

# Laboratorium Living Lab w ramach projektu H2020 MEZeroE

## Living Lab Laboratory in the H2020 MEZeroE project

mgr inż. Katarzyna Nowak-Dzieszko (ORCID: 0000-0002-5484-7747), Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.1441

**Streszczenie:** Budownictwo odgrywa kluczową rolę w procesie zielonej transformacji, czyli dochodzeniu do neutralności klimatycznej. Szacuje się, że sektor ten odpowiada za około 38% światowych emisji CO<sub>2</sub>. W Europie producenci materiałów budowlanych intensywnie wdrażają innowacyjne rozwiązania, które umożliwiają budowę obiektów zeroemisyjnych i zeroenergetycznych. Jednak napotykają liczne bariery prawne, w tym brak odpowiednich procedur standaryzacyjnych, które pozwoliłyby na szybkie wprowadzanie nowatorskich produktów na rynek. Proces certyfikacji, oznakowania CE i dopuszczania innowacyjnych technologii do stosowania w budownictwie jest skomplikowany i czasochłonny, co spowalnia transformację sektora. W odpowiedzi na te wyzwania powstał europejski projekt MEZeroE (Measuring Envelope products and systems contributing to next generation of healthy nearly Zero Energy Buildings). Jego celem jest wsparcie producentów innowacyjnych materiałów budowlanych oraz stworzenie platformy umożliwiającej testowanie, certyfikację i wdrażanie nowych technologii. Jednym z kluczowych elementów projektu są tzw. „żywe laboratoria” (Living Labs) – rzeczywiste budynki, w których nowoczesne rozwiązania są testowane w warunkach codziennej eksploatacji. Jedno z takich laboratoriów powstało na Politechnice Krakowskiej, gdzie w zmodernizowanym budynku zostały wbudowane innowacyjne produkty dostarczone przez partnerów projektu.

**Słowa kluczowe:** living lab, jakość powietrza wewnętrznego, IAQ, złącza podatne.

**Abstract:** The construction sector plays a key role in the green transition towards climate neutrality, accounting for approximately 38% of global CO<sub>2</sub> emissions. In Europe, building material manufacturers are actively implementing innovative solutions that enable the development of zero-emission and zero-energy buildings. However, they face numerous legal barriers, including the lack of standardization procedures that would facilitate the rapid introduction of new products to the market. The certification, CE marking, and approval processes for innovative construction technologies are complex and time-consuming, slowing down the sector's transformation. To address these challenges, the European project MEZeroE (Measuring Envelope products and systems contributing to the next generation of healthy nearly Zero Energy Buildings) was launched. Its goal is to support manufacturers of innovative building materials by providing a platform for testing, certification, and implementation of new technologies. A key element of the project is the establishment of „Living Labs” – real-world buildings where modern solutions are tested under everyday operating conditions. One such laboratory has been created at the Cracow University of Technology, where a renovated building now integrates innovative products supplied by project partners.

**Keywords:** living lab, indoor air quality, IAQ, flexible connections.

## 1. Wprowadzenie

Znaczenie budownictwa w procesie tzw. zielonej transformacji, czyli dochodzenia do neutralności klimatycznej jest bezdyskusyjne. Najświeższe dane [1, 2] pokazują, że budynki odpowiadają za ok. 38% światowych emisji CO<sub>2</sub>, przy czym 28% pochodzi z eksploatacji budynków, a pozostałe 10% spowodowane jest zużyciem energii niezbędnej do produkcji materiałów i technologii wykorzystywanych w budownictwie (wbudowany ślad węglowy). Obszerne omówienie wpływu budynków na środowisko, polskich oraz europejskich wymogów prawnych przedstawiono w „Mapie drogowej dekarbonizacji do roku 2050” opracowanej przez Polskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego [1].

