwa (MŚP) stanowią około 90% firm w Europie i odgrywają kluczową rolę w tworzeniu miejsc pracy oraz zapewnianiu elastyczności gospodarki. Jeśli więc mówimy o prawdziwej transformacji cyfrowej, musi ona objąć właśnie ten sektor - inaczej pozostanie jedynie elitarną „(r)ewolucją” technologiczną.

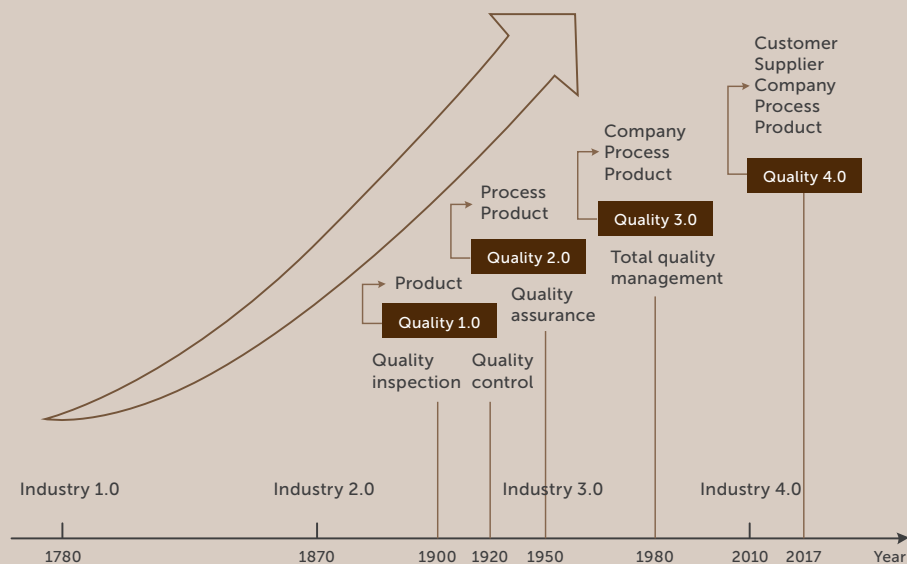
Jednym z filarów łączących cyfryzację i sztuczną inteligencję w przemyśle jest koncepcja Jakości 4.0 (ang. *Quality 4.0*), czyli przeniesienie klasycznych zasad zarządzania jakością - ciągłego doskonalenia, zapobiegania błędom i podejmowania decyzji na podstawie danych - do środowiska cyfrowego (Rys. 1). W tradycyjnym podejściu kontrola jakości była ostatnim etapem procesu: najpierw produkowano, a potem sprawdzano. W modelu opartym na danych jest odwrotnie - to proces sam uczy się zapobiegać błędom. Dane z maszyn, czujników i systemów MES (*Manufacturing Execution System*) wskazują optymalne ustawienia, a analiza predykcyjna pozwala przewidzieć, kiedy i dlaczego pojawi się wada. Zamiast poprawiać produkt, korygujemy proces (Rys. 2). To nie tylko zmiana technologiczna, ale także kulturowa: przejście od reakcji do prewencji, od intuicji do faktów.

Coraz częściej do tego procesu włącza się również cyfrowe bliźniaki (ang. *Digital Twins*) i technologie Internetu

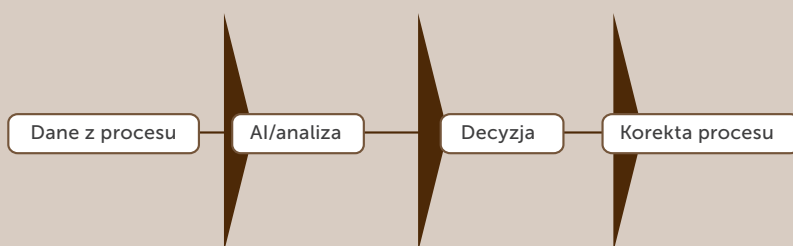
Rzeczy (ang. *Internet of Things - IoT*). Dane z hali produkcyjnej łączą się w czasie rzeczywistym z wirtualnym modelem procesu, co umożliwia nie tylko kontrolę jakości, ale też jej symulację i optymalizację. Takie podejście staje się podstawą tzw. *Quality Intelligence* - inteligentnego zarządzania jakością w ramach Przemysłu 5.0, gdzie

człowiek i technologia współdziałają, a nie konkurują.

Dlaczego jednak jest to wciąż tak trudne dla MŚP? Po pierwsze, mniejsze firmy są silnie zależne od swojego ekosystemu - dostawców, klientów, często jednego głównego odbiorcy. Gdy ten wprowadza kontrolę 100% dostaw lub zaostża wymagania certyfikacyjne, mała firma musi się dostosować, nawet jeśli nie ma działu IT ani budżetu na konsultantów. Po drugie, według danych OECD (2024) tylko 10-11% MŚP stosuje zaawansowaną analitykę danych, podczas gdy w dużych firmach odsetek ten wynosi ponad 30%. Po trzecie, brakuje kompetencji cyfrowych - nie w sensie programowania, lecz umiejętności przełożenia procesu produkcyjnego na dane: które parametry są istotne, co oznacza odchylenie, jak je interpretować. I wreszcie - dochodzi lęk przed niepewnością: wdrożenie AI to inwestycja z ryzykiem, a MŚP rzadko mogą sobie pozwolić na eksperymenty.

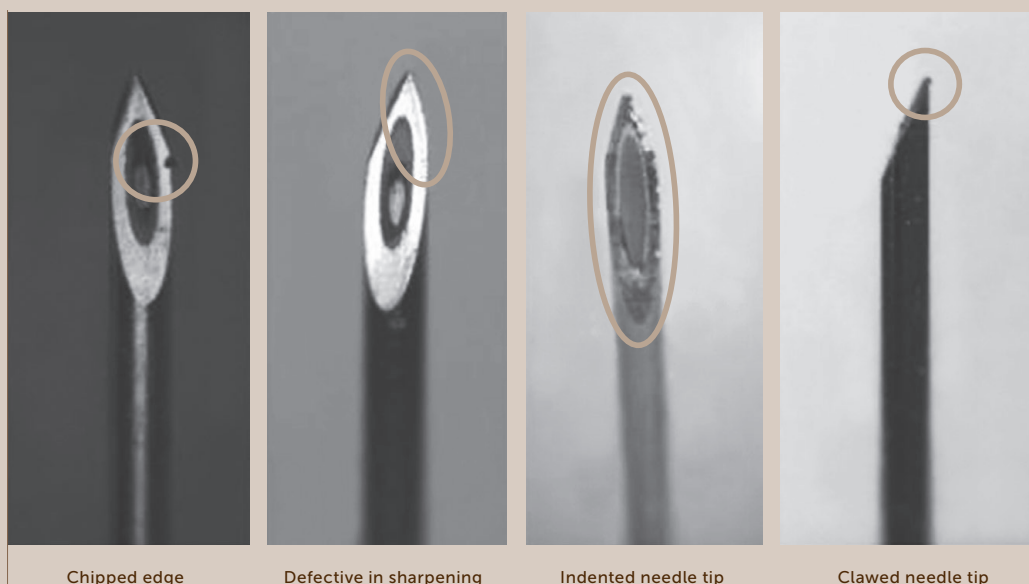


↑ Rys. 1 Rozwój koncepcji zarządzania jakością (Źródło: BCG, 2019)



↑ Rys. 2 Łańcuch wartości w kontroli jakości wspieranej AI - od danych do działania

W celu zmiany tego stanu rzeczy w latach 2020-2024 zrealizowano projekt H2o2o pt. *Platform-enabled kits of Artificial Intelligence for an easy uptake by SMEs* (KIT4SME). Celem było dostarczenie małym i średnim przedsiębiorstwom produkcyjnym gotowych, przetestowanych zestawów narzędzi – sprzętowych, programowych i organizacyjnych – umożliwiających łatwe włączenie AI do produkcji. Kluczową rolę odgrywała platforma RAMP Marketplace, oferująca modułowe komponenty AI, które można łączyć i dostosowywać do potrzeb konkretnej firmy. MŚP nie musiały inwestować w całościowy system – mogły dobrać tylko te funkcje, które faktycznie były potrzebne: system wizyjny do kontroli jakości, moduł predykcji parametrów czy generator danych syntetycznych. Co ważne, projekt obejmował też wsparcie trenerów i ekspertów, którzy pomagali przełożyć język technologii na język hali produkcyjnej – co często stanowi największe wyzwanie dla małych i średnich przedsiębiorstw. W ramach projektu KIT4SME przeanalizowano siedem wdrożeń rozwiązań AI w europejskich MŚP (Tab. 1). Ich różnorodność pokazała, że nie ma



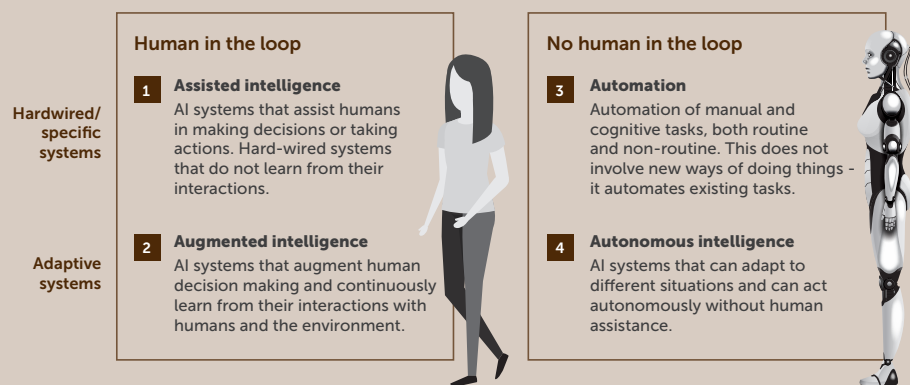
↑ Rys. 3. Możliwe wady elektrod igłowych, które należy wykryć podczas kontroli jakości (Źródło: materiały projektu KIT4SME)

jednego modelu implementacji, ale są wspólne mechanizmy sukcesu. Jedną z firm produkujących sensory IoT zmagającą się z wysokim odsetkiem zwrotów – wady ujawniały się dopiero po wdrożeniu u klienta. Kamery o wysokiej rozdzielczości, które weryfikowały każdy czujnik przed wysyłką, natychmiast

poprawiły jakość. W innym przedsiębiorstwie, w którym kluczowe znaczenie miała jakość spoin, wdrożono uczenie maszynowe (ang. *Machine Learning* – ML) analizujące w czasie rzeczywistym dane ze spawarek i sygnalizujące zarówno błędy, jak i potrzebę korekty parametrów. W zakładzie

Działalność MŚP	Problem jakościowy	Zastosowane rozwiązanie AI	Główna korzyść
Produkcja sensorów Internetu Rzeczy (IoT)	Wysoki wskaźnik zwrotów z powodu usterek ujawniających się po wdrożeniu. Pótręczny montaż małych partii utrudniał zapewnienie powtarzalnej jakości.	Kamera o wysokiej rozdzielczości weryfikuje każdy czujnik przed wysyłką.	Stabilna jakość wyjściowa i redukcja reklamacji.
Spawanie średnich i dużych konstrukcji	Jakość spoin kluczowa dla bezpieczeństwa; ręczna kontrola powolna i subiektywna.	Uczenie maszynowe analizuje dane w czasie rzeczywistym ze sprzętu spawalniczego, sygnalizuje wady i sugeruje korekty parametrów.	Bezpieczeństwo, powtarzalność i skrócenie czasu kontroli.
Produkcja opakowań plastikowych do żywności	Ręczna kontrola oparta na próbkach; duża różnorodność produktów powoduje późne wykrywanie usterek, odpady i przeróbki.	System wizyjny AI sprawdza 100% elementów i wysyła alerty operatorom.	Mniej odpadów, szybsza reakcja i wyższa satysfakcja klientów.
Produkcja elektrod igłowych	Mikrowady w igłach (2 mm × 0,3–0,45 mm) trudne do wykrycia przez zmęczonych inspektorów.	Ramię współpracujące z mikroskopami HD i analizą obrazu AI (YOLO).	Wyższa precyzja kontroli, ergonomia i niezawodność.
Obróbka metali	Proces cięcia generuje ciepło i emisje wymagające monitorowania środowiska pracy.	Czujniki energii i jakości powietrza połączone z kamerami i analizą AI w czasie rzeczywistym.	Poprawa bezpieczeństwa i warunków środowiskowych.
Produkcja tworzyw wzmocnianych włóknem szklanym	Proces wrażliwy na ciśnienie, wilgotność i temperaturę.	AI przewiduje i dostosowuje parametry procesu w czasie rzeczywistym.	Stabilny proces i oszczędność energii.
Produkcja płyt wiórowych	Częste wady przy nanoszeniu taśmy krawędziowej.	System wizyjny AI zintegrowany z istniejącymi maszynami wykrywa i klasyfikuje defekty.	Wyższa jakość powierzchni i redukcja strat materiałowych.

↑ Tab. 1. Przykłady wdrożeń AI w MŚP w ramach projektu KIT4SME (Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników Open Call Type-B projektu KIT4SME)



↑ Rys. 4 Spektrum współpracy człowieka z AI – od wsparcia po nadzorowaną automatyzację (Źródło: PwC, 2020)

produkującym opakowania z tworzyw sztucznych problemem była ogromna różnorodność produktów, która uniemożliwiała efektywną kontrolę próbkową. Zastosowanie systemu wizyjnego AI, analizującego 100% części i wysyłającego operatorom alerty o odchyleniach, pozwoliło znacząco ograniczyć odpady i przeróbki.

Jeszcze ciekawszy był przykład firmy produkującej elektrody igłowe. Mówimy tu o elementach o wymiarach 2 mm × 0,3–0,45 mm, które wcześniej oceniali zmęczeni eksperci. Przykładowe defekty elektrod igłowych zaprezentowano na rysunku 3. Zastosowano ramię współpracujące (*cobota*) z mikroskopami HD oraz analizę obrazu opartą na AI. Ponieważ liczba rzeczywistych zdjęć defektów była niewystarczająca do wytrenowania modelu, wygenerowano syntetyczne dane – obrazy stworzone na podstawie modeli SVG igieł, z różnymi wariantami oświetlenia i kąta. Efekt? Model YOLO rozpoznawał mikrowady równie dobrze jak ekspert, ale działał zawsze z tą samą precyzją, niezależnie od zmęczenia czy presji czasu.

To pokazuje, że wdrożenie AI w MŚP nie musi być rewolucyjne ani kosztowne. Wystarczy połączyć dostępne technologie: kamerę, robota współpracującego i otwarte oprogramowanie. Takie podejście – oparte na modularności – było fundamentem filozofii projektu KITT4SME. Firma nie kupuje „czarnej skrzynki”, lecz składa swoje rozwiązanie z gotowych klocków, które może z czasem rozbudowywać.

Analizując przytoczone w tabeli 1 przypadki, widać pewien wspólny mianownik. Wszystkie firmy musiały zmierzyć się z sześcioma typami wyzwania:

→ koncepcyjnymi (czy AI naprawdę rozwiąże nasz problem?),

- planistycznymi (jak połączyć AI z bieżącą produkcją?),
- danymi (czy mamy wystarczającą liczbę danych niezbędnych do wytrenowania modelu?),
- kierowniczymi (kto odpowiada za wdrożone AI?),
- organizacyjnymi (jak przekonać ludzi do AI i pokonać ich opór?),
- technologicznymi (jak połączyć istniejącą infrastrukturę z nowymi narzędziami opartymi na AI?).

Projekt zapewniał wsparcie na każdym z tych etapów – i to jest wniosek, który warto mocno podkreślić: same algorytmy to za mało. Sukces przychodzi wtedy, gdy AI jest elementem szerszej, zaplanowanej cyfryzacji.

Warto też spojrzeć na aspekt ludzki. W większości analizowanych przypadków AI nie zastępowała człowieka, lecz go wspierała: wykrywała anomalie, podpowiadała parametry, klasyfikowała defekty, ale ostateczną decyzję podejmował operator (Rys. 4). To podejście zgodne z duchem Przemysłu 5.0,

który stawia na współpracę człowieka z maszyną, nie na rywalizację. Właśnie tu widać najwięcej potencjału – AI jako asystent inżyniera, nie jego konkurent.

Na koniec warto przytoczyć myśl Stanisława Lema, który pisał o „intelektronice”, która pewnego dnia może dorównać lub nawet przewyższyć ludzką inteligencję. W przemyśle już teraz widzimy jej ograniczoną, pragmatyczną formę: inteligencję rozproszoną po fabryce – w kamerach, czujnikach i robotach. Nie jest to jeszcze ogólna AI, ale już potrafi analizować tysiące sygnałów i wspierać decyzje w czasie rzeczywistym. Kluczowe pytanie brzmi dziś: jak zapewnić, by ta inteligencja była przejrzysta, wyjaśnialna i zgodna z regulacjami, takimi jak chociażby europejski *AI Act*. Dla MŚP to kwestia nie tylko technologiczna, ale i reputacyjna – pojedynczy błąd może zaważyć na przyszłości firmy.

Dlatego finalny wniosek jest prosty: AI w kontroli jakości sprawdza się najlepiej wtedy, gdy łączy trzy elementy – dobrze przygotowane dane, jasno określoną rolę człowieka oraz wsparcie z zewnątrz (platforma, ekspert, trener). Wdrożenie nie musi być spektakularne, ale musi być skuteczne i przynosić doraźne korzyści. Liczy się to, że maszyny naprawdę uczą się jakości – a my uczymy się wraz z nimi.

BCG, 2019. <https://www.bcg.com/publications/2019/quality-4-0-takes-more-than-technology>

OECD, 2024. <https://www.wusme.org/sme-news/artificial-intelligence-changing-landscape-for-smes/kitt4sme>, 2023. <https://kitt4sme.eu/>

PwC, 2020. <https://www.pwc.com/gx/en/industrial-manufacturing/pdf/intro-implementing-ai-manufacturing.pdf>

{ Dr inż. Krzysztof Ejsmont – jest adiunktem na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Warszawskiej (PW). Pełni tam również funkcję p.o. kierownika Zakładu Procesów Produkcyjnych i Logistyki. Specjalizuje się w zarządzaniu produkcją, organizacją produkcji, relacjach pomiędzy Przemysłem 4.0/5.0 oraz zrównoważonym rozwojem. Jego obecne badania skupiają się na zależnościach pomiędzy zrównoważonym rozwojem i Przemysłem 4.0/5.0, oceną inteligentnych technologii (np. Internet Rzeczy, cyfrowy bliźniak) i zastosowań sztucznej inteligencji w produkcji i energetyce. Brał udział w kilku międzynarodowych projektach badawczo-rozwojowych, w tym finansowanych przez UE (E-SCOP, KITT4SME). Koordynował globalny projekt badawczy pt. „Industry 4.0 w inżynierii produkcji i aeronautyce” (PW + 10 partnerów z Europy, USA, Japonii, Australii i Korei Południowej). Brał udział w projekcie H2020 pt. KITT4SME (numer projektu 952119), którego celem była budowa platformy udostępniającej rozwiązania oparte na sztucznej inteligencji dla małych i średnich przedsiębiorstw produkcyjnych }



↑ Fot. 1 Drzwi Otwarte PW

Studia ID na Politechnice Warszawskiej

kontynuacja programu dla najzdolniejszych studentów I i II stopnia

W 2022 r. w Politechnice Warszawskiej został uruchomiony program Studiów id – Indywidualna Droga, elitarnych, indywidualnych studiów dla najlepszych kandydatów i studentów. Są one skierowane do kandydatów na I i II stopień studiów stacjonarnych, aplikujących na wybrane kierunki dostępne w ofercie wydziałów uczelni. W ramach studiów PW oferuje studentom indywidualizację drogi kształcenia pod okiem wybitnych nauczycieli akademickich – tutorów oraz gwarantuje stypendia naukowe. Źródłem finansowania studiów id jest ministerialny program „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza”, realizowany w Politechnice Warszawskiej.

