

Linia badawcza PM&VL7: Badania mechaniczne i trwałościowe złączy oraz ich wpływ na komfort wibroakustyczny, termiczny i mikroklimatyczny

PM&VL7 research line: Mechanical and durability tests of connectors and their influence on vibroacoustic, thermal, and microclimate comfort

dr inż. Aneta Nowak-Michta (ORCID: 0000-0002-8120-750X), Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.1027

Streszczenie: Obecnie w Europie producenci materiałów budowlanych wdrażają innowacyjne rozwiązania, które dają szansę na powszechne wznoszenie budynków zeroemisyjnych i zeroenergetycznych. Napotykają jednak bariery prawne związane z brakiem procedur standaryzacyjnych umożliwiających szybkie wprowadzanie innowacyjnych wyrobów budowlanych na rynek. Europejski projekt Horizon 2020: Measuring Envelope products and systems contribute to the next generation of healthy almost Zero Energy Buildings (MEZeroE) ma na celu wsparcie producentów innowacyjnych wyrobów budowlanych stosowanych w budynkach zeroenergetycznych, w tym w zakresie certyfikacji, oznakowania CE i wprowadzania ich na rynek. W artykule przedstawiono możliwości badawcze, utworzonej i przetestowanej w ramach projektu MEZeroE na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej (WIL PK) linii badawczej Pilot Measurement & Verification Line (PM&VL7): Badania mechaniczne i trwałościowe złączy oraz ich wpływ na komfort wibroakustyczny, termiczny i mikroklimatyczny. Ponadto przedstawiono platformę MEZeroE łączącą naukę z biznesem, na której PM&VL7 wraz z ośmioma liniami utworzonymi przez europejskie instytuty badawcze i uniwersytety techniczne prezentuje swoje usługi.

Słowa kluczowe: innowacyjne produkty budowlane, wprowadzanie na rynek, MEZeroE, budynki o niemal zerowym zużyciu energii, linia badawcza.

Abstract: Currently, in Europe, manufacturers of building materials are implementing innovative solutions that provide an opportunity for the widespread construction of zero-emission and zero-energy buildings. However, they encounter legal barriers related to the lack of standardization procedures enabling the rapid placing of innovative construction products on the market. The European project Horizon 2020: Measuring Envelope products and systems contribute to the next generation of healthy almost Zero Energy Buildings (MEZeroE), aims to support manufacturers of innovative construction products used in zero-energy buildings, including in the field of certification, CE marking and their placing on the market. The article presents the research possibilities of the Pilot Measurement & Verification Line (PM&VL7), created and tested as part of the MEZeroE project at the Faculty of Civil Engineering of the Cracow University of Technology: Mechanical and durability tests of connectors and their impact on vibroacoustic, thermal and microclimate comfort. In addition, the MEZeroE platform linking science and business was presented, where PM&VL7 and eight lines created by European research institutes and technical universities present their services.

Keywords: innovative building products, market placing, MEZeroE, nearly zero energy buildings, research line.

1. Wprowadzenie

Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu prognozuje, że jeżeli w najbliższym czasie nie zostanie znacząco obniżona emisja CO₂ i innych gazów cieplarnianych, to w tym stuleciu globalna temperatura wzrośnie o ponad 1,5–2°C [1]. Kluczowe znaczenie dla walki z globalnym ociepleniem ma redukcja emisji gazów cieplarnianych. W 2023 r. całkowita emisja CO₂ ze spalania energii i procesów przemysłowych wyniosła 37,4 Gt [2]. W Europie budynki odpowiadają za około 36% emisji gazów cieplarnianych związanych z energią i 40% końcowego zużycia energii [3].