Jednym z kluczowych działań Unii Europejskiej (UE) w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych jest Zielony Ład [3], którego celem jest ograniczenie emisji o 55% do 2030 roku oraz osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku. W realizacji tych

ambitnych założeń kluczową rolę odgrywa sektor budowlany. Plan REPowerEU [4] wyznaczył ścieżkę dekarbonizacji i podniósł cel udziału energii odnawialnej do 45%. Komisja Europejska proponuje, aby od 1 stycznia 2030 roku wszystkie nowe budynki spełniały wymogi zerowej emisji, a w przypadku budynków zajmowanych lub należących do władz publicznych – już od 2027 roku. Wdrażanie tych regulacji będzie możliwe dzięki koncepcji budynków o niemal zerowym zużyciu energii (nZEB).

Aby skutecznie zmniejszyć zużycie energii i emisję gazów cieplarnianych, konieczne jest nie tylko wznoszenie nowych budynków nZEB, ale również modernizacja już istniejących obiektów. Kluczową rolę w zapewnieniu odpowiedniego komfortu termicznego wewnątrz budynków odgrywa ich obudowa. Naprzeciw tym wyzwaniom w styczniu 2021 roku powstał projekt MEZeroE [5]. Jego celem jest stworzenie ekosystemu integrującego zaplecze infrastrukturalne oraz wiedzę ośrodków akademickich i badawczych z innowacyjnymi rozwiązaniami opracowywanymi przez przemysł.

Głównym celem projektu MEZeroE jest stworzenie europejskiej platformy usługowej MEZeroE (OIS1 – Open Innovation Services) [6], mającej na celu przyspieszenie procesu certyfikacji i oznakowania znakiem CE oraz wprowadzania na rynek innowacyjnych wyrobów i systemów budowlanych. Platforma ta wspiera rozwój nowoczesnych technologii przyczyniających się do powstawania zdrowych budynków nowej generacji o niemal zerowym zużyciu energii. OIS1 opracowuje standardowe procedury certyfikacji i znakowania CE dla innowacyjnych wyrobów budowlanych. Dodatkowo odpowiada za stworzenie mapy drogowej dla procesu certyfikacji i oznakowania CE w odniesieniu do nowoczesnych produktów stosowanych w budynkach nZEB. OIS1 zapewnia także ogólne ramy wsparcia dla opracowywania nowych map drogowych dla określonych produktów spoza konsorcjum.

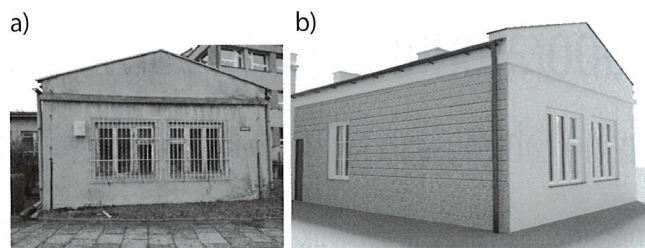
Projekt MEZeroE na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej (WIL PK) jest realizowany pod kierownictwem prof. Arkadiusza Kwietnia w okresie od stycznia 2021 do stycznia 2026 roku. Pierwszy etap projektu obejmował budowę, uruchomienie oraz testowanie linii badawczych (PM&VL) w jednostkach naukowo-badawczych uczestniczących w projekcie, za co odpowiadała dr inż. Aneta Nowak-Michta. Kolejnym etapem jest tworzenie living labów, a kierownikiem tego procesu w Polsce jest mgr inż. Katarzyna Nowak-Dziesko. Linie badawcze zostały przetestowane podczas badań innowacyjnych wyrobów budowlanych. W artykule przedstawiono proces tworzenia laboratorium badawczego Living Lab zlokalizowanego na kampusie Politechniki Krakowskiej oraz omówiono prowadzone w nim badania.