Rekrutacje na studia ID odbywają się semestralnie, w 2025 r. zostało przyjętych

30 studentów, w tym: Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych 8 osób, Wydział Matematyki i Nauk Informatycznych 7 osób, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa 6 osób, Wydział Geodezji i Kartografii 3 osoby, Wydział Inżynierii Materiałowej 2 osoby, Wydział Chemiczny 2 osoby, Wydział Architektury 1 osoba, Wydział Inżynierii Lądowej 1 osoba. Ogólnie liczba studentów ID w skali roku wyniosła od ok. 65 do 80 osób.

W trakcie całego procesu studiów ID przewidziane są formy zajęć wspomagające uczestników w najlepszym dopasowaniu do przyszłych wyzwań naukowo-zawodowych. Studentom oferowane są seminaria interdyscyplinarne, mające na celu poszerzenie wiedzy z wielu różnych dziedzin nauki.

Seminaria prowadzą wybitni wykładowcy z Politechniki Warszawskiej i spoza uczelni. W 2025 roku odbyły się następujące seminaria:

- *Upowszechnianie nauki. Jak prezentować?*, dr Łucja Dybowska-Sarapu, Wydział Mechaniczny Technologiczny PW;
- *Alternatywy testów na zwierzętach, leki na starzenie i inne refleksje ze stażu w Instytucie Ludwiga Boltzmann, Iryna Levkovich*, Wydział Chemiczny PW;
- *HepaSwitch – przyszłość terapii raka wątrobowokomórkowego*, Bartłomiej Łuszczuk, Wydział Chemiczny PW;
- *Wiele twarzy modelowania matematycznego*, dr inż. Łukasz Błaszczuk, Wydział Matematyki i Nauk Informatycznych PW;

- *Geoinformatyka – bardziej geodezja czy informatyka?*, prof. Dariusz Gotlib, Wydział Geodezji i Kartografii PW;
- Prezentacja Koła Naukowego *Starling*, Michał Kozicki;
- *Wstęp do współczesnej energoelektroniki*, Michał Maciesza;
- *Trójwymiarowa genomika: między informatyką, fizyką i biologią*, prof. Dariusz Plewczyński, Wydział Matematyki i Nauk Informacyjnych PW;
- *Medycyna 2025 – sztuka czy AI (gorytm)*, prof. Andrzej Cacko, Warszawski Uniwersytet Medyczny;
- *Modele językowe pod maską*, prof. Andrzej Dragan, Wydział Fizyki UW;
- *Kiedy dane mają kształt (i co z tego wynika)*, prof. Paweł Dłotko, Instytut Matematyczny PAN;
- *Matematyka jako narzędzie w planowaniu leczenia*, prof. Urszula Forys, Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki UW.

Poza seminariami przeznaczonymi bezpośrednio dla studentów ID, oferta dydaktyczna obejmuje również cykliczne seminaria ogólnouczelniane realizowane przez Centrum Studiów Zaawansowanych, w tym Horyzonty Dyscyplin Nauki oraz Matematyczne i informatyczne granice algorytmiczności. Multidyscyplinarny program seminariów, obejmujący szerokie spektrum dziedzin naukowych – od nauk ścisłych i przyrodniczych po humanistyczne – stworzył przestrzeń do pogłębionej dyskusji oraz konfrontacji różnorodnych punktów widzenia. Wymiana myśli prowadzona z perspektywy wielu dyscyplin naukowych okazała się istotnym czynnikiem stymulującym kreatywność i sprzyjającym rozwojowi dalszych poszukiwań badawczych.

„Interdyscyplinarne seminaria, warsztaty oraz kontakt z uznanymi naukowcami tworzą dla studentów ID przestrzeń do pogłębionej refleksji, wymiany idei i twórczych poszukiwań badawczych. Program promuje doskonałość naukową, samodzielność, krytyczne myślenie oraz odpowiedzialność w kształtowaniu przyszłych liderów nauki i innowacji”

Corocznie Centrum Studiów Zaawansowanych organizuje naukowe warsztaty dla studentów ID, w ramach których uczestnicy prezentują swoje zainteresowania badawcze w formie wystąpień oraz sesji posterowych. W dniach 21-23 marca 2025 r. w Europejskim Centrum Edukacji Geologicznej UW (Korzecko w Chęcinach) odbyło się Sympozjum Centrum Studiów Zaawansowanych PW we współpracy z Centrum Badań Ryzyka Systemowego UW. Łącznie uczestnicy sympozjum wysłuchali

34 wykładów i wzięli udział w licznych dyskusjach. Wśród zaproszonych gości byli naukowcy z Uniwersytetu Warszawskiego, Politechniki Warszawskiej oraz uczestnicy studiów ID.

W kolejnym semestrze akademickim program studiów ID będzie rozwijany o nowe propozycje edukacyjne dla studentów, w tym organizację kolejnych kilkudniowych warsztatów naukowych.

Ilona Sadowska

↓ Fot. 2 Studenci studiów ID podczas seminarium interdyscyplinarnego



Centrum AI

jako przykład i wyzwanie do organizacji centrów badawczych w strukturze Uczelni

Szersze tło potrzeby zmian w strukturze uczelni technicznych

Powszechność kształcenia i ujednoczenie kryteriów oceny jego wyników powoduje, że uczelnie techniczne nie dostarczają na rynek absolwentów spełniających wymagania pracodawców. W profilu wykształcenia i wymaganiach jakości brakuje mechanizmu kształtowania postaw przedsiębiorczych. To właśnie aktywność przedsiębiorcza inżynierów, którzy z natury powinni mieć cechy wojowników, tworzy miejsca pracy i rozszerza liczebność klasy średniej.

Joseph Stiglitz (Nobel z ekonomii 2001) analizując gwałtowny rozwój aktywności i wzrost gospodarczy w Polsce w latach 90., przypisuje to przedsiębiorczym postawom Polaków, którzy wykorzystali wolność gospodarczą (jej początkiem była tzw. ustawa Wilczka o działalności gospodarczej z 1988 r.). Przeciwnie do powszechnej opinii, przypisuje się to terapii szokowej, która długofalowo okazała się szkodliwa.

Liczna i przedsiębiorcza klasa średnia jest ostoją demokracji, redukuje bowiem różnice społeczne, tworząc jej podstawy (Solon). Wobec procesu globalizacji postępuje oligarchizacja. Zwiększa się przepaść ekonomiczna między warstwą bogatych a coraz liczniejszą warstwą biednych. Następuje erozja klasy średniej. Rozrastający się korporacjonizm ogranicza możliwość rozwoju postaw przedsiębiorczych związanych bezpośrednio z długofalową projekcją planów życiowych. Istnieje potrzeba, czy wręcz konieczność, podjęcia prób zmiany tego trendu, choćby w ograniczonej skali. Musimy trzymać się swoich celów i być tu, gdzie jesteśmy, mimo niesprzyjających warunków zewnętrznych.

Jednym z elementów zmian kształtujących aktywność inżyniera jest stabilna perspektywa działalności. Państwo w obszarze aktywności gospodarczej („*economy first, stupid*”, B. Clinton) powinno określić priorytetowe kierunki rozwoju. W Polsce to np. bezpieczeństwo energetyczne, komunikacja, bezpieczeństwo zasobów wodnych i zdrowie.

Jasno zdefiniowany cel, plan jego realizacji i wymagania od wykonawcy

„Integracja unifikuje jednostki składowe systemu dla osiągnięcia głównego celu stojącego przed nim. Dezintegracja wewnątrz struktury służy rozwojowi systemu...”

poziomu rezultatu będą miały tzw. efekt ciągniony. Władze szkół politechnicznych dostosują profile kształcenia i badań do potrzeb gospodarki. Wzrośnie zainteresowanie studiami technicznymi, nastąpi konsolidacja i wzrost poziomu badań wzmacniających innowacyjność. Takie zmiany są możliwe mimo globalizacji. Tymczasem należy zacząć wprowadzać zmiany niezależnie od wielkiej polityki. Wykorzystajmy aktywność studentów i naukowców i ukierunkujmy ją na konstruktywne zmiany. Zaczniemy więc od tego, co już mamy.

Uwagi ogólne

Główny temat spotkania w Wildzie, zorganizowanego przez CSZ pod hasłem „integracja – dezintegracja”, nadal stanowi wyzwanie do zastanowienia się nad sposobem budowy stabilnej struktury organizacyjnej jednostek Uczelni, spełniającej oczekiwania jej uczestników (relacje wewnętrzne) oraz czynników zewnętrznych oceniających jej działanie według postawionych zadań i ich rozliczenia. Ten drugi czynnik w strukturze organizacyjnej wymaga ścisłej integracji dla wykazania wyników działania. Tu obowiązuje pewien formalizm oparty na dość podstawowym, prostym sposobie działania. Na tym poziomie istotny jest czynnik współpracy i wypełniania zadań przez całą strukturę organizacyjną, głównie sprawną administrację, przygotowującą sprawozdanie dla zewnętrznej oceny. Integracja unifikuje jednostki składowe systemu dla osiągnięcia głównego celu stojącego przed nim. Dezintegracja wewnątrz struktury służy

rozwojowi systemu przez uwolnienie aktywności składowych w ich obszarze kompetencji i zdefiniowanej tematyki działań. Uruchamia się przez to pozytywny mechanizm rozwojowy układu.

Istotnym elementem określającym efektywność działania struktury jest sposób zarządzania. Dotyczy to wszelkich poziomów aktywności, w tym organizacji badań i kształtowania powstających form, tworzenia zespołów, start-upów, centrów badawczych, itp.

Podejście do zarządzania wynika z reakcji w stosunku do oczekiwań otoczenia zewnętrznego, stawiającego wymogi jakości rezultatu. Obserwuje się brak tradycyjnego, konserwatywnego sposobu działania, który jest skutkiem zaniku postaw republikańskich w społeczeństwie, a także reguł wolnorynkowych. Następuje zablokowanie ścieżek awansu i wyłaniania elit twórczych i przedsiębiorczych. Dzisiejsze elity stwarzają wymogi i kryteria sprzyjające rozwojowi postaw postkolonialnych, służących kolejnym „dobroczyncom”, lokującym się w głównym nurcie. Skutkuje to specyficznym podejściem do sposobu zarządzania przedsięwzięciem. Należy być ostrożnym w stosunku do „niby-inteligenckich” dyrektyw „jak być powinno”. To najczęściej prowadzi do porażki. Zarządzanie określone jest przez główny cel działania i powinno mieć charakter wariantowy. Zawsze należy być przygotowanym na plan B działania w stosunku do głównego celu. Zarząd musi operować w dwóch perspektywach czasowych – teraźniejszości i przyszłości. Takie podejście zapewni stabilność zarządzanego przedsięwzięcia.

Powyższe ogólne uwagi dotyczą również struktur organizacyjnych nauki i kształcenia.

Uwagi szczególne

Tematyka Sympozjum w Wildze była wielowątkowa. Jednym z ważnych, moim zdaniem, zagadnień, które warto poruszyć, jest wykorzystanie przyznania Zespołowi prof. Przemysława Biecka grantu w programie MAB-FENG. Przy umiejętnym i dobrze zaplanowanym działaniu może to być źródłem utworzenia, znaczącego co najmniej w skali krajowej, naukowego centrum doskonałości (CD).

Od szeregu lat, w różnych konfiguracjach osobowych, dyskutowaliśmy o potrzebie zmian w strukturze organizacyjnej Uczelni dla podniesienia poziomu naukowego oraz jakości absolwenta, a także zapewnienia stabilności działania na różnego rodzaju kryzysy: finansowe, polityczne i demograficzne. Jednym z pomysłów było rozdzielenie pionów dydaktycznego i naukowego. Ten drugi miał dać swobodę w powstaniu interdyscyplinarnych zespołów, wyróżnionych w formie laboratoriów badawczych (LB). LB mogłyby łączyć się w CD dostosowane do realizacji programów wynikających ze strategii gospodarczej państwa. Integracja pionu dydaktycznego i badawczego miałyby odbywać się formalnie na etapie wykonywania prac magisterskich i doktoratów w laboratoriach wybieranych przez studentów. Oczywiście, zdolni i ambitni studenci na każdym etapie studiów powinni być włączani w prace zespołów badawczych. Tak wykształceni absolwenci byłiby cennymi fachowcami, atrakcyjnymi dla gospodarki. Niestety, z wielu względów, nie doszło nawet z symulacyjnych rozmów na te tematy. Mam nadzieję, że nastąpią jakieś ruchy wymuszające ukierunkowany rozwój gospodarczy kraju, skutkujące zdefiniowanymi aktywnościami Uczelni z programami dostosowanymi do tych celów.

Zdaję sobie sprawę, że trudno będzie rozpocząć wprowadzanie konstruktywnych zmian wobec postępującej oligarchizacji i przyspieszonego wzrostu entropii systemu społeczno-gospodarczego spowodowanego rozrostem biurokracji z obiegiem często sztucznych i niepotrzebnych wymagań formalnych. Jesteśmy zanurzeni w coraz bardziej bezkształtnym środowisku i tracamy bezwiednie poczucie własnej osobowości, własnego ja. Natomiast, pójdzie pod prąd (porządkowanie)

obecnym tendencjom, jest możliwe w zakresie lokalnym.

Zacznijmy więc od innej strony – od konstrukcji przykładowego, który mógłby stać się wzorcem dla podobnych przedsięwzięć. Budowa CD z obszaru AI będzie możliwa przez przyznanie finansowania na ten cel funduszy ze wspomnianego programu MAB. Stabilność i trwałość takiego centrum zależą od jego struktury i podejmowanej tematyki badań. Kluczowym elementem tej struktury jest Lider, na którym spoczywa odpowiedzialność za osiągnięcie wyników w zaplanowanym programie badań. To Lider odpowiada za działanie CD przed podmiotami finansującymi zgodnie z programem i regulaminem MAB.

Biorąc pod uwagę wielowątkowość tematyki badawczej w programie grantu, struktura zarządzania będzie wymagać silnej integracji podmiotów merytorycznych podporządkowanych realizacji głównego celu działalności centrum. Będzie to związane ze zdefiniowaniem i określeniem zadań dla części administracyjnej i podkreśleniem służebnej roli urzędników. Różnorodność tematyczna działalności Centrum w sposób naturalny wymuszać będzie dezintegrację całej struktury w zakresie szczególnych badań, zapewniając swobodę aktywności kierownikom części zadaniowej dla osiągnięcia zaplanowanych celów badawczych. Dynamika całego systemu w jego działaniu powinna doprowadzić do osiągnięcia stabilnej równowagi prowadzącej do spełnienia wymagań dotyczących całego projektu. Zdaję sobie sprawę, że zespół badawczy sam już określił sposób działania i ma sprecyzowane plany, o których wie najlepiej, jak je realizować. Powyższe refleksje dotyczą przyszłości i wskazują na te elementy, które zapewnią trwałość istnienia centrum i spowodują, że będzie to nowa jakość w strukturze Uczelni.

AI staje się ważnym obszarem aktywności naukowej, a wyniki badań odbierane przez zewnętrzne otoczenie gospodarcze i społeczne mają pozytywne, ale i negatywne skutki. Często nie mamy wpływu na to, jak wykorzystane będą uzyskane wyniki. Ukierunkowanie badań i wzmocnienie wektora pozytywnych skutków jest trudne ze względu na moralną i merytoryczną jakość odbiorców. Dominująca postnawoczesność rozszerza nieuchwytność sensu w kontrze do postaw konserwatywnych, gdzie kluczowe epistemologicznie jest wykorzystanie związków

przyczynowo-skutkowych zjawisk, logiki i empirii. Te narzędzia dominująco zastąpione zostały labiryntem sugestii i przypuszczeń. System zaułków, z którego często nie ma wyjścia ani potrzeby, żeby w nim cokolwiek poszukiwać, a wszystko można zakwestionować, jest groźny przede wszystkim dla nauki.

W epoce natychmiastowej globalnej łączności i stale rosnącej jednorodności idei, coraz trudniej nadać nowym pomysłom wartościowy sens i kierunek. Oglupiające i powszechnie obecne w życiu obywateli mass-media zdominowały drogi dotarcia do odbiorcy. Rozchwiane zostały system wartości i postawy etyczne. Nad AI wisi groźne niebezpieczeństwo szkodliwego użycia nowych osiągnięć i narzędzi.

Tym bardziej osadzenie projektu MAB-FENG w ramach powstającego centrum, we właściwych ryzach pozytywnych ograniczeń i zdefiniowania użyteczności wyników badań, jest dużym wyzwaniem i wymaga szczególnej troski wszystkich uczestników tego przedsięwzięcia. Dobry przykład właściwego funkcjonowania Centrum może być załącznikiem do naśladowictwa prowadzącego do ewolucyjnych zmian w Uczelni. Powyższe uwagi i rozważania zakończę próbą pobudzenia dalekosiężnej refleksji, wykorzystując myśl Gilberta K. Chestertona „Upadek wielkiej cywilizacji zaczyna się od tego, że zapomina ona o prawdach oczywistych”.

Prof. Leon Gradoń – specjalista w zakresie inżynierii biomedycznej oraz inżynierii chemicznej i procesowej. Zawodowo związany z Politechniką Warszawską. Od 1999 do 2005 pełnił funkcję dziekana Wydziału Inżynierii Chemicznej i Procesowej. Przewodniczy honorowo Radzie Naukowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy. Był profesorem wizytującym na wielu uczelniach. Jest autorem lub współautorem licznych publikacji naukowych, także kilkudziesięciu patentów oraz wdrożeń. Jest laureatem wielu nagród. Zasiadał w prestiżowych gremiach naukowych a w latach 2016-2020 był przewodniczącym Rady Fundacji na rzecz Nauki Polskiej



Fot. 1

Światło jako medium percepcji

{19}

„Moje zdjęcia nie powstają po to, aby je rozumieć, są jedynie bodźcem do interpretacji i kontynuacji mojej myśli”

/Mario Giacomelli

Światło ma moc stwarzania na nowo tego co już istnieje, jak również ewokowania nieistniejącego. W swej wędrówce podobne jest przepływowi myśli odkrywającemu nowe szlaki, generującemu alternatywne możliwości. Zatonienie się w świetle - w samym procesie obserwacji - otwiera możliwość wydostania się poza słowa, przeniknięcia do trudno dostępnych, nienazwanych przeczuc.

Tekst ten jest zaproszeniem do współdzielenia tego stanu; opowieścią o splocie światła i przestrzeni rodzącym formy obecne i nieobecne zarazem.

By w pełni odczuć ich oddziaływanie, należałoby się zanurzyć w kreowanym przeze mnie świecie; mając do dyspozycji jedynie tekst i kilka zdjęć, pozostaje odwołać się do odwołać się do wyobraźni.

A zatem wyobraźmy sobie ciemną przestrzeń, której granice są ledwo widoczne. Ciemność rozpraszana jest w kilku zaledwie miejscach, przez unoszące się w powietrzu jaśniejące obiekty.