Jednym z działań Unii Europejskiej (UE) w tym zakresie jest Zielony Ład, który ma na celu zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych w UE o 55% do 2030 r. i osiągnięcie neutralności węglowej do 2050 r. [4]. Osiągnięcie tak ambitnych celów wymaga znaczących zmian w sektorze budowlanym. Unijny plan mający przyspieszyć przejście na czystą energię „REPowerEU” [5] wyznaczył ścieżkę dekarbonizacji i podniósł do 45% cel dotyczący energii odnawialnej. Komisja Europejska proponuje zmianę wymogów dotyczących niemal zerowego zużycia energii na wymogi dotyczące zerowej emisji dla wszystkich nowych budynków od 1 stycznia 2030 r., a dla wszystkich nowych budynków zajmowanych

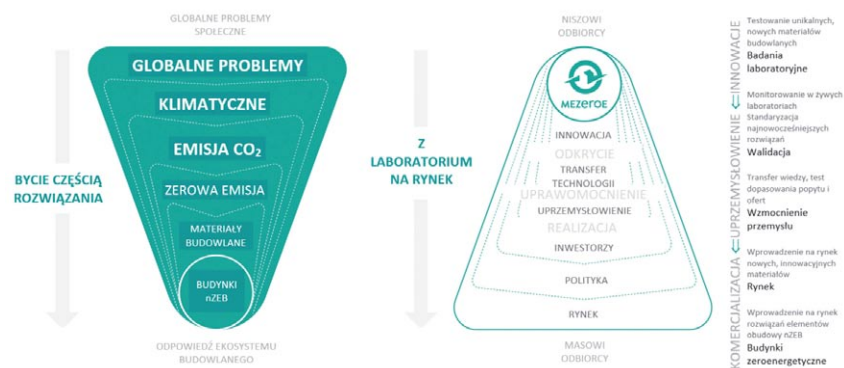
lub będących własnością władz publicznych od 1 stycznia 2027 r. Realizacja niniejszych celów będzie możliwa dzięki koncepcji budynków o niemal zerowym zużyciu energii (dalej: nZEB) [3, 8–11]. Obecnie w państwach członkowskich UE wznoszonych jest coraz więcej budynków nZEB [12]. Jednakże wynikająca ze zmian klimatycznych [12, 13] luka w zakresie efektywności energetycznej nowych budynków już na początku eksploatacji [14] sprawia, że wymagana jest również poprawa efektywności energetycznej istniejących już budynków nZEB. Niniejsza luka w efektywności energetycznej wynika z faktu, iż w całej Europie większość budynków została wybudowana przed wprowadzeniem norm cieplnych i przepisów dotyczących efektywności energetycznej [15, 16]. Zatem w celu zmniejszenia zużycia energii i emisji gazów cieplarnianych konieczna jest nie tylko budowa budynków nZEB, ale także modernizacja istniejących budynków. Przy czym kluczowym elementem do uzyskania akceptowalnego komfortu termicznego wewnątrz budynków jest ich obudowa [17].

W związku z czym wyzwaniem dla branży budowlanej jest zaspokojenie rosnącego zapotrzebowania na budynki nZEB i gospodarkę obiegu zamkniętego. Producenci materiałów budowlanych wdrażają innowacyjne rozwiązania, które mają szansę umożliwić powszechną budowę budynków nZEB, jednakże napotykają bariery prawne związane z brakiem procedur normalizacyjnych umożliwiających szybkie wprowadzenie na rynek innowacyjnych wyrobów budowlanych. W kolejnych latach wsparcie w tym zakresie również powinna wprowadzić wdrażana etapami nowa CPR – rozporządzenie 2024/3110 [18].

2. Opis projektu MEZeroE

Realizowany od stycznia 2021 roku Projekt Measuring Envelope products and systems contributing to next generation of healthy nearly Zero Energy Buildings (MEZeroE) [19] ma na celu stworzenie ekosystemu łączącego zaplecze infrastrukturalne oraz wiedzę ośrodków akademickich i badawczych z innowacyjnymi rozwiązaniami proponowanymi przez przemysł w postaci wielostronnego wirtualnego rynku, otwartego na wykorzystanie wymiany wiedzy i doświadczeń pomiędzy zainteresowanymi stronami z branży budowlanej. Zadaniem projektu jest uwzględnienie trendów Przemysłu 4.0 w zakresie szybkiego podejmowania decyzji oraz zorientowania na klienta otwartego na innowacje. Ze szczególnym uwzględnieniem producentów wyrobów budowlanych neutralnych pod względem emisji dwutlenku węgla i zdrowym środowisku wewnętrznym.