## 2. Modernizacja budynku na potrzeby stworzenia Living Labu

Laboratorium Living Lab powstało na kampusie Politechniki Krakowskiej przy ulicy Warszawskiej 24, w całkowicie wyremontowanym dawnym budynku trakcji elektrycznej Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej. Budynek powstał w latach 50. XX wieku, pole powierzchni części laboratoryjnej budynku wynosi 81,5 m<sup>2</sup>, a kubatura 212 m<sup>3</sup>. W budynku przed remontem oraz obecnie znajduje się wentylacja naturalna, w maju 2025 roku planowana jest instalacja wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Przed modernizacją obiektu przeprowadzono badania jego stanu przed technicznego, szczelności obudowy, detekcję mostków termicznych, analizę komfortu cieplnego wewnątrz pomieszczeń oraz pomiary akustyczne. Wyniki badań wykazały, że budynek wymaga gruntownej przebudowy (rys. 1a).

Teren kampusu uczelni znajduje się pod nadzorem konserwatorskim, dlatego przed rozpoczęciem remontu konieczne było uzyskanie zgody odpowiednich organów na przeprowadzenie prac związanych z elewacją. W celu otrzymania pozwolenia opracowano wizualizację budynku (rys. 1b).

Przed rozpoczęciem prac w budynku przeprowadzono szereg badań, które będą kontynuowane również po remoncie, aby przeanalizować wpływ prac modernizacyjnych na badane parametry. Wykonano badania szczelności metodą Blower Door,



**Rys. 1.** Zachodnia elewacja budynku przed remontem (a), wizualizacja budynku (b) (archiwum autora)



**Rys. 2.** Pęknięcia budynku przed rozpoczęciem prac remontowych (archiwum autora)

badania termowizyjne obudowy budynku, analizę komfortu cieplnego wewnątrz pomieszczeń oraz badania akustyczne. Wszystkie wymienione badania zostaną powtórzone po zakończeniu prac termomodernizacyjnych.

Prace remontowe rozpoczęły się w czerwcu 2024 roku od wykonania odkrywek, które potwierdziły bardzo zły stan techniczny obudowy budynku (rys. 2). W związku z tym podjęto decyzję o wzmocnieniu ścian zewnętrznych z cegły pełnej za pomocą polimerowych złączy podatnych, dostarczonych przez jednego z partnerów projektu – firmę FlexAndRobust Systems Sp. z o.o. Produkt ten został wcześniej przebadany w ramach jednej z dziewięciu linii badawczych programu MEZeroE – PM&VL7 [5]. Badania obejmowały analizę właściwości mechanicznych i trwałościowych złączy oraz ich wpływu na komfort wibroakustyczny, termiczny i mikroklimatyczny, co zostało opisane w [7–9]. Podczas naprawy firma SHM SYSTEM Sp. z o.o. zamontowała system światłowodowy umożliwiający monitoring odkształceń, co pozwala na ocenę skuteczności wzmocnienia konstrukcji budynku. Proces wzmocnienia, w tym iniekcja złączy polimerowych, został przedstawiony na rysunku 3.



**Rys. 3.** Iniekcja złączy polimerowych FlexAndRobust (archiwum autora)



**Rys. 4.** Konstrukcja szkieletowa na złączach podatnych firmy FlexAnd Robust oraz wypełnienie pianką (archiwum autora)

W ramach działań termomodernizacyjnych stropodach docieplono warstwą 20 cm wełny mineralnej. Na ścianach zewnętrznych zastosowano dwa różne systemy dociepleniowe: elewacja północna została ocieplona 10 cm pianki zamkniętokomórkowej na szkieletowej konstrukcji drewnianej (rys. 4), którą zamontowano na złączach podatnych firmy FlexAndRobust. Na pozostałych elewacjach zastosowano system ETICS z 12 cm warstwą styropianu dostarczonego przez firmę TermoOrganika.

Wykorzystanie różnych systemów dociepleń umożliwi przeprowadzenie badań akustycznych i analizę ich wpływu na warunki wewnętrzne Living Labu. W budynku zainstalowano okna wykonane z poliuretanowej biopianki hiszpańskiej firmy Indresmat, zintegrowane z żaluzjami włoskiej firmy Pellini – oba przedsiębiorstwa są partnerami projektu MEZeroE [10].