Gdy zaczynamy iść w ich kierunku, na naszym ciele zaczynają pojawiać się obrazy. Z każdym naszym ruchem pojawiają się kolejne i kolejne jakby podążały za rytmem naszych kroków. Jeśli będziemy przemieszczać się dalej, to zauważymy istnienie niewidocznych granic, po których przekroczeniu wpadamy w strumień obrazów i, na krótką chwilę, sami stajemy się nośnikami zasiedlającego to miejsce imaginarium. Okazuje się, że przestrzeń wcale nie jest pusta, ale odkrycia tego można było dokonać dopiero po znalezieniu się w środku. Gdy przetniemy kolejną granicę i strząśniemy z siebie ostatnie promienie światła, nasza obecność zgaśnie w mroku. Dookoła nas gasnąc i zapalac się będą inne obecności - jak gdyby materia postanowiła nas zaskoczyć swoją zdolnością do przekształcania się we własny cień.

Docieramy wreszcie do jaśniejących w oddali obiektów. I tak jak ciemność okazała się nie być całkowitą ciemnością, tak i te obiekty nie są tym, czym



się wydawały. Z bliska iluzja stałości znika i napotykałyśmy jedynie promienie światła przenikające przez prześwitujące ekrany, odbijające się świetlistym echem w oddali. Rodzące się formy, niczym żywe istoty, przeobrażają się reagując na naszą obecność.

Czym są te organiczne struktury i dlaczego zasiedlają tę przestrzeń? By odpowiedzieć na to pytanie musimy się cofnąć w czasie.

Czy wchodziliście kiedyś do opuszczonego domu? Takie domy składają się głównie z osypującej się materii i wspomnień. Jeśli tak się zdarzy, że przekraczamy próg domu naszego dzieciństwa, to jego pustka będzie wydobywać z pamięci wspomnienia. Znam osoby, które twierdzą, że nie mają wspomnień – ja miałam. Pamiętałam czas, gdy nie mogłam oderwać wzroku od isker przesypanych się w kafłowym piecu. Gdy śledziłam własne odbicie powielające się w nieskończoność w ruchomych skrzydłach luster, gdy wsłuchiwałam się w przepływające przez kuchnię historie.

A teraz stałam w środku dojmującej pustki. Lustra już nikogo nie odbijały, z pieca zniknęły tańczące w ogniu blaski. Pomieszczenia, pozbawione kruchego kośćca mebli, skurczyły się znacznie. Jedynie okna, rozświetlone niezwykłym blaskiem, oparły się tej destrukcyjnej sile.

Potężniejsze niż kiedykolwiek przedtem, zdawały się do mnie wołać, że Ci, którzy odeszli, ciągle żyją w ich świetle. Reszta pomieszczenia była nienaturalnie mała – ważne były tylko te okna i blask, który je otwierał i nie pozwalał całkowicie zagłębić się w smutku.

Od tej chwili zaczęłam postrzegać światło przez pryzmat obecności, którą może przywołać.

Teraz cofnijmy się w czasie jeszcze bardziej, do momentu, w którym, dzięki rzucanym na ścianę projekcjom, w dziecięcym pokoju pojawiały się bajki. Znowu spotykamy światło wywołujące poczucie przenikania się dwóch światów, tym razem rzeczywistego i baśniowego. Historie, zamknięte w klatkach pojedynczych kadrów, ożywały pod wpływem dziecięcej wyobraźni. Wszystko dzięki barwnym slajdom, które przesuwam we własnym tempie, według życzenia. Mogłam nawet cofnąć czas, odwracając bieg wydarzeń, albo wkroczyć w stożek światła, by pojawić się w środku akcji.

Wiele lat później powróciłam do tych eksperymentów już bardziej świadomie, w trakcie poszukiwań sposobu na oddanie stanów Obecności



Fot. 2



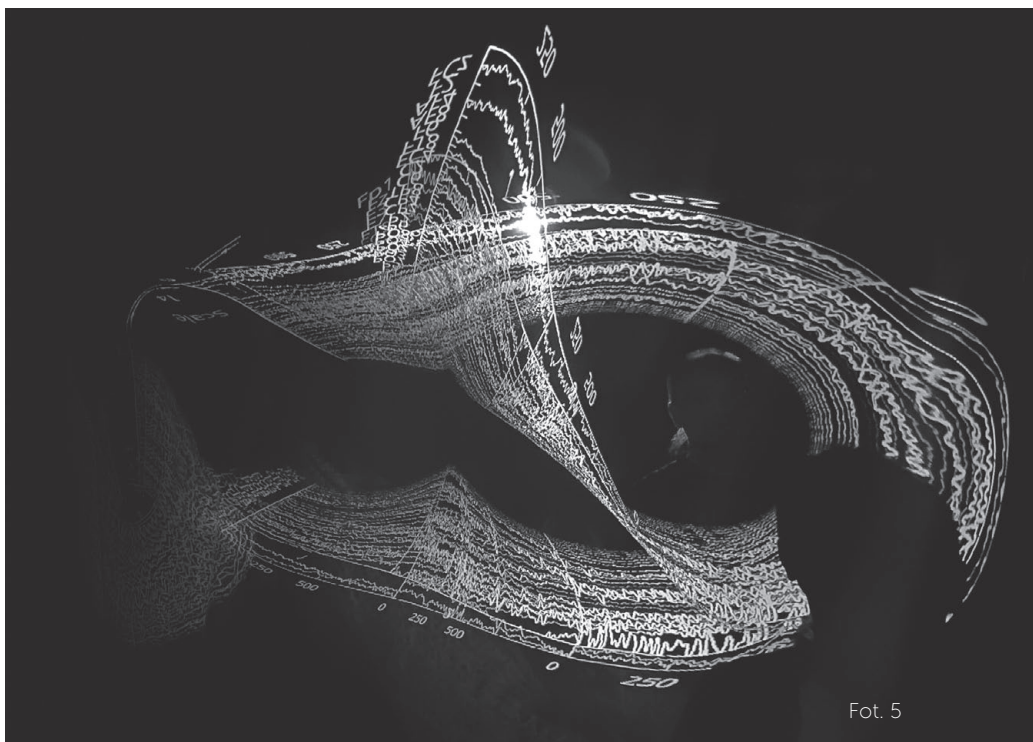
Fot. 3



Fot. 4

i Nie-Obecności. To wówczas narodziły się świetliste efemerydy.

Korzenie efemeryd sięgają Fotografii. Fotografii, która domagała się uwolnienia ze swej sztywnej formy, zobowiązującej ją do pozostania na płaskim kawałku kliszy, papieru czy ściany. Rzucana w przestrzeń, stopniowo przerodziła się w quasi-hologramy, oddalając się od obserwowalnej rzeczywistości, coraz bardziej czerpiąc z kłębiącego się we mnie imaginarium. Imaginarium powiększającego się wraz z rosnącą ilością eksperymentów ze światłem zbieranym w rozmaitych warunkach poprzez ręcznie modyfikowane obiektywy. Wraz z każdą próbą odwrócenia tonów w procesie solaryzacji, każdym zachwytem, nad kryjącym się w ambrotypach, połączeniem obrazu negatywowego i pozytywowego. Wreszcie, wraz z uporczywymi próbami odpowiedzenia sobie na pytania o trafność wyobrażeń na temat



Fot. 5

„W wykreowanym przeze mnie środowisku, światło nie tyle oświetla co ustanawia byty, a unoszące się w przestrzeni światło-obrazy ożywają dzięki naszej obecności i naszemu dotykowi...”

zewnątrznego światła - wyobrażeń powstających przecież w wielowątkowym procesie, do którego dostęp mamy mocno powstających przecież w wielowątkowym procesie, do którego dostęp mamy mocno ograniczony.

Wróćmy teraz w ciemną przestrzeń świata, w którym dalekim echem odbijają się moje kolejne spotkania ze światłem. Świata, w którym obraz żyje w całej przestrzeni i można łowić go za pomocą własnego ciała lub transparentnych ekranów. Gdy znajdujemy się w niej po raz pierwszy, nie zdajemy sobie sprawy z tego, jak ważną jesteśmy jej częścią. Dopiero gdy dostrzeżemy osiadające na nas obrazy, gdy zauważymy, że każdy nasz ruch, każdy oddech je zmienia, wreszcie gdy odważymy się wyjść poza utarte schematy i dotknąć tego co się przed nami jawi - wówczas zyskamy wgląd w możliwości jakie to

środowisko nam oferuje. Obserwowałam wielokrotnie, jak, po pokonaniu pierwszych oporów, ludzie integrowali się z moją instalacją, przekształcali ją i nagrywali filmy rejestrujące spontaniczne interakcje. Przywoływało to dziecięcą radość poszukiwań i otwartość na nieznanne doświadczenia.

W wykreowanym przeze mnie środowisku, światło nie tyle oświetla co ustanawia byty, a unoszące się w przestrzeni światło-obrazy ożywają dzięki naszej obecności i naszemu dotykowi. Niczym żyjące istoty, przepływają

nam między palcami gdy usiłujemy je schwytać, otwierając drogę do wglądu w sam proces zmiany, który zainicjowaliśmy.

Fot. 1. *Reflections*, 2024
wielokanałowa instalacja interaktywna, Międzynarodowe Triennale Grafiki 2024 w Krakowie, NCK Biała Galeria, Kraków, fot. Beata Bajno

Fot. 2 *Horyzont Zdarzeń*, 2009
wielokanałowa instalacja interaktywna, V Warszawski Festiwal Fotografii Artystycznej, Galeria Schody, Warszawa, fot. Beata Bajno

Fot. 3 *Horyzont Zdarzeń*, 2009
wielokanałowa instalacja interaktywna, V Warszawski Festiwal Fotografii Artystycznej, Galeria Schody, Warszawa, fot. Beata Bajno

Fot. 4 *Stany Nieustalone*, 2014
wielokanałowa instalacja interaktywna, INTERFERENCJE / INTERFERENZEN Polish-German Project, Second Home Gallery, Berlin, fot. Beata Bajno

Fot. 5 *Reflections*, 2024
wielokanałowa instalacja interaktywna, Międzynarodowe Triennale Grafiki 2024 w Krakowie, NCK Biała Galeria, Kraków, fot. Beata Bajno

{ Beata Bajno – Artystka wizualna i architektka, współinicjatorka interdyscyplinarnych badań nad percepcją sztuki. Interesują ją procesy uwagi, percepcji oraz kształtowania się osobistych modeli rzeczywistości. Autorka multimedialnych instalacji, grafik i fotografii }

„W swoich pracach teoretycznych i eksperymentalnych Ernst Pöppel zakwestionował powszechne rozumienie biologicznego czasu jako ciągłego, linearnego przepływu”

myśli i odmowie zaakceptowania intelektualnych więzów. Dodałbym do tego, że celebryta ono także ciekawość oraz odwagę zadawania pytań i poszukiwania odpowiedzi. Patrząc na dorobek profesora Ernsta Pöppela, można sądzić, że ta sentencja przyświecała mu od początku i do dziś pozostaje jej wierna.

Trudno w zwięzły sposób w pełni zaprezentować osiągnięcia laureata, dlatego dokonałem osobistego wyboru znaczących momentów z jego pracy.

Na chwilę przenieśmy się o ponad 1500 lat wstecz, około roku 400 naszej ery, kiedy św. Augustyn w *Wyznaniach* napisał: „Czymże jest czas? Jeśli nikt mnie nie pyta, wiem; jeśli chcę wyjaśnić temu, kto pyta, nie wiem.” – Podczas gdy wielu zatrzymuje się w obliczu tej tajemnicy, Ernst tego nie zrobił. W swoich pracach teoretycznych i eksperymentalnych Ernst Pöppel zakwestionował powszechne rozumienie biologicznego czasu jako ciągłego, linearnego przepływu. Kamieniem węgielnym tych badań jest identyfikacja elementarnej jednostki przetwarzania

o długości 30–40 milisekund. Prace te w fundamentalny sposób podważyły klasyczne ujęcie świadomości jako nieprzerwanego strumienia, sugerując zamiast tego dyskretny, oscylacyjny mechanizm segmentujący rzeczywistość na „kwanty” informacji. W tym mikroprzedziale mózg agreguje napływające sygnały, nie przypisując im jednoznacznego związku przyczynowo-skutkowego, tworząc strefę czasową, w której fizyczna ciągłość czasu przestaje obowiązywać na poziomie doświadczenia subiektywnego.

Jeśli te okna zostają zaburzone – jak dzieje się podczas znieczulenia ogólnego – aktywność świadoma ustaje, ponieważ mózg nie jest w stanie konstruować elementarnych cegiełek doświadczenia. To dyskretnie przetwarzanie można empirycznie zaobserwować w rozkładach czasów reakcji wyboru. Gdy osoby odpowiadają na losowe sygnały, ich czasy reakcji nie tworzą gładkiej krzywej dzwonowej, lecz grupują się w kilka wyraźnych pików oddalonych od siebie o około 30 milisekund – co sugeruje, że mózg podejmuje decyzje w szybkich, dyskretnych krokach. Implikuje to oscylację neuronalną, która uruchamia reakcje ruchowe tylko w określonych fazach, sugerując, że mózg nie „programuje” ruchu w sposób ciągły, lecz wybiera kolejne okna czasowe na działanie. Ten „horyzont jednoczesności” działa jako bufor, pozwalając mózgowi

łączyć sygnały sensoryczne w spójną percepcję – to fundamentalna wiedza, której naucza się dziś na zajęciach z neurobiologii i kognitywistyki, w tym także w tych, które prowadzą na Politechnice Warszawskiej oraz Uniwersytecie Warszawskim.

To odkrycie również nie zatrzymało Ernsta Pöppela, który stwierdził, że okno 30–40 ms rodzi kolejne pytanie: jak mózg skleja te dyskretnie stany w spójną płynną semantykę?

Prace profesora wykazały, że ludzkie doświadczenie charakteryzuje również dłuższa segmentacja czasowa – trzy sekundowe okno czasowe. Subiektywny moment terażniejszości, to uniwersalna stała. Intencjonalne ruchy, jak uścisk dłoni, mieszczą się w ramach około 3 sekund; w czasie oglądania figur wieloznacznych percepcja spontanicznie przełącza się mniej więcej co 3 sekundy.

Zatrzymajmy się na chwilę przy segmentacji czasowej mowy i języka – w niemal wszystkich kulturach metryczna poezja wykorzystywana jest w rytuałach religijnych, społecznych i ekonomicznych; nauka kluczowych tekstów poetyckich stanowi nieodłączny element edukacji w niemal każdej tradycji piśmiennej. Wiele dziedzin – rolnictwo, pasterstwo, polowanie, wojna, żeglarstwo, a nawet górnictwo – posiada własne pieśni i poezję, pokazując, jak blisko sztuka spleta się z codziennym życiem.

Współpraca Ernsta Pöppela z poetami, takimi jak Frederick Turner, pokazały,



↑ Fot. 1 Statuetka Kosmosu Pitagorasa dla prof. Ernsta Pöppela



↑ Fot. 2 Prof. Ernst Pöppel w siedzibie Centrum Studiów Zaawansowanych podczas wpisu do książki pamiątkowej

że metryka poetycka jest dostosowana do funkcjonowania mózgu. Analizując ponad 20 rodzajów poezji, odkryli, że trzysekundowe trwanie wersów nie jest konwencją kulturową, lecz biologiczną koniecznością. Metrum działa jako „stymulant i wzmacniacz” zdolności mentalnych, wykorzystując naturalne rytmy mózgu do wzmacniania rozumienia i pamięci. To zupełnie nowe podejście do neuroestetyki, w którym sztuka nie jest jedynie wytworem kulturowym, lecz eksternalizacją wewnętrznej architektury czasowej mózgu.

Po raz kolejny dowodzi to znaczenia sztuki, ukazując ściśle relacje między nią a nauką.

Zanim przejdziemy do badań nad sztuką, skupmy się na moment na innym aspekcie i ważnym pytaniu filozoficznym – czy potrafimy wyobrazić sobie uwagę bez świadomości?

Skądinąd: czy świadomość jest jedynie pojęciem filozoficznym i teoretycznym – czy ma praktyczne znaczenie? Myślę, że jest to dosłownie kwestia życia i śmierci. Na oddziale intensywnej terapii, gdy pacjent jest podtrzymywany przy życiu dzięki

„Jednym z najbardziej przełomowych przykładów niekonwencjonalnego myślenia Ernsta Pöppela oraz jego niezależności od utartych paradygmatów było opisanie zjawiska ślepowidzenia...”

aparaturze, decyzja o jej odłączeniu zależy od oceny, czy pacjent ma świadomość.

Przez dziesięciolecia uwaga i świadomość traktowane były niemal jak synonimy. Jednym z najbardziej przełomowych przykładów niekonwencjonalnego myślenia Ernsta Pöppela oraz jego niezależności od utartych paradygmatów było opisanie zjawiska „ślepowidzenia” – później określanego jako „paradoks Pöppela”. To odkrycie zasadniczo

zmieniło naukowe rozumienie relacji między przetwarzaniem wzrokowym a świadomością. Ernst Pöppel i jego współpracownicy badali pacjentów, którzy doznali uszkodzeń pierwotnej kory wzrokowej, co prowadziło do obszarów ślepoty. Ówczesna wiedza zakładała, że pacjenci są w tych obszarach całkowicie niewidomi. Tymczasem E. Pöppel zaobserwował, że pacjenci potrafili skierować wzrok lub wskazać źródło światła znajdujące się w „ślepych” polu

„To, co oznacza dla mnie nagroda, to konieczność sprostania temu wyzwaniu i podążania tą drogą w przyszłości. Tak więc to przyszłość może ewentualnie potwierdzić przeszłość”

- mimo iż twierdzili, że go nie widzą. To resztkowe widzenie oznacza, że mózg przetwarza znaczną część informacji wzrokowych poniżej progu świadomości, zanim dotrą one do świadomej percepcji. Odkrycie to doprowadziło do przededefiniowania szlaków wzrokowych - sugerując, że starsze ewolucyjnie drogi nadal mogą kierować zachowaniem oraz orientacją przestrzenną.

Obecnie prace Ernsta Pöppela koncentrują się wokół percepcji sztuki, motywowane przekonaniem, że sztuka i nauka są komplementarne. Dla mózgu, który najczęściej „słucha” jedynie odpowiedzi na własne pytania, sztuka - zwłaszcza współczesna sztuka abstrakcyjna - jest czymś, o co mózg zwykle sam nie pyta. Odpowiedź na te niezadane pytania okazuje się często zaskoczeniem, co prowadzi do odmiennych sposobów przetwarzania obrazów surrealistycznych i realistycznych, a także do kulturowej modulacji na poziomie zachowania i mózgu, co wykazali Ernst Pöppel jego współpracownicy.

Jego dążenie do zapewnienia trwałej i owocnej współpracy

humanistyki i nauki wymagało interdyscyplinarnego zaplecza organizacyjnego, które wówczas praktycznie nie istniało. Ta niezaspokojona potrzeba doprowadziła go do współzałożenia Human Science Center (HWZ) na Uniwersytecie Ludwika Maksymiliana w Monachium oraz Fundacji Parmenides, gdzie pełni funkcję dyrektora opowiadającego się za wyższością rozumu nad czysto analityczną racjonalnością. Jest także współzałożycielem Europejskiej Akademii Nauk i Sztuk oraz członkiem Narodowej Akademii Nauk Leopoldina i Academia Europea, a także wielu innych prestiżowych instytucji.

Nie jestem w stanie wymienić wszystkich działań, którym profesor Ernst Pöppel nadal się poświęca - właśnie otworzył nowe laboratorium w Szanghaju. Jest nie do zatrzymania - nie dajcie się zwieść jego wiekowi - posiada ciekawość i odwagę dziecka. Pozostaje naturalnym ambasadorem nauki - Mistrzem, który wypełnia intelektualną pustkę i rzeczywiście rozumie harmonię Pitagorejskiego Wszechświata.