W ramach projektu testowane są wyroby: standardowe, zmodyfikowane oraz niestandardowe za pomocą najnowocześniejszych urządzeń. Zapewnione jest również wsparcie dla producentów w zakresie certyfikacji wyrobu i wprowadzeniu go na rynek. Standardowe testy, rozszerzone zostały o testy w żywych laboratoriach rozmieszczonych w całej Europie, w których wprowadzony zostanie



Rys. 1. Diagram MEZeroE (przygotowany przez COMPAZ www.compaz.art)

nowy parametr zmiennej nieinżynierskiej wyrażanej poprzez opinie użytkowników wynikające z komfortu użytkownika.

Głównym celem projektu jest budowa europejskiej platformy usługowej MEZeroE <https://mezeroe-platform.eu/> [20], która ma za zadanie wsparcie w zakresie przyspieszenia procesu oznakowania znakiem CE i wprowadzania na rynek innowacyjnych wyrobów i systemów budowlanych przyczyniających się do budowy zdrowych budynków nowej generacji nZEB.

Platforma usług MEZeroE <https://mezeroe-platform.eu/> [20] łączy zaplecze infrastrukturalne oraz wiedzę ośrodków akademickich i badawczych z innowacyjnymi rozwiązaniami proponowanymi przez przemysł w postaci wielostronnego wirtualnego rynku z jednym punktem wejścia (SEP – Single Entry Point), otwartego na wykorzystanie wymiany wiedzy i doświadczeń pomiędzy zainteresowanymi stronami z branży budowlanej. Ekosystem zapewnia usługi w zakresie: modelowania, testowania i monitorowania nZEB, przy jednoczesnym stworzeniu kompleksowego środowiska zarządzania wiedzą oraz szkoleń (rys. 1).

Na platformie [20] prezentowane są usługi:

- 9 pilotażowych linii pomiarowych i weryfikacyjnych (PM&VL – Pilot Measurement & Verification Line),
- 3 usługi otwartych innowacji (OIS – Open Innovation Service),
- żywe laboratoria (LL – Living Lab) oraz
- dodatkowe zasoby i wsparcie, w tym szkolenia, rozwój modelu biznesowego, systematyczne zarządzanie własnością intelektualną oraz wiedzą.

Finalnym celem projektu jest opracowanie przez OIS1 (jednostki oceny technicznej uprawnione do wydawania europejskich ocen technicznych (ETA) oraz jednostki certyfikujące wyroby budowlane) ścieżek informacyjnych w zakresie oznakowania CE różnych grup wyrobów budowlanych stosowanych w przegrodach zewnętrznych budynków. Ścieżki będą zawierać procedury zgodne z rozporządzeniem 305/2011 (CPR) [21] lub jego nowelizacją [18] oraz sposoby szybkiej standaryzacji i wprowadzania innowacyjnych wyrobów na rynek z wykorzystaniem ETA [22].

Projekt MEZeroE na Wydziale Inżynierii Ładowej Politechniki Krakowskiej (WIL PK) jest realizowany od stycznia 2021 r. do stycznia 2026 r. Pierwszy etap projektu polegał na zbudowaniu, uruchomieniu i przetestowaniu linii badawczych (PM&VL) w jednostkach naukowo-badawczych biorących udział w projekcie. Linie badawcze zostały przetestowane podczas badań innowacyjnych

wyrobów budowlanych produkowanych przez partnerów przemysłowych projektu MEZeroE. Celem niniejszego artykułu jest opis możliwości badawczych linii Pilot Measurement & Verification Line (PM&VL7), która została utworzona i przetestowana na WIL PK w ramach projektu MEZeroE, a także jej prezentację na platformie usług MEZeroE.