Dodatkowo, w dwóch oknach na elewacji zachodniej, zamontowano dwa różne systemy zacielenia: „integrated microfilm shading device” oraz „retroreflective shading device”. W ramach planowanych badań zostanie przeanalizowany wpływ zastosowanych rozwiązań na komfort cieplny w pomieszczeniach.

Remont wnętrza budynku był możliwy dzięki częściowemu finansowaniu przez rektora Politechniki Krakowskiej oraz wsparciu sponsorów. Projekt wsparły m.in.: firma TermoOrganika, która dostarczyła system ocieplenia budynku, firma Domidor, która przekazała drzwi wewnętrzne, a prace wykonczeniowe wspomogła spółka Akopol. Dodatkowe wsparcie zapewnili także Cechini, FSSB Fundacja Wspierania Budownictwa Zrównoważonego, Małopolskie Centrum Budownictwa Energooszczędnego, FutureLab PK, firma Modea, Aluprof oraz El-Piast.

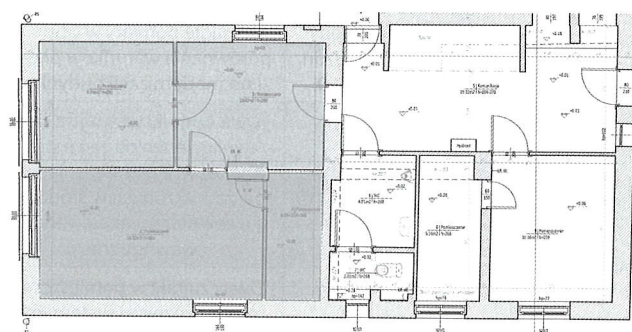
### 3. Plan badań

W ramach projektu analizowane będą głównie warunki jakości powietrza wewnętrznego, komfort cieplny w pomieszczeniach oraz komfort akustyczny. Wyniki badań zostaną opublikowane po zakończeniu projektu, które planowane jest na styczeń 2026 roku. Zbiorcze zestawienie prowadzonych badań przedstawiono w tabeli 1.

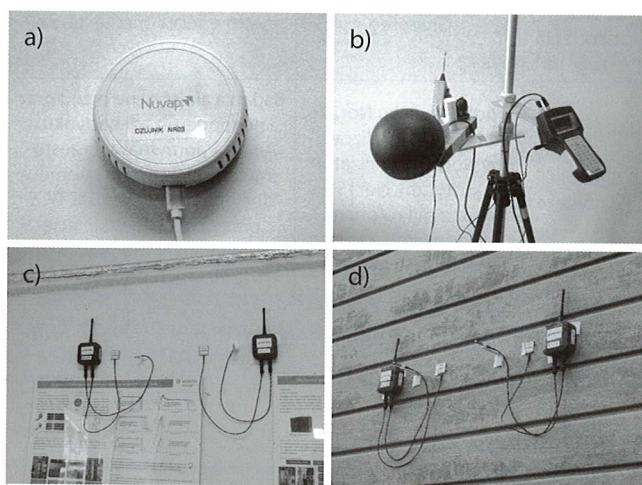
Rzut laboratorium przedstawiono na rysunku 5. Badania prowadzone są w pomieszczeniach oznaczonych kolorem

pomarańczowym oraz zielonym. Połączenie pomieszczeń w dwie grupy pozwoli na analizę warunków komfortu w podobnych przestrzeniach przy zastosowaniu różnych systemów zacielenia. W każdym z pomieszczeń zainstalowano czujniki monitorujące jakość powietrza wewnętrznego firmy Nuvap, która jest partnerem projektu (rys. 6a). Czujniki te dokonują ciągłego pomiaru następujących parametrów: temperatury, wilgotności względnej, poziomu formaldehydu, dwutlenku węgla, tlenku węgla, dwutlenku azotu, ozonu oraz stężenia pyłów zawieszonych PM1, PM2.5, PM10. Na ścianach zewnętrznych budynku umieszczono mierniki stężenia pyłów zawieszonych PM1, PM2.5 oraz PM10, co pozwoli na analizę wpływu stężenia zewnętrznego na warunki wewnętrzne. W każdym z pomieszczeń parametry komfortu cieplnego są rejestrowane przy użyciu czujników mikroklimatu (pomiaru temperatury powietrza, temperatury promieniowania, wilgotności względnej, prędkości przepływu powietrza) – rysunek 6b.