Pomimo tak bogatej i różnorodnej drogi naukowej oraz wielu osiągnięć, profesor Ernst Pöppel pozostaje osobą skromną i mającą do siebie niezwykle dystans. Po otrzymaniu wyróżnienia „Kosmos Pitagorasa”, nadal zadając sobie pytanie, czy jego umysł i ciało nie dały się uwięzić - jak mówi motto wyróżnienia - w liście do profesora Stanisława Janeczko napisał: „...jestem ofiarą dziedzictwa ewolucyjnego, mojego osobistego ukształtowania, mojego ograniczonego języka, moich uprzedzeń. Nie ma wolności, by wykroczyć poza te granice. Jestem ofiarą samego siebie. Wyzwanie polega na tym, by te granice dostrzec. To, co oznacza dla mnie nagroda, to konieczność sprostania temu wyzwaniu i podążania tą drogą w przyszłości. Tak więc to przyszłość może ewentualnie potwierdzić przeszłość.” Te słowa Laureata są klamrą domykającą pobyt prof. Ernsta Pöppela na Politechnice Warszawskiej i wydarzenia zorganizowane z okazji wręczenia mu Wyróżnienia „Kosmos Pitagorasa”.

Profesor Ernst Pöppel otrzymał Wyróżnienie Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej „Kosmos Pitagorasa” 9 lutego 2026 r. W czasie wizyty

wyłosił odczyt pt. „Time windows: How the Brain makes Cognition possible” oraz wziął udział w panelu z serii Spotkania Otwartych Umysłów pt. „Brain Time and Aesthetics”.

Wyróżnienie Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej, jest przyznawane przez Radę Centrum Studiów Zaawansowanych na wniosek przewodniczącego Rady za szczególne zasługi dla środowiska naukowego. Za osiągnięcia w budowaniu efektywnych przestrzeni badawczych i przelamywanie granic poznania.

Wśród laureatów wyróżnienia są wybitne postaci świata nauki, architektury, medycyny i literatury: Prof. Krzysztof Maurin (2014), Prof. Marek Abramowicz (2015), Prof. Henryk Skarżyński (2016), Prof. Ian Stewart (2018), Prof. Andrzej Trautman (2019), Prof. arch. Marek Budzyński (2020), Prof. Władysław Findeisen (2022), Prof. Sir Michael Berry (2024) oraz Prof. Ernst Pöppel (2026).

{ Dr hab. Jacek Rogala

- obecnie pracuje w Centrum Wiarygodnej Sztucznej Inteligencji PW, wcześniej adiunkt na Wydziale Artes Liberales Uniwersytetu Warszawskiego. Współzałożyciel Centrum Badania Ryzyka Systemowego”. Ekspert w dziedzinie neurostymulacji i procesów poznawczych, wykorzystujący w swojej pracy metody sztucznej inteligencji. Jego zainteresowania badawcze koncentrują się wokół związków pomiędzy aktywnością struktur mózgu a zachowaniem. W szczególności interesuje go możliwość praktycznego zastosowania metody neuroobrazowania do detekcji zaburzeń aktywności mózgu. W obrębie jego zainteresowań są również badania nad wpływem sztuki na układ nerwowy i ludzką psychikę }

Inżynieria biomedyczna dyscypliną naukową

Rozwój inżynierii biomedycznej w ujęciu historycznym

Wprowadzenie

Ślady odnalezione na terenach starożytnych Chin, Grecji oraz Cesarstwa Rzymskiego wskazują, że już w dawnych epokach stosowano w medycynie proste rozwiązania techniczne. Do najczęściej wykorzystywanych należały drewniane protezy kończyn, sztuczne zęby oraz naturalna elektryczna stymulacja wykonywana za pomocą tzw. elektrycznych ryb, mająca na celu uśmierzanie bólu w różnych częściach ciała. Równolegle rozwijano metody uzyskiwania czystej wody przeznaczonej do dezynfekcji oraz celów spożywczych.

Poważny przełom nastąpił pod koniec XVIII wieku, kiedy Luigi Galvani, prowadząc badania na żabich udach, zaobserwował u nich skurcze mięśni wywoływane działaniem prądu elektrycznego generowanego przez bimetaliczne pręty, a także przez wyładowania atmosferyczne. Ustalił również, że fizjologiczny skurcz mięśnia powoduje powstanie w nim elektrycznej odpowiedzi. Odkrycia Galvaniego stały się fundamentem rozwoju nowoczesnych metod elektroterapii, w tym stymulacji serca, innych mięśni i nerwów, a także diatermii wykorzystywanej zarówno w termoterapii, jak i w cięciu tkanek za pomocą noży diatermicznych.



↑ Fot. 1 Dr Vladimir Zworykin

Kolejnym kamieniem milowym było odkrycie promieniowania X przez Wilhelma Röntgena (1895). Promieniowanie to w krótkim czasie znalazło zastosowanie w diagnostyce obrazowej – początkowo w postaci klasycznych zdjęć rentgenowskich, a później, wraz z rozwojem technologii komputerowych i obrazowania planimetrycznego, również w tomografii komputerowej tworzącej warstwowe, wirtualne przekroje tkanek. Na początku XX wieku, dzięki osiągnięciom Marii Skłodowskiej-Curie, do praktyki medycznej wprowadzono także izotopy promieniotwórcze i radioterapię, które do dziś stanowią narzędzia w leczeniu nowotworów.

Działalność międzynarodowa

Pod koniec lat 50. XX wieku dr Vladimir Zworykin – wybitny amerykański elektronik pochodzenia rosyjskiego – podkreślał, że rozwój medycyny powinien opierać się na rosnących możliwościach nowoczesnej elektroniki. W 1957 roku zainicjował spotkanie grupy naukowców, którego celem była wymiana informacji dotyczących zastosowań elektroniki w medycynie. Zworykin, pełniący wówczas funkcję honorowego wiceprezesa Radio Corporation of America oraz konsultanta Instytutu Rockefellera, doprowadził do powstania międzynarodowej sieci współpracy, która szybko przekształciła się w Międzynarodową Federację Elektroniki Medycznej (International Federation for Medical Electronics – IFME). Organizacja została założona we Francji, a w 1967 roku przyjęła nową nazwę: International Federation for Medical and Biological Engineering (IFMBE).

Jednym z podstawowych działań federacji stała się organizacja cyklicznych konferencji międzynarodowych. Od momentu powołania IFME w 1958 r. odbywały się one corocznie, od 1967 r. – co dwa lata, a od 1973 roku mają charakter trzyletniego cyklu.

W 1962 roku, cztery lata po powstaniu IFME, utworzono również International Organization for Medical Physics (IOMP), zrzeszającą fizyków

pracujących w medycynie. Choć obecnie organizacja ta funkcjonuje niezależnie, ściśle współpracuje z IFMBE. Obie instytucje działają pod auspicjami International Union for Physical and Engineering Sciences in Medicine (IUPESM) i od 1972 roku wspólnie organizują światowe kongresy *World Congress of Biomedical Engineering and Medical Physics (WCBEMP)*. Główne zadania IFMBE obejmują rozwój edukacji, szkolenia specjalistyczne oraz upowszechnianie wiedzy z zakresu inżynierii biomedycznej, technologii medycznych i inżynierii klinicznej.

Działalność na terenie Polski

Polska ma znaczący wkład w rozwój inżynierii biomedycznej. Politechnika Warszawska była pierwszą uczelnią na świecie, która już w 1946 roku – tuż po zakończeniu II wojny światowej – utworzyła na Wydziale Elektrycznym sekcję „Elektrotechnika Medyczna i Radiologia”. Stała się ona fundamentem kierunku kształcącego specjalistów przygotowanych do pracy z aparaturą medyczną. Inicjatorami tego przedsięwzięcia byli prof. Cezary Pawłowski, związany wcześniej z laboratorium Marii Skłodowskiej-Curie w Paryżu, oraz młodzi wówczas elektronicy – później wybitni specjaliści – prof. Juliusz Keller i doc. Stanisław Nowosielski.

Nowa specjalność wzbudzała duże zainteresowanie także za granicą, a absolwenci kierunku byli wysoko cenieni za umiejętność instalacji i naprawy aparatów rentgenowskich. W trudnych powojennych latach zainstalowali oni w Polsce około 120 aparatów rentgenowskich dostarczonych przez UNR-RA. Wielu z nich znalazło zatrudnienie w przemyśle jądrowym i Instytucie Radowym w Warszawie, a część aparatury opracowanej na Politechnice trafiła również do szpitali zagranicznych. Za konstrukcję stereowektokardiografu profesorowie Juliusz Keller i Jan Kwoczyński oraz dr Juliusz Ekiel otrzymali Nagrodę Państwową. W latach 70. i 80. XX wieku kierunki związane z inżynierią biomedyczną powstawały na kolejnych polskich uczelniach i w instytutach badawczych. W 1972 roku

z inicjatywy prof. M. Nałęcza utworzono Komitet Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN, a w 1975 roku – Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN. W 1977 roku powstał komitet Stowarzyszenia Elektryków Polskich zajmujący się tą problematyką, który w 1985 roku uzyskał afiliację IFMBE. W 1999 roku utworzono Polskie Towarzystwo Inżynierii Biomedycznej (PTIB), który również został afiliowany do IFMBE.

Obecnie na Politechnice Warszawskiej osiem wydziałów prowadzi badania z zakresu inżynierii biomedycznej w ramach programu Centrum Badań Przedklinicznych i Technologii (CePT-PW). Obejmują one m.in.: biomateriały i regenerację tkanek, analizę sygnałów z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, ocenę zagrożeń środowiskowych przy użyciu nowoczesnej aparatury inhalacyjnej oraz zastosowania magnetometrii atomowej w badaniach mózgu, serca, mięśni i narządów zmysłów. Realizowanych jest wiele innowacyjnych projektów biomedycznych obejmujących pełny zakres badań „od poziomu molekularnego do łóżka pacjenta”, które wyraźnie przyspieszyły rozwój inżynierii biomedycznej w Polsce.

Wnioski

Polska, jako pierwszy kraj na świecie kształcą inżynierów biomedycznych na poziomie akademickim, dysponuje dziś dużym potencjałem naukowym i kadrowym w tej dyscyplinie. Obserwujemy jej stabilny rozwój – zarówno po stronie kształcenia, jak i infrastruktury badawczej oraz komercjalizacji rozwiązań medtech. Konsorcjum Centrum Badań Przedklinicznych i Technologii (CePT), które skupia



↑ Rys. 2 Irena i Frédéric Joliot-Curie w Pracowni Fizycznej Instytutu Radowego w Warszawie w roku 1936, w środku prof. Cezary Pawłowski [5]

w Warszawie liczne centra naukowe i kilkadziesiąt laboratoriów jest opisywane jako największy kompleksowy ośrodek biomedyczny w Europie Środkowo-Wschodniej, nastawiony na szybki transfer wyników. Krajowy system medtech i urzędów medycznych również nie stoi w miejscu. Jednak pomimo rosnącej liczby firm i eksportu, przy etapowo wprowadzanych regulacjach unijnych MDR/IVDR, które stale podnoszą poprzeczkę jakości i bezpieczeństwa, wyzwaniem i kierunkiem na kolejne lata pozostaje budowanie i umacnianie przemysłu produkującego zaawansowaną aparaturę medyczną. Niniejszy tekst został opracowany na podstawie treści prezentowanych podczas Seminarium z cyklu *Horyzonty Dyscyplin Naukowych*, które odbyło się 21.11.2024. Jako moderator tamtego

spotkania oraz entuzjasta inżynierii biomedycznej, powyższym tekstem wprowadzam czytelnika do głównego tematu Seminarium, którym była współpraca pomiędzy lekarzami i inżynierami. Zapraszam do lektury artykułu „Współpraca lekarz-inżynier”, autorstwa prof. Marcela Młyńczaka.

| → zob. s. 27

BIBLIOGRAFIA

- [1] Meeting Challenges in Medicine & Health Care through Biomedical Engineering, a History of the IFMBE. Editors Jack Hopps, Masan Saito, Nandor Richter, International Federation for Medical and Biological Engineering, Amsterdam 1997, ISBN 4-9900638
- [2] Pawlicki G., Gwiazdowska B., Patko T., Chomicki O.A.: Organizacja fizyki medycznej i bioinżynierii na świecie W: Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000, t. 9 Biofizyka, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa 2002, s. 9-12. ISBN 83-87674-370
- [3] Maniewski R., Patko T.: Inżynieria medyczna W: Dzieje Medycyny w Polsce, red. Wojciech Noszczyk, t. 3 PZWL, Warszawa 2016, s. 391-398, ISBN 978-83-200-50691
- [4] Patko T., Golnik N.: Kształcenie i zadania inżynierów klinicznych. „Przegląd lekarski”, 2002, s. 59, 79-80
- [5] Gwiazdowska B., Bulski W., Pruszyński A., Totwiński J., Pol J Med Phys Eng 2007; 13(4)183-238



↑ Rys. 3 Uroczystość otwarcia klinicznej części Instytutu Radowego w Warszawie w maju 1932 roku. Maria Skłodowska-Curie sadi drzewo [5]

{ Prof. Tadeusz Patko – polski inżynier, profesor nauk technicznych o specjalności elektronika, elektronika medyczna, miernictwo elektryczne i elektroniczne, technika radiacyjna. Profesor zwyczajny na Wydziale Mechatroniki PW }

Współpraca lekarz-inżynier

Połączenie pracy środowiska medycznego z podejściem naukowo-projektowym jako droga do opracowywania innowacji technologicznych dla konkretnych potrzeb klinicznych

Współpraca między środowiskiem medycznym a inżynierskim staje się jednym z kluczowych czynników napędzających rozwój nowoczesnych technologii w ochronie zdrowia. Przyszłość medycyny opierać się będzie nie tylko na wiedzy klinicznej, ale również na innowacjach technologicznych. Połączenie specjalistycznej wiedzy klinicznej z podejściem badawczo projektowym inżynierów umożliwia tworzenie innowacyjnych rozwiązań sprzętowych i technologicznych, a także podnoszenie jakości rejestrowanych danych medycznych oraz pozyskiwanie nowych informacji z materiałów gromadzonych w rutynowej praktyce. To powinno pozwolić nie tylko na podniesienie efektywności diagnostyki, mniej inwazyjne zabiegi, ale także bardziej spersonalizowane podejście do pacjenta.

Artykuł przedstawia proces prowadzący od zidentyfikowania konkretnej potrzeby klinicznej, poprzez opracowanie prototypu, aż po jego wdrożenie w warunkach szpitalnych. Wskazuje również, jakie możliwości stwarzają nowoczesne modele sztucznej inteligencji, jaką rolę mogą odegrać w rozwoju tych rozwiązań. Na zakończenie omówione zostaną zarówno korzyści wynikające z takiej współpracy, jak i związane z nią wyzwania, w tym kwestie prawne oraz regulacyjne.

Wprowadzenie

W dobie dynamicznego rozwoju technologii współpraca pomiędzy lekarzami i inżynierami staje się kluczowa dla wszechstronnego postępu w opiece zdrowotnej. To stwierdzenie unaocznia lista 10 największych trendów prognozowanych na rok 2024 opublikowanych przez amerykańskiego Forbesa [1]:

- Generative AI
- Personalized Medicine
- Virtual Assistants
- Digital Twins
- IoT-Powered Virtual Hospitals & Telemedicine 2.0
- Preventive Healthcare
- Virtual And Augmented Reality
- 8 Elderly Care
- 3D Printing - Up To Organs
- Convergence Of Mental and Physical Healthcare Delivery

Dziesięć wątków to jednoznaczny przykład tematów badawczych, w których współpraca pomiędzy lekarzem i inżynierem jest nie tylko nieunikniona, ale także bez niej te trendy w ogóle nie mogłyby się wydarzyć.

Co do tej współpracy mogą wnieść lekarze, a co inżynierowie?

Zaczynając od lekarzy, wymienilibym przede wszystkim specjalistyczną wiedzę oraz praktyczne doświadczenie wynikające z codziennego kontaktu z pacjentami, z czego rodzi się tzw. *unmet clinical need* (potrzeba jeszcze nie rozwiązana, bądź której rozwiązanie jest dalekie od optymalnego). Ponadto jest to również „warsztat kliniczny” (odpowiednie weryfikowanie, walidowanie, ocena bezpieczeństwa, aspekty etyczne, itd.).

Z kolei inżynierowie wnoszą szeroko pojęty „warsztat inżynierski” (metodologia, technologia, rozwiązania analityczne itd.), innowacyjne pomysły w odpowiedzi na zgłaszane potrzeby kliniczne, podejście uwzględniające integrowanie różnych technologii oraz ich optymalizację, a także zaawansowane metody analizy danych, w tym uczenia maszynowego.

Jako przykłady współpracy pomiędzy lekarzami a inżynierami zaprezentowane zostaną poniżej 4 wątki realizowane w ramach naszego zespołu naukowego, demonstrujące różne aspekty tej współpracy:

- rozwój urządzenia do ilościowej rejestracji aktywności oddechowej, Pneumonitor;
- automatyzacja diagnostyki chorób ucha środkowego u dzieci, w ramach projektu Otoscope;
- wykorzystanie metod analizy przyczynowości do rozszerzania wiedzy eksperckiej;
- analiza danych zbieranych w trakcie rutynowej pracy i wyciąganie na ich podstawie wniosków.

(W poszczególne fragmenty artykułu został wpleciony „fabularyzowany dialog” pomiędzy lekarzem a inżynierem).

Pneumonitor

Lekarz: Czy istnieje możliwość rejestracji aktywności oddechowej bez konieczności stosowania maski lub kaniuli donosowej?

Inżynier: Tak, jest kilka opcji. Jedną z nich jest zastosowanie metody pneumografii impedancyjnej.

Odpowiedź ta nie była oczywista. Wymagała przeglądu literatury i analizy wad oraz zalet różnych rozwiązań. Ostatecznie wybrano metodę pneumografii impedancyjnej, rejestrującą zmiany impedancji elektrycznej klatki piersiowej odpowiadające zmianom objętości powietrza w płucach, przy zastosowaniu konkretnej konfiguracji elektrod.

W toku pracy nad kolejnymi wersjami urządzeń zaprojektowanych na Politechnice Warszawskiej - Pneumonitorów - powstało kilka ich wersji [2-3]. Kolejne wersje urządzenia powstawały w odpowiedzi na nowe potrzeby praktyczne: od sportowców, przez monitorowanie snu, aż po miniaturyzację dla komfortu pacjentów.

Były one szeroko wykorzystywane, m.in. w trakcie badań wstępnych polskich olimpijczyków przed olimpiadami w Rio de Janeiro (2016) i Tokio (2021).

Wersja druga (Rys. 1) przygotowana była głównie z myślą o monitorowaniu sportowców, natomiast wersja trzecia (Rys. 2) integrowała również rejestrację sygnałów z pulsoksymetru, dzięki



↑ Rys. 1 Pneumonitor 2 [3]



↑ Rys. 2 Pneumonitor 3 [3]

czemu mogła być również wykorzystana do rejestracji w trakcie snu.

Obecnie opracowywana jest zminiaturyzowana wersja czwarta urządzenia, przygotowana w formie *patch* do przyklejenia na klatkę piersiową, bez konieczności stosowania przewodów do poszczególnych elektrod, co znacznie poprawi komfort użytkownika, jak również zmniejszy liczbę artefaktów ruchowych.