3. Linia badawcza PM&VL7

Linia badawcza PM&VL7: Badania mechaniczne i trwałościowe złączy oraz ich wpływ na komfort wibroakustyczny, termiczny i mikroklimatyczny została zdefiniowana jako jedna z dziewięciu linii pilotażowych pomiarów i weryfikacji. Na potrzeby realizacji projektu MEZeroE na WIL PK został utworzony interdyscyplinarny, międzysektorowy zespół badawczy – PM&VL7. W skład zespołu wchodzi około 30 pracowników z 10 jednostek WIL PK. PM&VL7 została podzielona na cztery sublinie badawcze:

- sublinia mechaniczna (7.1),
- sublinia trwałościowa (7.2),
- sublinia wibroakustyczna (7.3),
- sublinia komfortu termicznego i mikroklimatu (7.4).

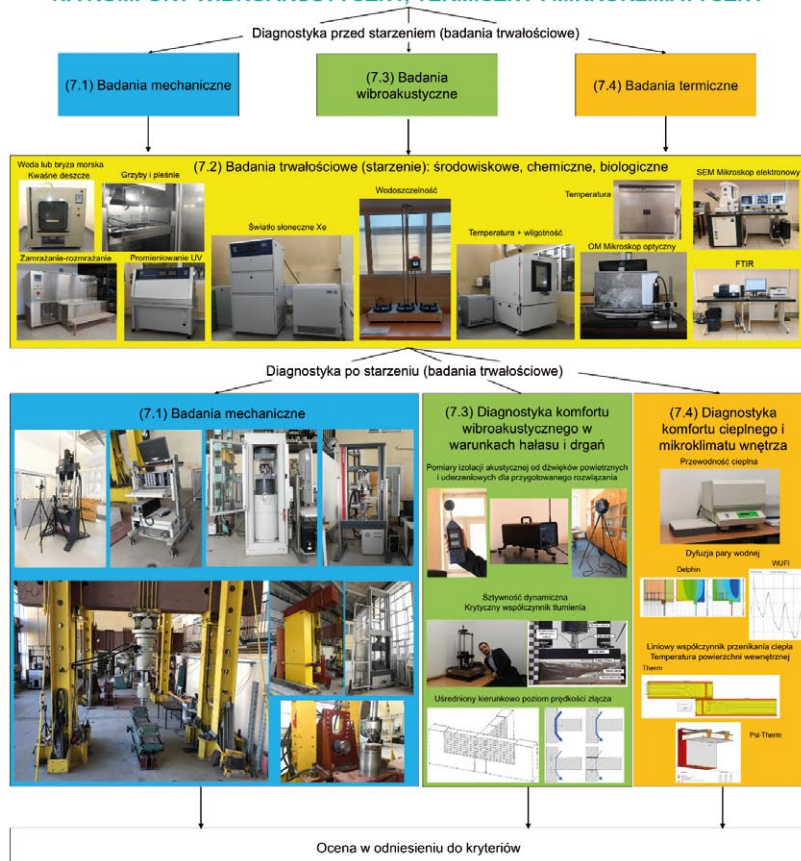
Badania mechaniczne, wibroakustyczne i termiczne są wykonywane jako niezależne testy lub stanowią cechy diagnostyczne przed i po starzeniu. W ramach sublinii (7.2) badania trwałościowe obejmują starzenie oraz diagnostykę przed, po i w trakcie starzenia. Diagnostyka starzeniowa, oprócz testów wymienionych powyżej, obejmuje obserwacje mikroskopem optycznym OM i skaningowym SEM, a także analizy chemiczne FTIR (rys. 2). Badania realizowane są w laboratoriach akredytowanych WIL PK i nadzorowane w zakresie spełnienia wymagań certyfikacyjnych.