Firma Greenteg, kolejny z partnerów projektu [10], dostarczyła czujniki do pomiaru współczynników przenikania ciepła przegród w warunkach rzeczywistych. Czujniki te zostały zainstalowane na ścianach zewnętrznych oraz na pakietach szybowych z systemami zacielenia (rys. 6c, d).



**Rys. 5.** Rzut laboratorium Living Lab (źródło: inwentaryzacja budynku sporządzona przed pracami remontowymi wykonana przez firmę BIMIntelligent zlecona przez Politechnikę Krakowską)



**Rys. 6.** Czujnik Nuvap (a), miernik mikroklimatu (b), czujniki Greenteg na wewnętrznej i zewnętrznej ścianie budynku (c, d) (archiwum autora)

W Living Labie prowadzone będą również badania akustyczne. Laboratorium zostało wyposażone w wszechkierunkowe źródło dźwięku Nor276 do badań izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych, stukacz znormalizowany Nor277, zaawansowany analizator akustyczny Nor150 wraz z mikrofonami pomiarowymi oraz bom obrotowy Nor265.

Przed modernizacją budynku przeprowadzono badania kondycji akustycznej elewacji budynku. Wyniki tych badań stanowią cenne źródło informacji o izolacyjności akustycznej starej, zniszczonej stolarki okiennej oraz jej wpływie na izolacyjność akustyczną całej fasady budynku. Badano również jednoczesny wpływ drgań i hałasu na użytkowników budynku, pochodzący od przejeżdżającego pojazdu kołowego przez próg zwalniający. Ocena polegała na określeniu wzajemnej interakcji między hałasem a drganiami oraz łącznej uciążliwości obu bodźców. Takie podejście nie jest uwzględnione w obecnym normodawstwie i stanowi innowacyjne podejście do oceny komfortu wi-bracyjnego i akustycznego.

**Tabela 1.** Zbiorcze zestawienie badań prowadzonych z laboratorium

| Badanie                                  | Miernik                                                                                                                                     | Opis                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jakość powietrza wewnętrznego            | NUVAP – temperatura, wilgotność względna, poziomu formaldehydu, CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , ozon, PM1, PM2.5, PM10              | Czujnik w każdym pomieszczeniu. Ciągłe pomiary w celu porównania warunków przed i po modernizacji budynku.                                                                                                 |
| Jakość powietrza wewnętrznego            | LookO2 – temperatura, CO <sub>2</sub> , PM1, PM2.5, PM10                                                                                    | Dwa czujniki wewnątrz budynku, jeden na zewnątrz. Analiza wpływu stężenia pyłów zawieszonych w środowisku zewnętrznym na warunki wewnętrzne.                                                               |
| Komfort cieplny                          | Mierniki mikroklimatu                                                                                                                       | Dwa czujniki w pomieszczeniach z różnymi systemami zacięnień. Ciągłe pomiary w celu porównania warunków przed i po modernizacji budynku.                                                                   |
| Współczynnik przenikania ciepła przegród | Greenteg                                                                                                                                    | Cztery czujniki, pomiary parametrów ścian oraz zestawów szybowych.                                                                                                                                         |
| Badania akustyczne                       | Źródło dźwięku Nor276, stukacz znormalizowany Nor277, analizator akustyczny Nor150 wraz z mikrofonami pomiarowymi oraz bom obrotowy Nor265. | Badania akustyczne przed oraz po modernizacji budynku. Analiza porównawcza zastosowanych różnych systemów docieplenia budynku (ETICS oraz pianka na szkielecie drewnianym mocowanym na złączach podatnych) |
| Badania szczelności obudowy              | Zestaw Blowerdoor                                                                                                                           | Badania szczelności obudowy przed i po modernizacji.                                                                                                                                                       |