Lekarz: *Czy można wykorzystać Pneumonitor do rejestracji parametrów ilościowych?*

Inżynier: *Tak!*

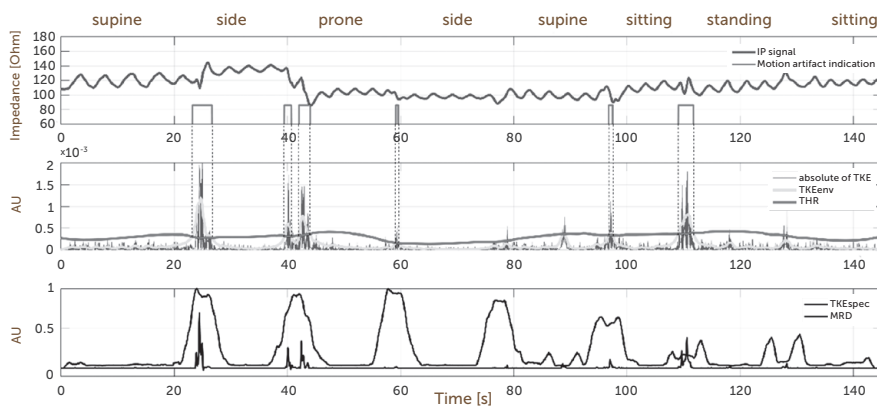
Naturalnym następstwem było zwalidowanie urządzenia, zarówno pod kątem rejestracji aktywności oddechowej, jak również sygnału jednocanalowego EKG, które urządzenie również rejestruje z wykorzystaniem tego samego zestawu elektrod.

W toku licznych, opisanych już testów walidacyjnych, udało się potwierdzić poprawność rejestracji zarówno parametrów objętościowych, jak i przepływowych, parametrów zmienności rytmu serca, a także wykorzystania tego urządzenia w badaniach u dzieci (jako że po wstępnych analizach wśród sportowców naturalnym krokiem było sprawdzenie, czy te same metody można zastosować w grupie pediatrycznej) [4-8].

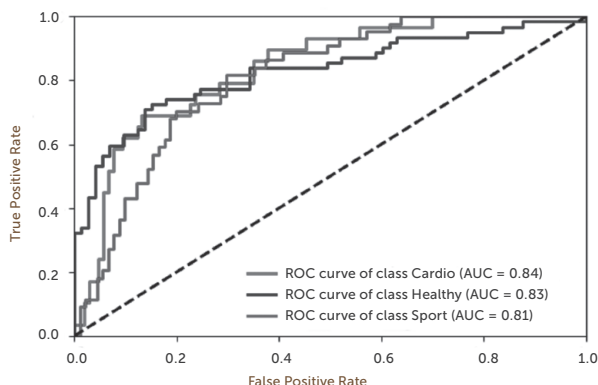
Lekarz: *Czy Pneumonitor można użyć w warunkach ambulatoryjnych?*

Inżynier: *Tak, ale trzeba mieć na uwadze możliwość wystąpienia artefaktów ruchowych. Możemy je jednak wykrywać.*

Konsekwencją tych badań była chęć użycia rozwiązania w warunkach ambulatoryjnych. Należy mieć jednak wówczas na uwadze możliwość wystąpienia artefaktów ruchowych. Aby sobie z nimi radzić, opracowany został algorytm bazujący na rejestrowanych sygnałach, w tym z akcelerometru, który również znajduje się w urządzeniu [9].



↑ Rys. 3 Działanie algorytmu przedstawione na przykładowych sygnałach z zaznaczonymi artefaktami ruchowymi [9]



← Rys. 4 Krzywe ROC dla klasyfikacji poszczególnych grup dla najlepszego zbioru danych [13]

Lekarz: *Rozszerzmy analizy sportowe o parametry oddechowe!*

Inżynier: *Spróbujmy! Można ponadto rozważyć uwzględnienie interakcji pomiędzy układami.*

Pomysł polegał na tym, aby rozszerzać zazwyczaj stosowane analizy oparte o parametry wyznaczone jedynie z sygnału EKG parametrami oddechowymi. Zaproponowane zostało uwzględnienie parametryzacji interakcji pomiędzy układem krążeniowym oraz oddechowym.

Jako bazę do porównania zastosowano szeroko stosowane i opisywane w literaturze parametry z domen czasowej i częstotliwościowej [10-11]. Problem został postawiony tak, aby sprawdzić, na ile można wykorzystać te parametry, aby dokonać klasyfikacji sportowców na poszczególne grupy, w zależności od komponenty statycznej i dynamicznej wysiłku fizycznego dla konkretnej dyscypliny sportowej, którą ci sportowcy uprawiają.

Z wykorzystaniem dotychczas stosowanych parametrów dokładność dla takiego zadania wyniosła 63,3%, natomiast dla tego samego zbioru z dodatkowymi parametrami oddechowymi oraz uwzględniającymi interakcje pomiędzy układami, dokładność ta została zwiększona do 83,3% [12].

Ten pomysł był kontynuowany. Na nowych danych sprawdzona została klasyfikacja grupy pediatrycznej, gdzie poszczególne osoby zostały podzielone na grupy tzw. *Cardio* (osoby ze schorzeniami kardiologicznymi), *Healthy* (osoby sklasyfikowane jako zdrowe) oraz *Sport* (takie, które odpowiadają klasyfikacji międzynarodowej jako wyczynowo uprawiające sport).

Celem było ustalenie najlepszego zbioru parametrów do monitorowania w trakcie okresu treningowego lub rehabilitacyjnego, a grupa analizowanych parametrów została rozszerzona o domenę przyczynową.

Lekarz: *Czy można byłoby wykorzystać rejestrację mechaniczną oddechu do wyznaczenia progu przemiany beztlenowej bez oznaczeń mleczanów z krwi?*

Inżynier: *Przeanalizujmy dane z rejestracji prób wysiłkowych na cykloergometrze.*

Sportowcy rutynowo zapraszani do laboratorium wykonywali próby

wysiłkowe. Ich celem było między innymi wyznaczenie progu przemiany beztlenowej, na podstawie którego można podejmować decyzję odnośnie do projektowania treningu. Standardowo powinno się do tego celu rejestrować gazy oddechowe z zastosowaniem maski, jak również oznaczać mleczany z krwi. Jest to uciążliwe dla operatorów i nie jest również traktowane jako komfortowe dla sportowców.

Zaplanowane zostały rejestracje z wykorzystaniem Pneumonitorów. Po ich zebraniu i przeanalizowaniu, zaproponowany został algorytm, dla którego niezależną od sportowca informacją „wejściową” było obciążenie indeksowane do masy ciała, drugą zależną był natomiast wprowadzony parametr VENT będący iloczynem chwilowej częstotliwości oddechowej oraz względnej objętości oddechowej. W trakcie próby wysiłkowej charakter tej krzywej ulegał zmianie, co było interpretowane jako proponowany próg przemiany beztlenowej, wyznaczany w sposób pośredni jedynie na podstawie czynności mechanicznej płuc. Rysunek 5 prezentuje dane dla jednej z badanych osób [14].

Lekarz: Jak poradzi sobie Pneumonitor w warunkach dynamicznych, ale poza laboratorium?

Inżynier: Sprawdzimy potencjalnie najtrudniejsze warunki, tzn. w pełnym kombinezonie kosmicznym.

W ramach eksperymentu *Lunar Expedition One* na lotnisku w Pile zbudowany został habitat imitujący warunki na stacji kosmicznej na księżycu. We współpracy z Europejską Agencją Kosmiczną zorganizowany został eksperyment

polegający na wykorzystaniu Pneumonitorów podczas różnych aktywności, również uwzględniających tzw. aktywności poza stacją (EVA, *extra-vehicular activities*), w pełnych kombinezonach.

Analizowane były sygnały m.in. podczas skłonów, czy EVA. Kolejne osoby były porównywane z wynikami uzyskiwanymi przez sportowców, a na tej podstawie kierownik ekspedycji miał możliwość oceny, które osoby powinny być wybierane do wykonywania odpowiednich czynności. Pomiar te potwierdziły możliwość zastosowania Pneumonitorów również w takich warunkach.

Otoscope

Kolejnym przykładem współpracy lekarza i inżyniera jest diagnostyka chorób uszu u dzieci – obszar, w którym również pojawia się potrzeba automatyzacji i nowych technologii.

Lekarz: Czy można zautomatyzować analizę obrazu w diagnostyce chorób uszu u dzieci?

Inżynier: Rozważmy zastosowanie metod uczenia maszynowego dla danych z kamery rejestrującej w podczerwieni.

automatyzacji diagnostyki), a także manualnie 1179 ramek pod kątem obszarów zainteresowania (niezbędne do procesu segmentacji).

Zaproponowany schemat algorytmu zakładał standardowe podejście stosowane w przypadku uczenia maszynowego, to znaczy tor przetwarzania rozpoczynała operacje preprocesingu: wyboru ramek, usuwanie widocznego wosku, włosów, rozmyć, obszarów niedoświetlonych. Następnie zaproponowano wyznaczenie zbioru różnych cech statystycznych dla wysegmentowanych obszarów. Na koniec testowane były różne modele w protokole z dziesięciokrotną walidacją krzyżową z podziałem danych na treningowe i testowe.

Dla zebranych danych sprawdzono, jakie byłyby poziomy dokładności dla takiego podejścia – progowanie oparte o średnią intensywność. Otrzymano dokładność na poziomie 73,4%.

Inżynier: Jak analiza dokonywana jest obecnie?

Lekarz: W oparciu o subiektywną wizualną ocenę

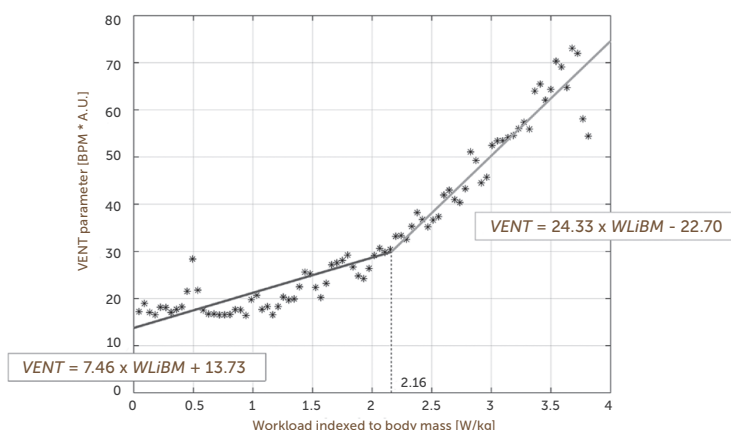
Diagnostyka chorób uszu u dzieci bazuje na obserwacji obrazu za błoną bębenkową w świetle widzialnym, bądź podczerwonym, w poszukiwaniu płynów. W ramach laboratorium na Stanford University skonstruowana została pilotażowa kamera, która pozwalała na rejestrację danych zarówno w świetle widzialnym, jak i w świetle podczerwonym [16].

W badaniach pilotażowych zarejestrowano dane u 30 pacjentów z określeniem kadru o najlepszej jakości (do

Następnie przystąpiono do optymalizacji. W pierwszym kroku zamieniono progowanie na prosty las losowy, co pozwoliło na poprawę dokładności do poziomu 77,5%. W drugim pozostawiono metodę lasu losowego, ale pojedynczy parametr opisujący średnią intensywność zastąpiono zbiorem różnych parametrów. Uzyskano dokładność na poziomie 95,8%.

Te obliczenia wymagały jednak jeszcze arbitralnego wskazania kadru o najlepszej jakości, dla którego wyznaczane byłyby określone parametry. Jednak zamiast próby automatycznego znalezienia „najlepszego” kadru, skupiono się na automatyzacji segmentacji obszaru zainteresowania z różnych kadrów fragmentu nagrania opisanego jako najlepszy pod kątem jakości wideo.

Zastosowany został algorytm segmentacji semantycznej oparty o konwolucyjny enkoder-dekoder (rodzaj sztucznej sieci neuronowej do analizy obrazu). Po powtórzeniu analizy z wykorzystaniem oznaczeń obszarów zainteresowania uzyskano dla ostatniego analizowanego przypadku (zbiór parametrów + las losowy) dokładność na poziomie 89,1% - niższą od wcześniej analizowanego przypadku, jednak uzyskaną w procesie niewymagającym od lekarza wskazania kadru o najlepszej



↑ Rys. 5 Przykładowa prezentacja wyznaczenia punktu przemiany beztlenowej na podstawie pomiarów mechaniki oddechowej podczas próby wysiłkowej [14]

jakości oraz manualnie zaznaczonego obszaru zainteresowania.

Analiza przyczynowości

Lekarz: Interesuje nas personalizacja podejścia do zawodnika, ale większość analiz opiera się jedynie na analizie korelacji.

Inżynier: Można uzupełnić analizę (choćby na potrzeby projektowania kolejnego badania) o tzw. odkrywanie ścieżek przyczynowych.

W wielu publikacjach związku pomiędzy różnymi zmiennymi analizowane są jedynie z wykorzystaniem liniowej korelacji. Ponieważ analizy korelacyjne nie pozwalają ustalić kierunku zależności, sięgnęliśmy po metody odkrywania ścieżek przyczynowych (*causal discovery*).

Podejścia te nawet dla danych czysto obserwacyjnych pozwalają na wyestymowanie diagramu powiązań przyczynowych. Następnie taki diagram może zostać skonfrontowany z wiedzą ekspercką oraz użyty do zaplanowania badań prospektywnych, które poprzez wykorzystanie konkretnych interwencji mogłyby potwierdzić lub wykluczyć występowanie zależności przyczynowej.

Takie podejście zostało zaproponowane do analizy bazy danych zebranej na Warszawskim Uniwersytecie Medycznym [17]. Zawierała ona wyniki ankiet przeprowadzanych u dzieci i nastolatków z różnymi chorobami serca, uwzględniających różne czynniki wpływające na aktywność sportową.

Głównym celem było znalezienie takich czynników, takich aspektów życia tych dzieci i nastolatków, nad którymi pracę można by było zasugerować zarówno rodzicom, jak i dzieciom (interwencja na czynniku przyczynowym), tak aby doprowadzić ostatecznie do zwiększenia aktywności sportowej (efekt).

Zastosowano podejście GFCI (z ang. *Greedy Fast Causal Inference*). Co ciekawe, po konfrontacji z danymi literaturowymi, wprowadzono do diagramu jedynie niewiele zmian.

Lekarz: Czy przyczynowo można analizować również sygnały z rejestracji różnych układów?

Inżynier: Tak, podstawową grupę metod zaproponował Clive Granger, choć ich ograniczeniem jest bazowanie na modelu liniowym.

Poprzednie zagadnienie opierało się o analizę zbiorów danych, w tym przedmiotem badań miały być sygnały fizjologiczne.

W tym kontekście w cyklu publikacji zaproponowane zostały różne poziomy analizy:

1. *Causal paths*: poziom globalny (dla całej rejestracji), niezależny od zmienności w czasie, na podstawie wyznaczonych dla całego protokołu pomiarowego parametrach, bazujący na Causal Discovery [18].
2. *Causal links*: poziom globalny (dla całej rejestracji), uwzględniający

zmienność w czasie, wykorzystujący zarejestrowane sygnały, bazujący na Granger Causality [19].

3. *Temporal orders*: poziom lokalny (dla fragmentów rejestracji), bazujący na sygnałach analizowanych w krótkich oknach czasowych, w celu zbadania wpływu warunków krótkookresowych na relację między sygnałami [20].

Podstawową grupę metod zaproponował w ekonomii Cliff Granger. Podejście to bazuje na modelowaniu liniowym i ocenie poprawy jakości predykcji sygnału w przypadku, gdy do tego zadania wykorzystywany jest również potencjalny sygnał przyczynowy. Jednak o ile w ekonomii można dokonać takiego uogólnienia, to w kontekście analiz fizjologicznych stanowi to zbyt duże ograniczenie.

Zaproponowaliśmy zastąpienie stosowania podejścia liniowego użyciem modelu głębokich sieci neuronowych. Dla danych symulowanych (o znanej relacji przyczynowej pomiędzy sygnałami) sprawdzono wyniki dla podejść liniowego oraz nieliniowego, potwierdzając większe możliwości tych drugich. Ponadto powstał moduł Python, z którego skorzystało już wielu niezależnych badaczy, również w innych dziedzinach (90 cytowań na 30 kwietnia 2026 r.) [21].

Analiza danych

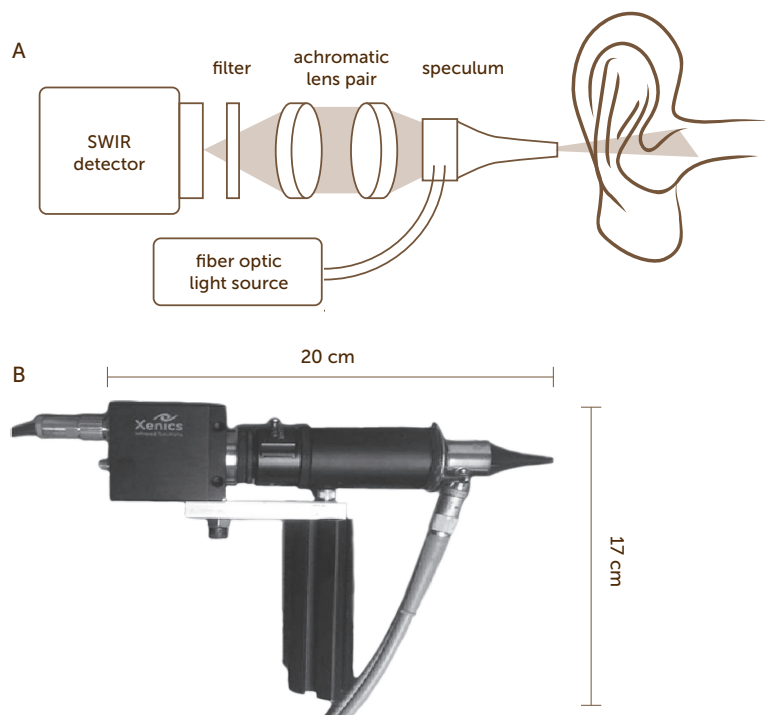
Lekarz: Mamy zebrane liczne dane, ale Excel i Statistica są niewystarczające do ich analizy.

Inżynier: Przeanalizujemy je w R i/lub Pythonie.

W ramach współpracy z Centralnym Ośrodkiem Medycyny Sportowej opublikowane zostały wyniki dwóch prac przedstawiających bardzo ciekawe wyniki.

Pierwszy zbiór danych dotyczył stężenia witaminy D u sportowców, a także wpływu wyjazdu do „ciepłych krajów” w zimie oraz suplementacji. Po pierwsze zaobserwowano spodziewane wahania sezonowe związane z porami roku. Po drugie, występowały różnice pomiędzy sportowcami reprezentującymi dyscypliny halowe i te uprawiane na otwartym powietrzu, ale okazały

← Rys. 6 Konstrukcja kamery na podczerwień do rejestracji wideo badania ucha środkowego u dzieci [16]



się one nie być statystycznie istotne na wiosnę. Ponadto, wyjazd „do ciepłych krajów” spowodował średnio około dwukrotnie wyższy wzrost stężenia witaminy D w porównaniu do jej suplementacji, której efekt był również statystycznie istotny [22].

Obserwacje te stanowiły następnie inspirację dla dalszych decyzji dotyczących projektowania treningu.

Inną inspirację przyniosła pandemia COVID-19. Główne pytanie, które się wówczas pojawiło, brzmiało: czy z perspektywy sportowców sensownie jest poddać się szczepieniu, mając na uwadze utratę kilku planowych dni treningu, czy jednak „lepsze” byłoby „ryzykowanie” choroby i dłuższej rekonwalescencji, jednak bez jakiegokolwiek przerwy w treningu w przypadku niezachorowania.

Dane zbierane były tuż po wejściu szczepień na COVID-19. Udało się jednoznacznie pokazać, że średnia liczba dni utraconych po pierwszym szczepieniu (przy którym objawów było więcej) była na poziomie około 3-4 dni, z drobnymi różnicami w zależności od szczepionki. Natomiast w przypadku choroby średnia liczba dni utraconych była na poziomie dziewięciu.

Uwzględniając dane dotyczące prevalencji choroby wyniki te jednoznacznie wskazały zasadność wybrania szczepienia i uwzględnienie go w planie treningowym. Takie rekomendacje były następnie prezentowane zawodnikom i trenerom [23].

Wyzwania regulacyjne

Opisane rozwiązania sprzętowe zanim trafią do praktyki klinicznej, muszą „zmierzyć się” z wymogami regulacyjnymi.

Wdrażanie innowacyjnych wyrobów medycznych wymaga spełnienia rygorystycznych wymogów prawnych i norm jakościowych. Kluczowe znaczenie ma zgodność z rozporządzeniem MDR 2017/745 oraz, w Polsce, ustawą o wyrobach medycznych, które określają procedury oceny zgodności i wymagania dotyczące przeprowadzenia badań klinicznych dla wyrobów od klasy IIa i wyższej.

Istotnym elementem jest również tzw. POCF (*Post-marketing Clinical Follow-up*), czyli monitorowanie bezpieczeństwa i skuteczności wyrobu po jego wprowadzeniu na rynek.

Dodatkowym wyzwaniem jest ograniczona dostępność jednostek notyfikowanych, co wydłuża proces certyfikacji i zwiększa koszty.

W obszarze danych medycznych pojawiają się nowe regulacje, takie jak *European Health Data Space (EHDS)*, które bazują na *GDPR, Data Governance Act i AI Act*, wprowadzając dodatkowe obowiązki w zakresie ochrony danych i transparentności algorytmów.

Podsumowanie

Przedstawione przykłady pokazują, że współpraca lekarzy i inżynierów nie jest już opcją, lecz koniecznością w nowoczesnej medycynie. Integracja wiedzy klinicznej z kompetencjami inżynierskimi umożliwia tworzenie rozwiązań, które poprawiają diagnostykę, zwiększają bezpieczeństwo terapii i wspierają personalizację leczenia.

Wyzwania regulacyjne i etyczne pozostają istotną barierą, ale jednocześnie stanowią gwarancję jakości i bezpieczeństwa pacjentów. Zatem aby osiągnąć sukces na tak wielu poziomach kluczowe jest budowanie interdyscyplinarnych zespołów, rozwój kompetencji w zakresie prawa medycznego i zarządzania danymi oraz otwartość na nowe technologie, w tym sztuczną inteligencję. Przyszłość medycyny to nie tylko innowacje technologiczne, ale przede wszystkim efektywna komunikacja i współpraca między różnymi środowiskami naukowymi i praktykami.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2023/10/03/the-10-biggest-trends-revolutionizing-healthcare-in-2024/> (data dostępu: 30 września 2025 r.)
- [2] Mtyrńczak, M., et al. Ambulatory impedance pneumography device for quantitative monitoring of volumetric parameters in respiratory and cardiac applications, *Computing in Cardiology*, 2014
- [3] Mtyrńczak, M., et al. Ambulatory devices measuring cardiorespiratory activity with motion, *BIOSTEC*, 2017
- [4] Gašior, J.S., et al. Validity of the Pneumonitor for Analysis of Short-Term Heart Rate Asymmetry Extended with Respiratory Data in Pediatric Cardiac Patients, *Journal of Clinical Medicine* 13.16 (2024): 4654
- [5] Gašior, J.S., et al. Validity of the Pneumonitor for RR intervals acquisition for short-term heart rate variability analysis extended with respiratory data in pediatric cardiac patients, *Polish Heart Journal* 81.5 (2023): 491-500
- [6] Mtyrńczak, M., et al. Assessment of calibration methods on impedance pneumography accuracy, *Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik* 61.6 (2016): 587-593
- [7] Mtyrńczak, M., et al. Decomposition of the cardiac and respiratory components from impedance pneumography signals, *BIOSIGNALS*, 2017
- [8] Mtyrńczak, M., et al. Flow parameters derived from impedance pneumography after nonlinear calibration based on neural networks, *BIOSIGNALS*, 2017
- [9] Mtyrńczak, M., et al. Motion artifact detection in respiratory signals based on Teager energy operator and accelerometer signals, *IFMBE*, 2017

[10] Plews, Daniel J., et al. "Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring." *Sports medicine* 43.9 (2013): 773-781

[11] Bellenger, Clint R., et al. "Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: a systematic review and meta-analysis." *Sports medicine* 46.10 (2016): 1461-1486

[12] Mtyrńczak, M., *Electroimpedance method for quantitative assessment of respiratory system activity*, PhD Thesis, 2018

[13] Rosoń, Maciej, et al. "Machine Learning Classification of Pediatric Health Status Based on Cardiorespiratory Signals with Causal and Information Domain Features Applied-An Exploratory Study." *Journal of Clinical Medicine* 13.23 (2024): 7353

[14] Mtyrńczak, M., et al. Respiratory activity during exercise - a feasibility study on transition point estimation using impedance pneumography. *Sensors*, 21, 6233 (2021), 1-14

[15] Mtyrńczak, M., et al. Cardiorespiratory profiling during simulated lunar mission using impedance pneumography. *Biomedical Signal Processing and Control*, 51 (2019), 216-221

[16] Kashani, R.G., et al. Shortwave infrared otoscopy for diagnosis of middle ear effusions: A machine-learning-based approach. *Scientific Reports* 11.1 (2021): 12509

[17] Gašior, J.S., et al. The discovery of a data-driven causal diagram of sport participation in children and adolescents with heart disease: a pilot study. *Front. Cardiovasc. Med.* 10:1247122 (2023)

[18] Mtyrńczak, M., et al. Discovery of causal paths in cardiorespiratory parameters: a time-independent approach in elite athletes. *Frontiers in Physiology*, 9 (2018), 1455

[19] Mtyrńczak, M., et al. Cardiorespiratory temporal causal links and the differences by sport or lack thereof. *Frontiers in Physiology*, 10 (2019), 45

[20] Mtyrńczak, M. Temporal orders and causal vector for physiological data analysis. *42nd Annual International Conference of the IEEE EMBC* (2020)

[21] Rosoń, M., et al. Granger causality test with nonlinear neural-network-based methods: Python package and simulation study. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 216 (2022), 106669

[22] Krzywański, J., et al. Seasonal vitamin D status in Polish elite athletes in relation to sun exposure and oral supplementation. *PLoS one* 11.10 (2016): e0164395

[23] Krzywański, J., et al. Vaccine versus infection-COVID-19-related loss of training time in elite athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport* 25.12 (2022): 950-959

ODNAWIALNE NOŚNIKI ENERGII NA POLITECHNICE WARSZAWSKIEJ

czyli, co absolwenci Wydziału Chemicznego oraz Wydziału Inżynierii Chemicznej i Procesowej o biopaliwach wiedzieć będą?

Trwająca od kilku dekad walka z globalnym ociepleniem wymusiła poszukiwanie alternatywnych źródeł energii, których zastosowanie miało przynajmniej częściowo zahamować niekorzystne zmiany klimatyczne. To, co w spokojnych czasach było jedynie ambitnym planem utrzymania dobrostanu środowiska naturalnego Ziemi, w dobie przybierającego coraz ostrzejsze formy światowego kryzysu w zakresie swobodnego dostępu do surowców energetycznych staje się dla państw – szczególnie tych nieposiadających własnych zasobów ropy naftowej – działaniem absolutnie niezbędnym, aby zapewnić minimum bezpieczeństwa gospodarce.

Wychodząc naprzeciw potrzebie uwzględnienia w kształceniu studentów tak ważnych zagadnień społecznych i ekonomicznych, Wydział Chemiczny oraz Inżynierii Chemicznej i Procesowej zrealizowały wspólnie projekt pt. „Technologie wytwarzania biopaliw jako element współczesnego kształcenia studentów na kierunkach Inżynieria Chemiczna i Procesowa, Biotechnologia oraz Technologia Chemiczna”, nr CPR-IDUB/303/Z15/2024, przyznany w ramach konkursu IDUB na granty dydaktyczne. W wyniku jego realizacji do programu wszystkich kierunków studiów prowadzonych na obu wydziałach wprowadzone zostały ćwiczenia laboratoryjne, w ramach których studenci zapoznają się z elementami nowoczesnych technologii otrzymywania nośników energii ze źródeł odnawialnych.

Pierwszym z nich jest technologia syntezy biodiesla, czyli estrów metyloowych kwasów tłuszczowych (FAME – *fatty acid methyl esters*). Można powiedzieć, że jest to sztandarowy przykład udanego zastępowania paliw kopalnych surowcami odnawialnymi – w oczywisty sposób wpływającego korzystnie na ograniczenie emisji CO₂ – a jednocześnie stanowiącego cenną alternatywę w przypadku trudności z dostępem do paliw pochodzących z ropy naftowej. Technologia otrzymywania FAME stała się w pewnym sensie ofiarą własnego sukcesu, gdyż zapotrzebowanie na przerabiany surowiec, tj. oleje roślinne, stało się w pewnym momencie tak duże, że pojawiły się pytania o ich dostępność oraz możliwy wzrost cen. W odpowiedzi na te uzasadnione

obawy obecnie zalecaną praktyką w branży biodiesla jest maksymalizacja udziału tłuszczów nieprzeznaczonych do celów spożywczych, np. olejów posmażalniczych czy produktów odpadkowych o niskiej jakości.

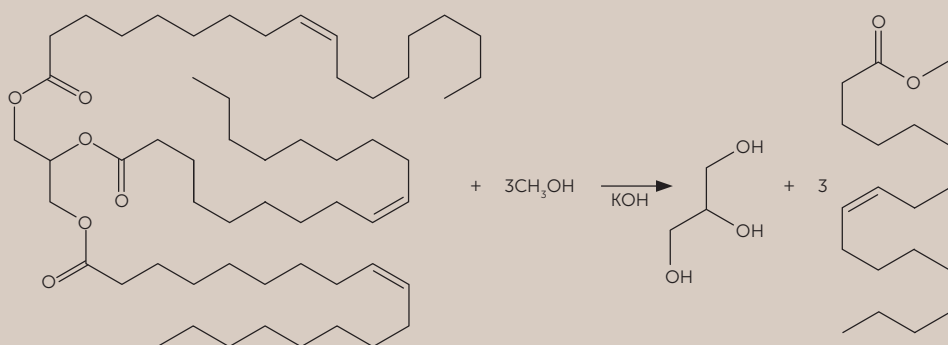
Wracając jednak do meritum, czyli syntezy FAME: z chemicznego punktu widzenia jest to reakcja transestryfikacji oleju z prostym alkoholem – metanolem lub etanolem – katalizowana silną zasadą, np. wodorotlenkiem potasu. W naszej strefie klimatycznej podstawowy surowiec do przemysłowego otrzymywania biodiesla (w Polsce prowadzonego m.in. przez Orlen Południe – rafinerie w Trzebini i Jedliczu) stanowi olej rzepakowy. Jako produkt naturalny jest on mieszaniną wielu estrów, jednak upraszczając, zachodzącą reakcję można zapisać jako transestryfikację trioleinianu gliceryny (Rys. 1).

Do wykonania ćwiczenia używany jest zwykły olej jadalny, więc otrzymany produkt stanowi mieszaninę estrów metyloowych wielu kwasów tłuszczowych – dokładnie tak jak w przypadku procesu wielkoskalowego. Ograniczony do 6 godzin czas trwania ćwiczenia oraz możliwości sprzętowe wymuszają skrócenie lub pominięcie niektórych elementów analizy produktu, jednak studenci zapoznają się ze wszystkimi etapami obecnymi w przemysłowej wersji otrzymywania biodiesla. Wykonywany jest przede wszystkim pełen proces syntezy, obejmujący w szczególności reakcję transestryfikacji, neutralizację katalizatora oraz oczyszczanie surowego produktu metodą suchej rafinacji (Rys. 2). Aby ocenić jakość wyprodukowanego paliwa, studenci

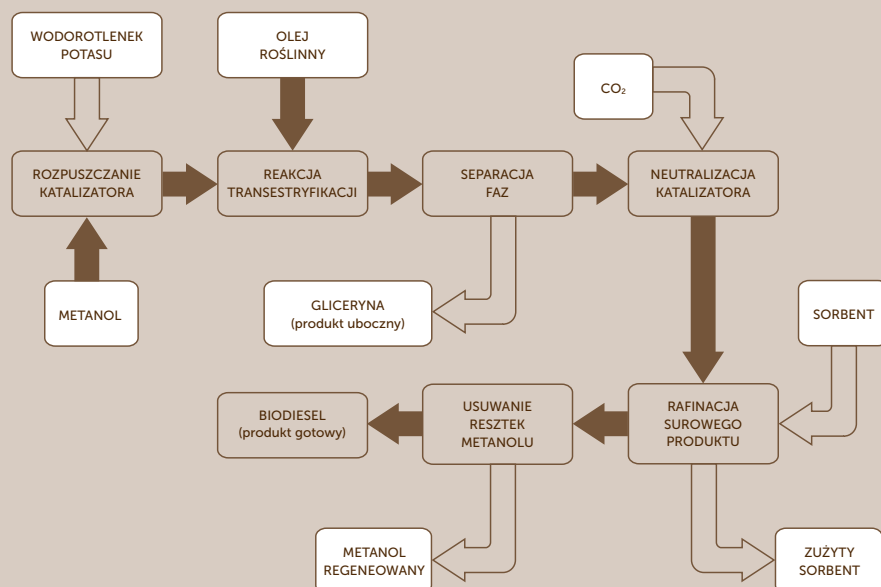
wykonywują pomiar gęstości, lepkości i liczby kwasowej gotowego wyrobu. Te trzy wielkości zostały wybrane z obszernej listy parametrów zawartych w obowiązujących przepisach – tj. Rozporządzeniu Ministra Przemysłu oraz Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 21 marca 2025 r. w sprawie wymagań jakościowych dla biopaliw ciekłych (Dz.U. 2025 poz. 426) – gdyż w prosty sposób pozwalają ocenić efekt, jaki przynosi przetworzenie zwykłego oleju w biodiesel.

Drugie ćwiczenie dotyczy technologii otrzymywania bioetanolu, ze szczególnym uwzględnieniem biopaliw II generacji wytwarzanych z surowców lignocelulozowych. Bioetanol jest jednym z najważniejszych ciekłych nośników energii odnawialnej, wykorzystywanym głównie jako dodatek do benzyn lub – w niektórych krajach – jako samodzielne paliwo silnikowe. Jego znaczenie w światowym bilansie energetycznym stale rośnie, co wynika zarówno z regulacji środowiskowych, jak i z dążenia do dywersyfikacji źródeł energii.

Wytwarzanie bioetanolu II generacji pokazuje zaawansowane technologicznie podejście do zagospodarowania biomasy odpadowej i pozostałości rolniczych, które nie konkurują z rynkiem żywności. Rozróżnienie bioetanolu na generacje wynika bezpośrednio z rodzaju zastosowanego surowca. Bioetanol I generacji produkowany jest z jadalnych surowców bogatych w skrobię, natomiast bioetanol II generacji opiera się na biomacie lignocelulozowej, czyli najbardziej rozpowszechnionej, a jednocześnie najtrudniejszej do przetworzenia niejadalnej frakcji biomasy roślinnej. Właśnie ta druga



↑ Rys. 1 Modelowa reakcja syntezy FAME



↑ Rys. 2 Schemat ideowy otrzymywania biodiesla



↑ Rys. 3 Główne etapy przetwarzania biomasy roślinnej w bioetanol II generacji

grupa technologii stanowi przedmiot ćwiczenia laboratoryjnego realizowanego w ramach projektu dydaktycznego. Biomasa lignocelulozowa obejmuje szeroki wachlarz materiałów pochodzenia roślinnego, takich jak słoma zbóż, resztki poźniwne, odpady z przemysłu drzewnego czy rośliny energetyczne. Jej powszechna dostępność, niski koszt oraz brak konkurencji z sektorem spożywczym czynią ją szczególnie atrakcyjnym surowcem dla przemysłu biopaliw. Jednocześnie złożona struktura chemiczna biomasy lignocelulozowej powoduje, że jej przetwarzanie wymaga zastosowania wieloetapowych i zaawansowanych technologicznie procesów. Podstawowymi składnikami biomasy lignocelulozowej są celuloza, hemicelulozy oraz lignina. Celuloza i hemicelulozy stanowią potencjalne źródło cukrów fermentowalnych, jednak ich ściśle powiązanie z ligniną sprawia, że bez odpowiedniej obróbki wstępnej są one słabo dostępne dla enzymów hydrolitycznych. Z tego względu kluczowym etapem technologii bioetanolu II generacji jest odpowiednie przygotowanie surowca (tzw. obróbka wstępna), poprzedzające właściwe procesy biokonwersji (Rys. 3).

W nowo utworzonym ćwiczeniu laboratoryjnym studenci zapoznają się z alkaliczną obróbką wstępną biomasy lignocelulozowej na przykładzie słomy kukurydzianej. Zastosowanie roztworu

wodorotlenku sodu w warunkach podwyższonego ciśnienia i temperatury prowadzi do częściowego usunięcia ligniny oraz do rozluźnienia struktury biomasy. Efektem tych zmian jest zwiększenie porowatości materiału oraz poprawa dostępności włókien celulozowych, co ma kluczowe znaczenie dla dalszych etapów procesu. Zastosowana metoda obróbki wstępnej pokazuje studentom, że nawet stosunkowo proste metody chemiczne mogą w istotny sposób zwiększyć efektywność późniejszych procesów enzymatycznych. W ujęciu dydaktycznym etap ten stanowi doskonały przykład powiązania zjawisk chemicznych i fizykochemicznych z praktycznymi aspektami inżynierii bioprosesowej.

Kolejnym elementem technologii bioetanolu II generacji, realizowanym w ramach ćwiczenia, jest hydroliza enzymatyczna frakcji stałej otrzymanej po obróbce wstępnej. Proces ten polega na katalitycznym rozkładzie polisacharydów do monosacharydów z wykorzystaniem specjalistycznych preparatów enzymatycznych. W praktyce przemysłowej oraz laboratoryjnej stosuje się kompleksy enzymów, które działają synergistycznie, umożliwiając efektywną depolimeryzację biomasy. Studenci prowadzą hydrolizę w kontrolowanych warunkach temperatury, pH i intensywności mieszania, obserwując wpływ tych parametrów na szybkość i wydajność procesu.

Pobieranie próbek w trakcie reakcji oraz ich dalsza analiza uczą planowania eksperymentu, pracy z materiałem biologicznym oraz interpretacji danych analitycznych.

Choć w ramach ćwiczenia nie przeprowadza się fizycznie procesu fermentacji alkoholowej, studenci na podstawie uzyskanych wyników wykonują obliczenia teoretycznego uzysku etanolu. Pozwala to zrozumieć zależności pomiędzy składem surowca, wydajnością poszczególnych etapów procesu a potencjalną ilością otrzymywanego biopaliwa. Takie podejście koresponduje z częścią dotyczącą biodiesla, w której również istotną rolę odgrywa ocena jakości i efektywności procesu technologicznego. Dodatkowo ćwiczenie pokazuje studentom, jak złożone i wieloetapowe mogą być procesy prowadzące do otrzymywania biopaliw z surowców odnawialnych.