#### 4. Podsumowanie

W artykule opisano kolejne etapy powstawania laboratorium Living Lab w ramach projektu MEZeroE na Wydziale Inżynierii Ładowej Politechniki Krakowskiej. Głównym celem

laboratorium jest badanie innowacyjnych produktów partnerów projektu w warunkach rzeczywistych. W badaniach wykorzystywane są czujniki i mierniki dostarczone przez partnerów projektu (Nuvap oraz Greenteg), a także urządzenia będące własnością uczelni.

Stworzenie takiej przestrzeni badawczej otwiera szerokie możliwości nie tylko w ramach samego projektu, ale również dla studentów, doktorantów oraz pracowników naukowych jednostki. Living Lab stanowi ważną przestrzeń dla realizacji badań, a także umożliwia angażowanie młodych naukowców w projekty związane z innowacjami w budownictwie. W laboratorium odbywają się liczne seminaria, spotkania kół naukowych oraz zajęcia dydaktyczne, co sprzyja integracji środowiska akademickiego. Jak sama nazwa wskazuje, jest to „żywe laboratorium”, w którym można prowadzić badania i obserwować ich wyniki w czasie rzeczywistym, co pozwala na bieżąco dostosowywać metodykę i analizować wyniki.

Kolejne etapy powstawania Living Labu oraz aktualne wydarzenia związane z projektem można śledzić na profilach w mediach społecznościowych – LinkedIn [11] oraz Facebook [12], gdzie publikowane są regularnie informacje i postępy w realizacji projektu.

#### Finansowanie

**Artykuł został przygotowany w ramach projektu MEZeroE Measuring Envelope project for Products and Systems Contributing to Healthy, Nearly Zero-Energy Buildings, finansowanego z programu badań i innowacji w ramach dotacji EU Horizon 2020 No. 953157.**

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Szacowanie śladu węglowego budynków. Mapa drogowa dekarbonizacji budownictwa do roku 2050, Raport PLGBC, 2020
- [2] Maduta C. et al., Towards climate neutrality within the European Union: Assessment of the Energy Performance of Buildings Directive implementation in Member States, Energy and Buildings 301, 12/2023, str. 113716
- [3] Europejski Zielony Ład, COM/2019/640 final2019, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN-PL/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>
- [4] Plan REPowerEU, COM/2022/230 final. 2022, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2022:230:FIN>
- [5] MEZeroE Measuring Envelope project for products and systems contributing to healthy, nearly zero-energy buildings. EU Horizon 2020 research and innovation program under subsidy No. 953157, <https://www.mezeroe.eu/>
- [6] <https://mezeroe-platform.eu/>
- [7] Nowak-Michta A., Kwiecień A., Michta J., A Roadmap for the Certification of Polyurethane Flexible Connectors Used as Envelope Products in the Next Generation of Healthy, Nearly Zero-Energy Buildings. Materials 17(22)2024
- [8] Górszczyk J., Malicki K., Kwiecień A., Laboratory Investigation on Dynamic Complex Modulus of FRPU Composite, Materials 17(24)2024, str. 6229
- [9] Nering K., Kwiecień A., Nering K., Evaluating the Impact of Sample Irregularities on the Dynamic Stiffness of Polyurethane: Insights from Experimental and FEM Analysis, Materials 17(23)2024, str. 5910
- [10] <https://www.mezeroe.eu/actors-and-roles>
- [11] LinkedIn – <https://www.linkedin.com/company/mezeroe-polska/?viewAsMember=true>,
- [12] Facebook – <https://www.facebook.com/profile.php?id=61565671942057>