Opracowane w ramach realizacji grantu dydaktycznego nowe ćwiczenia pokazują różne ścieżki technologiczne prowadzące do uzyskania odnawialnych nośników energii: chemiczną konwersję lipidów oraz biotechnologiczną konwersję biomasy lignocelulozowej. Tworzą tym samym spójny obraz nowoczesnych rozwiązań energetycznych, które wpisują się w ideę zrównoważonego rozwoju oraz gospodarki o obiegu zamkniętym. Jednocześnie stanowią ważny element kształcenia przyszłych inżynierów i biotechnologów, przygotowując ich do świadomego i odpowiedzialnego udziału w transformacji energetycznej. Z dydaktycznego punktu widzenia szczególnie istotne jest, że oba ćwiczenia odzwierciedlają rzeczywiste problemy i wyzwania przemysłowe. Studenci nie tylko wykonują zaplanowane procedury laboratoryjne, lecz także uczą się krytycznej analizy wyników, oceny efektywności procesów oraz formułowania wniosków w oparciu o dane eksperymentalne.

Projekt realizowany na kierunkach Inżynieria Chemiczna i Procesowa, Biotechnologia oraz Technologia Chemiczna (nr CPR-IDUB/303/Ż15/2024), przyznany w ramach konkursu na granty dydaktyczne w PW.

{ Dr inż. Tomasz Rowicki – Wydział Chemiczny PW, Dr hab. inż. Katarzyna Dąbkowska-Susfał – Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej PW }

Nowoczesna biomechanika „na własnej skórze”

Od teorii do praktyki na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa PW

Współczesne szkolnictwo wyższe stoi przed wyzwaniem nieustannego dostosowywania się do dynamicznie zmieniających się realiów technologicznych oraz oczekiwań rynku pracy. Tradycyjne metody wykładowe coraz częściej ustępują miejsca modelom opartym na aktywnym doświadczaniu i samodzielnym eksperymentowaniu. Doskonałym przykładem takiej transformacji jest projekt zrealizowany na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa (MEiL) Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem profesora uczelni, Cezarego Rzymkowskiego. Celem projektu, zatytułowanego „Unowocześnienie programu studiów z zakresu biomechaniki oraz biorobotyki, wdrożenie innowacyjnych metod kształcenia oraz utworzenie stanowisk laboratoryjnych”, było nie tylko doposażenie bazy sprzętowej, ale przede wszystkim zmiana filozofii nauczania przedmiotów związanych z inżynierią biomedyczną.

Nowatorskie podejście: laboratorium jako przestrzeń odkryć

Fundamentem projektu stało się przekonanie, że najskuteczniejszą formą nauki biomechaniki jest możliwość prowadzenia badań własnych. Wstępne reakcje studentów na możliwość poznawania mechanizmów funkcjonowania układu mięśniowo-szkieletowego człowieka „na własnej skórze” okazały się niezwykle entuzjastyczne, co potwierdziło słuszność obranej drogi. Zamiast analizować udostępnione dane, studenci zyskali narzędzia do rejestracji i interpretacji sygnałów z własnego ciała w czasie rzeczywistym. Takie podejście nie tylko zwiększa zaangażowanie, ale też buduje intuicję inżynierską, niezbędną przy projektowaniu nowoczesnych protez czy systemów rehabilitacyjnych.

W ramach projektu utworzono środowisko laboratoryjne, w którym studenci przestają być biernymi obserwatorami, a stają się aktywnymi uczestnikami eksperymentu – często pełniąc rolę zarówno badacza, jak i osoby badanej. Dzięki funduszom grantowym laboratorium wyposażono w zaawansowany, modułowy system

„Inżynier przyszłości to nie tylko teoretyk, ale praktyk potrafiący poruszać się w świecie danych i nowoczesnych sensorów”

pomiarowy. Studenci mają teraz bezpośredni dostęp do czujników EMG,

które rejestrują elektryczną aktywność mięśni, pozwalając na żywo obserwować reakcje organizmu na obciążenia czy zmęczenie. To jednak dopiero początek możliwości analitycznych, jakie otwiera przed nimi ten sprzęt. Zrozumienie biomechaniki wymaga bowiem spojrzenia holistycznego, dlatego system uzupełniono o goniometry do precyzyjnego pomiaru kątów w stawach oraz czujniki EKG, które monitorują pracę serca w korelacji z wykonywanym ruchem, a także system rejestracji i analizy ruchu (kamery 3D).

W ostatnim czasie zakupiono również (ze środków Wydziału MEiL) moduł do synchronizacji sygnałów elektrycznych i filmów z kamer, miniaturowe akcelerometry (umożliwiające zarówno rejestrację ruchu wybranych segmentów ciała, jak też drgań towarzyszących pracy mięśni), miniaturowe czujniki siły oraz czujniki do rejestracji sygnałów elektroencefalograficznych i elektrookulograficznych.

Kluczową innowacją dydaktyczną w tym projekcie jest integracja różnorodnych danych pomiarowych. W tradycyjnym nauczaniu studenci



EMG

m. prostownik nadgarstka
promieniowy krótki/długi

GONIOMETR
zgięcia w stawie łokciowym

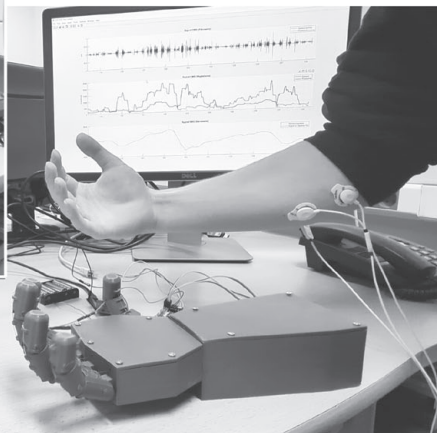
EMG

m. dwugłowy
ramienia

↑ Rys. 1 Testy pierwszych elementów zakupionej aparatury: czujników EMG i goniometrów



↓ Rys. 2 Prototyp protezy dłoni sterowanej sygnałami EMG – efekt pracy dyplomowej inżynierskiej: Jan Krawczyk, „Projekt i wykonanie mechatronicznej protezy przedramienia sterowanej sygnałami mioelektrycznymi”, Wydz. MEiL PW, Warszawa 2026



często analizują wyizolowane zjawiska, co utrudnia zrozumienie złożoności ludzkiej motoryki. Tutaj, dzięki specjalnym modułom do synchronizacji i bezprzewodowej transmisji, dane z różnych czujników, np. EMG, EKG oraz goniometrów, są zbierane jednocześnie. Obraz ten dopełnia platforma dynamometryczna, która wprowadza do analizy kinematycznej niezbędny element dynamiki – studenci mogą badać rozkład sił reakcji podłoża i przemieszczanie się środka nacisku podczas chodu czy skoków. Taka konfiguracja sprzętowa pozwala na poszukiwanie złożonych zależności między wykonywanymi aktywnościami człowieka, pracą poszczególnych układów oraz reakcjami fizjologicznymi.

Ciekawym elementem stanowisk laboratoryjnych jest wykorzystanie kamer z głębią ZED X współpracujących ze specjalistycznym komputerem NVIDIA ZED Box Orin NX,

dedykowanym do analiz z użyciem metod uczenia maszynowego. System ten pozwala na bezmarkerową rejestrację ruchu 3D. Zestaw ten, rozszerzony o czujniki mechanomiograficzne (MMG) w postaci miniaturowych akcelerometrów, jeszcze bardziej zwiększa precyzję klasyfikacji ruchu, na przykład przy wykorzystaniu sztucznej inteligencji do przewidywania intencji użytkownika.

Od studentów dla studentów: rezultaty i wdrożenie

Budującym aspektem tego przedsięwzięcia jest sposób, w jaki wdrożono nowe narzędzia. Nie narzucono ich studentom odgórnie jako gotowego produktu, lecz zaangażowano ich w proces testowania i tworzenia bazy dydaktycznej. Grupa studentów kierunku Robotyka i Automatyka w ramach praktyk wakacyjnych przeprowadziła szereg testów, sprawdzając sprzęt w różnych konfiguracjach

i opracowując dziewięć scenariuszy przyszłych ćwiczeń. Taka forma partycypacji w procesie dydaktycznym nie tylko zwiększa zaangażowanie, ale również uczy odpowiedzialności za proces badawczy. Opracowane przez nich materiały stały się podstawą do przygotowania instrukcji laboratoryjnych, z których korzysta już pierwszy rocznik studentów zarówno na studiach inżynierskich (przedmiot *Wprowadzenie do biomechaniki*), jak i magisterskich prowadzonych w języku angielskim (*Biomechanics*). Można stwierdzić, że projekt przyniósł wymierne efekty nie tylko w postaci sprzętu, ale przede wszystkim gotowych scenariuszy edukacyjnych.

Nowoczesna infrastruktura służy również dyplomantom i doktorantom pracującym nad projektami inteligentnych protez oraz teoretycznymi aspektami pracy i współdziałania mięśni.

Perspektywy i refleksja nad przyszłością edukacji

Sukces projektu jest kolejnym dowodem, że tworzenie komfortowych warunków kształcenia, współpraca studentów i kadry akademickiej, powiązanie działań z wyzwaniami cywilizacyjnymi oraz potrzebami społecznymi, modułowość i interdyscyplinarność, a także ciągłe doskonalenie realizowanych procesów to kluczowe kierunki rozwoju nowoczesnej dydaktyki. Zakupione systemy mogą być w przyszłości rozbudowywane o kolejne czujniki i integrowane z nowymi algorytmami przetwarzania danych.



↑ Rys.3 Jednoczesny pomiar sygnałów EMG i MMG (mechanomiograficznych, obrazujących drgania mięśni: *m. gastrocnemius*, *m. tibialis anterior*) na potrzeby jednej z prac doktorskich realizowanych na Wydziale MEiL

Inżynier przyszłości to nie tylko teoretyk, ale praktyk potrafiący poruszać się w świecie danych i nowoczesnych sensorów. Inwestycja w laboratorium, które pozwala na błędy i samodzielne poszukiwania, jest najlepszą odpowiedzią na wyzwania, jakie stawia przed nami era cyfryzacji i sztucznej inteligencji.

Perspektywy rozwoju nakreślone przez zespół z Wydziału MEiL wskazują na ogromny potencjał wdrożeniowy tych rozwiązań w innych dziedzinach nauki. Metodyka oparta na synchronicznej analizie wielu sygnałów może znaleźć zastosowanie nie tylko w biomechanice sensu stricto, ale również w ergonomii przemysłowej, medycynie sportowej czy przy projektowaniu interfejsów człowiek-maszyna. Modułowa struktura systemu pozwala na jego dalszą rozbudowę o kolejne czujniki, co otwiera drzwi do interdyscyplinarnych projektów łączących medycynę, fizjoterapię i zaawansowaną robotykę.

W przyszłości planowane jest systematyczne uzupełnianie wyposażenia laboratorium, aby umożliwić pracę w małych grupach, co sprzyja indywidualizacji procesu kształcenia i lepszemu przygotowaniu absolwentów do pracy.

Patrząc szerzej na zmiany zachodzące w szkolnictwie wyższym, projekt ten stanowi istotną refleksję nad potrzebą ciągłego dostosowywania się do realiów technologicznych, wiodących wyzwań cywilizacyjnych oraz zmieniających się potrzeb społecznych. Dzisiejszy inżynier musi nie tylko posiadać solidne podstawy teoretyczne, ale również sprawnie poruszać się w świecie danych i potrafić interpretować sygnały pochodzące z otoczenia. Innowacje w dydaktyce, takie jak te wdrożone na Politechnice Warszawskiej, udowadniają, że inwestycja w nowoczesną infrastrukturę badawczą i metody nauczania to dobra droga do kształcenia inżynierów zdolnych do

tworzenia technologii jutra. Elastyczność w nauczaniu oraz otwartość na głos studentów stają się fundamentem nowoczesnego uniwersytetu, który nie tylko podąża za postępem, ale sam go aktywnie kształtuje.

Pierwszy etap projektu został sfinansowany ze środków Grantu dydaktycznego nr CPR-IDUB/473/Z15/2024, a koszty kolejnych zakupów są pokrywane z funduszy Wydziału MEiL PW.

{ Zespół: mgr inż. Julia Wilk, dr inż. Edyta Rola, dr hab. inż. Cezary Rzymkowski, prof. uczelni – Zakład Teorii Maszyn i Robotów, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa PW }

WSPÓŁCZESNA INFRASTRUKTURA – WYŻSZA JAKOŚĆ DYDAKTYKI

Unowocześnienie treści wykładowych i ćwiczeń laboratoryjnych z oferty dydaktycznej Zakładu Sieci i Usług Teleinformatycznych w Instytucie Telekomunikacji i Cyberbezpieczeństwa

Zakład Sieci i Usług Teleinformatycznych działający w Instytucie Telekomunikacji i Cyberbezpieczeństwa Politechniki Warszawskiej zajmuje się między innymi tzw. Internetem Rzeczy (IoT). Prace prowadzone w tym obszarze obejmują zagadnienia związane z tworzeniem obiektów, sieci, a także aplikacji. W ofercie dydaktycznej

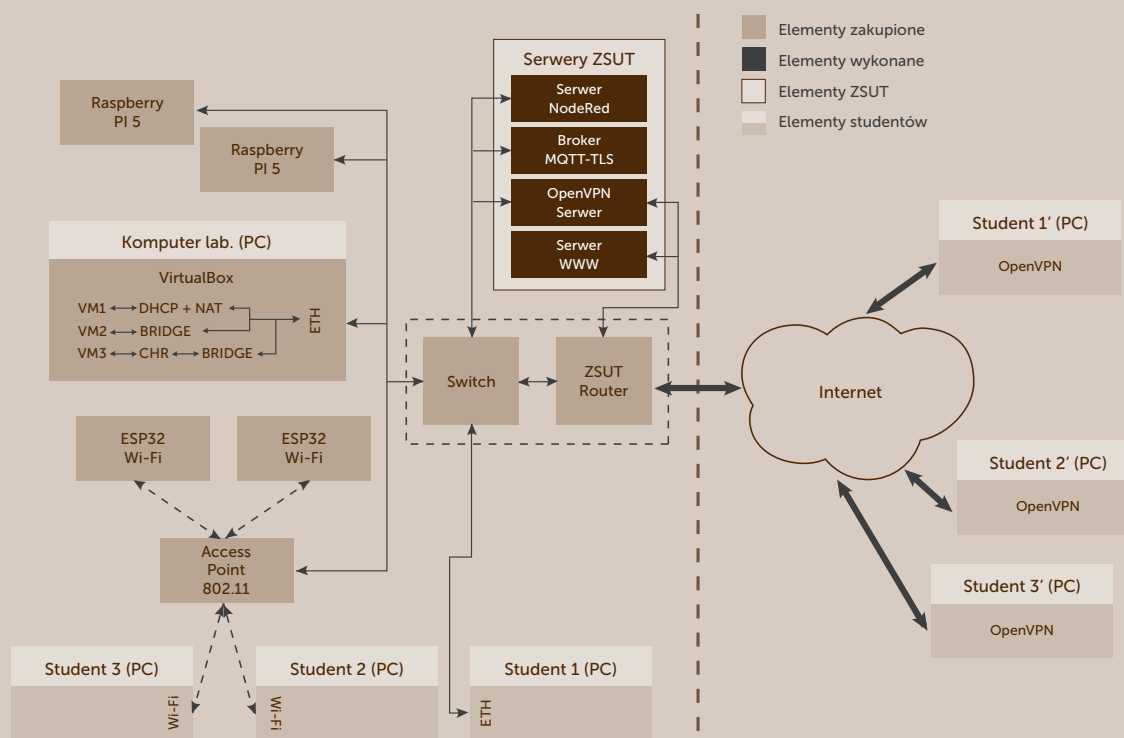
Zakładu znajdują się zajęcia takie jak: *Usługi i aplikacje Internetu Rzeczy (PBL5)*, *Programowanie systemów Internetu Rzeczy i aplikacji sieciowych (PSIR)* oraz *Protokoły i architektury systemów Internetu Rzeczy (PASIR)*. Realizacja tych przedmiotów wymaga dostępu do laboratoriów z nowoczesną i zróżnicowaną bazą sprzętową – tempo zmian w dziedzinie IoT

powoduje, że wykorzystywane urządzenia należy wymieniać mniej więcej co pięć lat.

Dzięki funduszom z projektu CPR-IDUB/298/Z15/2024 Zakład przeprowadził szeroko zakrojoną modernizację laboratorium IoT. Odświeżono treści zajęć laboratoryjnych oraz uzupełniono wyposażenie o nowoczesne urządzenia zapewniające studentom możliwość pracy z aktualnymi technologiami. W ramach projektu zakupiono: 14 węzłów IoT klasy Raspberry Pi 5 z 16 GB pamięci RAM, 20 węzłów o ograniczonych zasobach klasy ESP32, wyposażonych w sensory i elementy wykonawcze oraz 10 nowych komputerów PC, które zasilają laboratorium CS304 i zastąpiły dotychczasowe stanowiska. Dzięki temu laboratoria stały się bardziej elastyczne, a studenci mogą dziś realizować zadania wymagające zarówno dużej mocy obliczeniowej, jak i pracy na urządzeniach o niewielkich zasobach – co doskonale odwzorowuje realne środowiska IoT.

Aby zwiększyć stabilność i wygodę pracy podczas zajęć dotyczących sieci





Wi-Fi, VLAN i technologii sieciowych, zakupiono również nową infrastrukturę sieciową, w tym routery Ethernet oraz punkty dostępowe Wi-Fi firmy Mikrotik. Zakupy te wynikały z wieloletnich obserwacji pracy studentów podczas zajęć. Zauważono, że studenci, tworząc niskopoziomowe oprogramowanie sieciowe, często nieświadomie przeszkadzali sobie wzajemnie, generując ruch w sieci i zaburzając pracę innych osób. Zdecydowano, aby na tyle na ile to możliwe odseparować na poziomie sieciowym stanowiska studenckie. Wprowadzenie takiego rozwiązania poprawiło jakość i płynność pracy na poszczególnych stanowiskach, eliminując problem niezamierzonych interferencji. Zakład Sieci i Usług Teleinformatycznych od dawna utrzymuje serwerownię wspierającą zajęcia dydaktyczne. Aby jeszcze lepiej wykorzystać jej możliwości, w ramach prac nad projektem zmodernizowano system rezerwacji zasobów Zakładu. Zadaniem tego systemu było umożliwienie studentom rezerwowania dla swoich prac maszyn wirtualnych z przygotowanym przez prowadzących oprogramowaniem, w tym także oprogramowaniem do zgłębiania systemów IoT. Niestety system ten nie był należycie administrowany i w 2023 roku uległ awarii. Podjęto więc decyzję o stworzeniu nowego rozwiązania praktycznie od podstaw. Poprawiono zatem system funkcjonalnie, a także wprowadzono odpowiednie mechanizmy bezpieczeństwa.

„...laboratoria stały się bardziej elastyczne, a studenci mogą dziś realizować zadania wymagające zarówno dużej mocy obliczeniowej, jak i pracy na urządzeniach o niewielkich zasobach...”

Schemat prezentuje część systemu służącego do obsługi tylko pojedynczego stanowiska laboratoryjnego. Użytkowanie systemu umożliwia rezerwowanie przez studenta – poprzez wygodny interfejs WWW – na określony czas i w wybranym przez niego przedziale czasowym zasobów ZSUT (w tym maszyn wirtualnych). Obecnie studenci mają możliwość pracy hybrydowej nad projektami laboratoryjnymi – także w godzinach nocnych, co jest przez nich szczególnie cenione. Jedyne, o czym student musi pamiętać, to zalogować się do systemu w wybranym wcześniej czasie, następnie pobrać plik konfiguracyjny VPN z danymi uwierzytelniającymi do tunelu VPN,

następnie może już wykonywać przydzielone zadanie wykorzystując zasoby Zakładu. Po upływie czasu rezerwacji zasoby są odłączane, a tunel VPN – automatycznie zamykany.

Projekt został sfinansowany i zrealizowany ze środków Grantu dydaktycznego nr CPR-IDUB/298/215/2024.

{ Mgr inż. Aleksander Pruszkowski
– Instytut Telekomunikacji
i Cyberbezpieczeństwa,
Wydział Elektroniki i Techniki
Informacyjnych PW }

Filozofia w praktyce: o etyce mowy nienawiści

Filozofia nie ma dziś dobrej prasy. Aby uprzytomnić sobie, że taki stan rzeczy nie jest niczym nowym, wystarczy przypomnieć postać Sokratesa oraz los, który zgotowali mu jego współcześni. Zanim jednak złożymy podpis pod wydanym przez mieszkańców starożytnych Aten wyrokiem potępiającym miłośników mądrości oraz uprawianą przez nich dyscyplinę, warto zapoznać się z prowadzonymi przez nich badaniami. Tu mogą czekać nas niespodzianki. Starożytna sztuka filozofowania ma swoich adeptów również wśród pracowników naukowych Politechniki Warszawskiej. Może się więc okazać, że przedmiot jej zainteresowań jest bliższy realiom współczesnego życia, naznaczonym przez rosnące oddziaływanie innowacji technicznych i naukowych, niż mogłoby się to na pierwszy rzut oka wydawać. Takie przypuszczenie nasuwa zwłaszcza ześrodkowanie badań prowadzonych w obrębie tej dyscypliny wokół problemów współczesnej komunikacji, takich jak mowa nienawiści. Refleksję filozoficzną, rozwijaną w murach rzeczonogo ośrodka, cechuje więc żywe zainteresowanie rzeczywistością w jej najbardziej namacalnych przejawach.

Mowa nienawiści to jeden z palących problemów współczesności, dyskutowany zarówno w kręgach naukowych, jak i przez szeroką publiczność. Innowacje technologiczne, związane z jednej strony z wypieraniem mediów tradycyjnych (radia, telewizji, prasy) przez media cyfrowe, a z drugiej z rosnącą popularnością dużych modeli językowych, powodują istotne zmiany w naturze i dynamice interakcji społecznych. Zjawiska takie jak polaryzacja, przyczyniająca się do niej anonimowość, kultura błyskawicznej gratyfikacji oraz coraz bardziej powszechne poleganie na różnego rodzaju „doradcach wirtualnych” przyczyniają się do powstawania problemów nieznanymi pokoleniom wcześniejszym. Nie jest niczym dziwnym, że w warunkach rosnących podziałów oraz wzbudzonej przez czynniki ekonomiczne impulsywności dochodzi do rozpowszechnienia nienawistnych wypowiedzi i komentarzy. Powaga tego problemu jest dobrze znana i ma konsekwencje zarówno w skali makro-, jak

i mikro-, przyczyniając się do destabilizacji systemów społeczno-politycznych oraz wpływając ujemnie na stan zdrowia psychicznego, zwłaszcza wśród osób najmłodszych (Haidt 2024).

Czy odnośnie tego problemu filozof ma cokolwiek konstruktywnego do zaproponowania? Wydaje się, że osobą dużo bardziej powołaną do tego zadania byłby prawnik, lingwista czy informatyk. Dziedziny te dysponują instrumentarium odpowiednim, by zdiagnozować problem, który ma przecież charakter prawny, językowy oraz techniczny. Tymczasem badania prowadzone przez Laboratorium Nowego Etosu, działające na Wydziale Administracji i Nauk Społecznych PW¹, sugerują, że właśnie definicja filozoficzna jest najbardziej efektywnym narzędziem dla wykrywania i przeciwdziałania mowie nienawiści. Jeśli przyjrzeć się definicjom, jakimi posługują się regulacje prawne oraz piśmiennictwo specjalistyczne z zakresu lingwistyki oraz nauk informatycznych, uderza podobieństwo przyjętej metody, która wiąże się jednak z podobnymi ograniczeniami. Przykładowo Komisja Europejska definiuje mowę nienawiści jako „publiczne podżeganie do przemocy lub nienawiści skierowanej przeciwko grupie osób lub członkowi takiej grupy, zdefiniowanej ze względu na rasę, kolor skóry, religię, pochodzenie lub przynależność narodową lub etniczną”². Definiowane zjawisko ma więc polegać na atakowaniu („podżeganie do przemocy lub nienawiści”) określonych grup, identyfikowanych na podstawie tzw. cech chronionych (rasa, kolor skóry, religia, przynależność narodowa lub etniczna). Definicje przyjęte w regulacjach wewnętrznych mediów społecznościowych, takich jak X³ czy Facebook⁴, mają podobny charakter. Listy cech chronionych są

jednak różne w każdym przypadku.

Definicja portalu X wymienia rasę, pochodzenie etniczne, narodowość, kastę, orientację seksualną, płeć, tożsamość płciową, przynależność religijną, wiek, niepełnosprawność oraz poważną chorobę. Obejmuje więc aż cztery charakterystyki, których brak w definicji Komisji Europejskiej (kasta, wiek, niepełnosprawność i choroba). W podobny sposób mowa nienawiści jest definiowana w literaturze lingwistycznej i informatycznej. Gao i Huang (2017), Founta et al. (2018), czy Mollas et al. (2020) to reprezentatywne przykłady.

Powyżej opisany sposób definiowania odznacza się pewnymi ograniczeniami. Pierwsze polega na tym, że do zdefiniowanej zgodnie z nim mowy nienawiści zaliczają się wyłącznie ataki na grupy osób. Tymczasem nietrudno wyobrazić sobie wypowiedzi autentycznie krzywdzące, które jednak ukierunkowane są przeciwko indywidualności. By nie szukać daleko, zniewaga „ty idioto” nie jest przecież atakiem biorącym za przedmiot grupę osób upośledzonych umysłowo (tak byłoby na gruncie archaicznego użycia tego słowa), lecz stanowi zniewagę ze względu na domniemane braki intelektualne pojedynczej osoby. Drugie ograniczenie związane jest z tym, że omówione definicje nie podają kryterium, na podstawie którego dokonuje się wyboru cech chronionych. Taka sytuacja stwarza ryzyko arbitralności, a co za tym idzie – instrumentalnego wykorzystania regulacji prawnych w celu ograniczania swobody ekspresji.

Alternatywna definicja, wolna od wymienionych ograniczeń, musiałaby więc zawierać kryterium, na podstawie którego dana wypowiedź jest klasyfikowana jako nienawistna. Kryterium to musiałoby ujmować naturę zła, które dokonuje się w akcie mowy nienawiści. Aby je sformułować, należy więc sięgnąć do wchodzącej w skład filozofii dziedziny, mającej za przedmiot normatywną ocenę ludzkiego postępowania – etyki. Badacze z Laboratorium Nowego Etosu tak właśnie uczynili, sięgając do Arystotelesa, jednej z największych postaci w dziejach filozofii. Co zadziwiające, starożytny myśliciel wyznaczył granicę między nienawiścią

¹ Przy Wydziale działa również Międzynarodowe Centrum Ontologii Formalnej, które skupia filozofów i uczonych zajmujących się filozofią informatyki, matematyki i fizyki oraz zastosowaniem narzędzi formalnych w ontologii.

² https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7109

³ <https://help.x.com/en/rules-and-policies/hateful-conduct-policy>

⁴ <https://transparency.meta.com/policies/community-standards/hateful-conduct/>

a gniewem w sposób bardzo użyteczny dla omawianej problematyki. Według Arystotelesa, podczas gdy celem gniewu jest naprawa doznanej niesprawiedliwości, celem nienawiści jest zniszczenie osoby nienawidzonej (Aristoteles 1926, 1382a31, s.201). To właśnie z takiego charakteru nienawiści wynika jej ukierunkowanie przeciwko grupom, podczas gdy gniew zwraca się przeciwko indywidualnym osobom. Nienawiść nie dba mianowicie o to, czy osoba atakowana zawiniła przeciwko nam, czy też nie, pragnąc jedynie jej zaszkodzić. To oderwanie nienawiści od dokonanej uprzednio względem nas niesprawiedliwości sprawia, że nienawiść sama w sobie jest niesprawiedliwa. Polega na zadawaniu krzywdy, której nie odpowiada żadna wina po stronie osoby atakowanej.

Takiemu filozoficznemu wyjaśnieniu odpowiada współczesna refleksja autorów zajmujących się mową nienawiści z perspektywy etyki. Waldron (2014) identyfikuje mowę nienawiści z naruszeniem godności. Godność tę definiuje jednak subiektywistycznie jako status społeczny ofiary, przysługujący jej ze względu na bycie równoprawnym członkiem społeczeństwa. Parekha (2012) idzie krok dalej, wskazując, że mowa nienawiści polega na sformułowaniu oceny moralnej mającej za przedmiot jakąś cechę normatywnie nierелеwantną (ang. *normatively irrelevant feature*), czyli nie mającą znaczenia dla oceny moralnej podmiotu. Innymi słowy, wypowiedź, zgodnie z którą osoby dopuszczające się morderstwa powinny zostać ukarane, nie jest przykładem mowy nienawiści, ponieważ przedmiotem oceny jest tu czyn, czyli fakt mający znaczenie dla oceny moralnej. Jeśli jednak ktoś stwierdzi, że osoby o określonym kolorze skóry są gorsze od innych, dopuszcza się mowy nienawiści, ponieważ kolor skóry nie jest cechą normatywnie relewantną. Z perspektywy etyki Arystotelesa można dodać, że taka ocena stanowi niesprawiedliwą krzywdę, ponieważ osoba jest tutaj oceniana ze względu na coś, na co nie miała wpływu, a więc ze względu na czynnik, który nie może stanowić podstawy oceny moralnej⁵. Tak właśnie mowa nienawiści jest definiowana w omawianych badaniach: jako mowa stanowiąca niesprawiedliwą krzywdę,

⁵ Nie znaczy to, że według Arystotelesa czynniki, nad którymi podmiot nie sprawuje kontroli, jak np. dalekosiężne konsekwencje czynów, nie mogą być moralnie zastugujące bądź obciążające. Nie stanowią jednak podstawy oceny moralnej, lecz dodatkowy czynnik, którego ocena podporządkowana jest ocenie samego czynu

zadaną poprzez sformułowanie oceny na podstawie cechy nie mającej znaczenia dla oceny moralnej czynów. Pod taką definicję podpadają więc ataki na grupy wyodrębnione ze względu na rasę, płeć czy kolor skóry. Krytyka określonych poglądów politycznych czy zarzuty dokonania przestępstw nie stanowią jednak mowy nienawiści w omawianym znaczeniu.

Laboratorium Nowego Etosu nie jest grupą złożoną z samych tylko filozofów, lecz miejscem interdyscyplinarnej współpracy, w którym krzyżują się ścieżki miłośników mądrości, informatyków oraz lingwistów obliczeniowych. Zaproponowana przez filozofów definicja została więc poddana empirycznej weryfikacji pod kątem efektywności w zakresie wykrywania realnych przykładów mowy nienawiści. Zbiór złożony z trzydziestu zdań, w tym piętnastu zaczerpniętych z internetowych baz danych⁶ grupujących przykłady mowy nienawiści oraz piętnastu zdań neutralnych, został przedłożony dwóm grupom anatorów, których zdaniem miała być ocena, czy wypowiedzi te stanowią przykłady mowy nienawiści zgodnie z jedenastoma definicjami prawnymi, lingwistycznymi oraz filozoficznymi, a także z omówioną powyżej definicją. Pierwsza grupa złożona była z dwóch ekspertów mających przeszko-lenie w zakresie anotacji mowy nienawiści. Drugą grupę stanowili anoni-mowi użytkownicy, zrekrutowani za pomocą platformy Prolific.

Osiągnięte rezultaty wykazały, że zaproponowana definicja, jakkolwiek osiągnęła drugą lokatę pod względem efektywności dla anotacji eksperckiej, w wypadku anotacji społecznościowej okazała się najbardziej skuteczna. Okoliczność, że wyższą efektywność w wypadku tego pierwszego sposobu anotowania wykazała wyłącznie definicja Parekha (2012), wskazuje na trafność zaproponowanej konceptualizacji filozoficznej. Badacz ten definiuje bowiem mowę nienawiści, odwołując się do znaczenia moralnego atakowanej cechy, co stanowi kluczowy element również w definicji stworzonej przez Laboratorium Nowego Etosu. Najlepszy rezultat w zakresie anotacji społecznościowej wskazuje zaś, że kategorie bliższe językowi potocznemu („cecha nie mająca znaczenia dla oceny moralnej czynów”) są lepiej zrozumiałe dla przeciętnego użytkownika niż wysoce

⁶ Fox News comments (Gao & Huang, 2017), HateEval (Basile et al., 2019), HateXplain (Mathew et al., 2021), Ex machina (Wulczyn et al., 2017), Davidson (Davidson et al., 2017).

specjalistyczne sformułowania Parekha („cecha normatywnie nierелеwantna”). Okazało się więc, że zaproponowana definicja filozoficzna jest najbardziej obiecująca pod kątem przeciwdziałania mowie nienawiści za pomocą moderacji społecznościowej. Biorąc pod uwagę, że właśnie ten rodzaj moderacji cieszy się największą popularnością, osiągnięty wynik ma istotne znaczenie dla wdrożenia praktycznych strategii ukierunkowanych przeciwko omawianemu zjawisku.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Aristotle (1926). The "art" of rhetoric (J. Freese, Trans.). London - New York: William Heinemann
- [2] Basile, V., Bosco, C., Fersini, E., Nozza, D., Patti, V., Pardo, F.M.R., Rosso, P., Sanguinetti, M. (2019). Semeval-2019 task 5: Multilingual detection of hate speech against immigrants and women in Twitter. Proceedings of the 13th international workshop on semantic evaluation (s. 54–63)
- [3] Davidson, T., Warmesley, D., Macy, M., Weber, I. (2017). Automated hate speech detection and the problem of offensive language. Proceedings of the international AAAI conference on web and social media (tom 11, s. 512–515)
- [4] Founta, A., Djouvas, C., Chatzakou, D., Leontiadis, I., Blackburn, J., Stringhini, Vakali, Sirivanos, M., A., G., Kourtellis, N. (2018). Large scale crowdsourcing and characterization of Twitter abusive behavior. Proceedings of the international AAAI conference on web and social media (tom 12)
- [5] Gao, L., & Huang, R. (2017). Detecting online hate speech using context aware models. R. Mitkov & G. Angelova (red.), Proceedings of the international conference recent advances in natural language processing, RANLP 2017 (s. 260-266). Varna, Bulgaria: INCOMA Ltd.
- [6] Haidt, J. (2024). The Anxious Generation: How the Great Rewiring of Childhood Is Causing an Epidemic of Mental Illness, New York: Penguin Press
- [7] Mathew, B., Saha, P., Yimam, S.M., Biemann, C., Goyal, P., Mukherjee, A. (2021). HateXplain: A benchmark dataset for explainable hate speech detection. Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence (tom 35, s. 14867-14875)
- [8] Mollas, I., Chrysopolou, Z., Karlos, S., Tsoumakas, G. (2020). Ethos: an online hate speech detection dataset. arXiv preprint arXiv:2006.08328
- [9] Parekh, B. (2012). Is there a case for banning hate speech? M. Herz & P. Molnar (red.), The content and context of hate speech: Rethinking regulation and response (s. 37-56). Cambridge, New York: Cambridge University Press
- [10] Waldron, J. (2014). The harm in hate speech. Cambridge, MA: Harvard University Press
- [11] Wulczyn, E., Thain, N., Dixon, L. (2017). Ex machina: Personal attacks seen at scale. Proceedings of the 26th international conference on world wide web (s. 1391-1399)

Wydawnictwa Centrum Studiów Zaawansowanych Politechniki Warszawskiej są przestrzenią spotkania nauki, dydaktyki i kultury. Powstają jako rezultat zaawansowanych badań, autorskich wykładów oraz interdyscyplinarnej współpracy wybitnych uczonych i twórców związanych z Politechniką Warszawską. W ofercie CSZ PW znajdują się monografie, serie Lecture Notes, Textbooks, biuletyn Profundere Scientiam, materiały konferencyjne oraz unikatowe pozycje np. album „Akwarele”. Publikacje te nie tylko upowszechniają najnowszą wiedzę, lecz także inspirują do przekraczania granic między dyscyplinami i do pogłębionej refleksji nad współczesną nauką. Wydawnictwa CSZ PW to świadectwo żywej wspólnoty akademickiej, która łączy najwyższe standardy naukowe z otwartością na nowe idee i formy ekspresji.

Oferta wydawnicza Centrum Studiów Zaawansowanych PW

interdyscyplinarna przestrzeń myśli, nauki i kultury

Monografie CSZ → Geometria różniczkowa jako narzędzie nauk przyrodniczych – Jerzy Kijowski

CAS Lecture Notes → NŚ1: Podstawy fotoniki – Mirosław Karpierz
NŚ2: Algorytmy, złożoność obliczeniowa, granice obliczalności – Władysław Homenda
NŚ3: Wstęp do algorytmicznej teorii grafów – Zbigniew Lonc
NŚ4: The Fractal Market Hypothesis: Applications to Financial Forecasting – Jonathan Blackledge
NŚ5: Statystyka matematyczna stosowana. Elementy – Ryszard Zieliński
NŚ6: Odporność wewnętrzna modeli liniowych na zaburzenia w danych obserwacyjnych – obserwacje nieskorelowane i skorelowane – Witold Prószyński
NŚ7: Metody numeryczne w zagadnieniach niestabilnych – Teresa Regińska
NŚ8: On the Mathematical Modeling of Complex Systems – Jonathan D.H. Smith
NŚ9: Narzędzia geometrii – Irmina Herbut, Maria Moszyńska
NŚ10: Singularities of Curves and Surfaces in Various Geometric Problems – Goo Ishikawa
NŚ11: Elementy mechaniki analitycznej. Układy holonomiczne – Piotr Przybyłowicz
NŚ12: Teoria osobliwości – Stanisław Janeczko
NT1: Topology synthesis for parallel robotic mechanisms – Feng Gao, Jialun Yang
NT2: Model informacji inżynierskich, BIM – Praca zbiorowa pod redakcją Jana Styka
NH1: Etyka analityczna a teoria ewolucji – Adrian Kuźniar

CAS Textbooks → NŚ1: Cryptography and Steganography: New Algorithms and Applications – Jonathan Blackledge
NŚ2: Metody geometryczne – Michał Szurek
NŚ3: Mechanika kwantowa – na skróty od klasyki do współczesności – Leszek Adamowicz

Albumy → Akwarele/Watercolours – Joanna Pętkowska

Wydawnictwa można nabyć w księgarniach Oficyny Wydawniczej Politechniki Warszawskiej
Wykaz wszystkich publikacji CSZ dostępny na www.csz.pw.edu.pl/Wydawnictwa

Biuletyn Centrum Studiów Zaawansowanych „Profundere Scientiam” (Online) nr 1 (20)/2026; ISSN 2956-9958
Pl. Politechniki 1, p.152-154, 00-661 Warszawa; e-mail: csz@pw.edu.pl, www.csz.pw.edu.pl

Zespół redakcyjny: Małgorzata Zielińska, Wanda Borkowska, Ilona Sadowska

Opieka merytoryczna: prof. Stanisław Janeczko

Projekt graficzny: Emilia Bojańczyk / Podpunkt | Opracowanie i skład: Małgorzata Zielińska / CSZ