Zespół PM&VL7 w ramach zadania polegającego na testowaniu linii badawczych przygotował 32 nowe stanowiska badawcze, opracował nowe, w wielu przypadkach innowacyjne procedury badawcze, które przetestował na 10 typach wyrobów budowlanych. Linia badawcza PM&VL7, przy realizacji oraz ustalaniu zakresu badań współpracowała z partnerami projektu, którzy utworzyli pozostałe osiem PM&VL:

- Fundacion Tecnalia Research & Innovation (TECNALIA) – PM&VL1,
- Accademia Europea Di Bolzano (EURAC) – PM&VL2,
- Acondicionamiento Tarrasense Asociacion (LEITAT) – PM&VL3&4,
- Danmarks Tekniske Universitet (DTU) – PM&VL5,
- Politecnico Di Milano (POLIMI) – PM&VL6,
- Universitaet Innsbruck (UIBK) – PM&VL8,
- Zavod Za Gradbenstvo Slovenije (ZAG) – PM&VL9.

W ramach testów PM&VL7 pracownicy WIL zrealizowali badania wyrobów budowlanych czterech europejskich partnerów przemysłowych:

PM&VL7: BADANIA MECHANICZNE I TRWAŁOŚCIOWE ZŁĄCZY ORAZ ICH WPŁYW NA KOMFORT WIBROAKUSTYCZNY, TERMICZNY I MIKROKLIMATYCZNY



Rys. 2. Schemat linii badawczej PM&VL7

- Membrany, taśmy oraz połączenia membrana-taśma-membrana włoskiej firmy Rothoblaas,
- Kurtyny oraz wsporniki elewacyjne hiszpańskiej firmy Flexbrick,
- Ramy okienne oraz płyty warstwowe hiszpańskiej firmy Indresmat,
- Kompozyty, iniekcje i powłoki firmy Flex&Robust [23, 24].

PM&VL7, jako jedna z dziewięciu linii badawczych, prezentuje usługi na cyfrowej platformie usług MEZeroE <https://mezeroe-platform.eu/> [20].

W ramach projektu MEZeroE na potrzeby linii badawczej PM&VL7 zakupiono aparaturę do badań min.: siłownik hydrauliczny pracujący w trybie statycznym i dynamicznym, głośnik wszechkierunkowy, stukacz znormalizowany, boom obrotowy oraz zaawansowany analizator dźwięku do badań wibroakustycznych, do badań starzeniowych komory XE, UV, deszczu, kondensacji, zmiennej temperatury oraz zmiennej wilgotności względnej, spektrometr FTIR z transformacją Fouriera z przystawką ATR, a także oprogramowanie do obróbki danych pomiarowych oraz urządzenia pomocnicze ułatwiające przeprowadzanie pomiarów.

Głównym zadaniem PM&VL7 jest opracowanie szczegółowych procedur testowych do oceny bezpieczeństwa łączników, rozpatrywanych jako połączenia między elementami obudowy i połączenia między panelami obudowy a elementami konstrukcyjnymi. Linia PM&VL7 pozwala

użytkownikom na przeprowadzenie typowych testów połączeń i zbadanie ich bezpieczeństwa w użytkowaniu, z odniesieniem do komfortu wibroakustycznego i termowilgotnościowego (zdefiniowanego w normach europejskich, jak i niezdefiniowanego w nich). Jako wartość dodaną PM&VL7 obejmuje dodatkowe testy charakteryzujące wpływ czynników środowiskowych, chemicznych, biologicznych i mechanicznych (trwałość) na obniżenie bezpieczeństwa użytkownika połączeń i utratę parametrów wibroakustycznych i termowilgotnościowych elementów nZEB z powodu działania tych pogarszających się. Ze względu na fakt, iż połączenia stanowią najsłabsze ogniwa budynków nZEB, a także uwzględniając poziom istotności, linia badawcza PM&VL7 zajmuje się jednymi z najistotniejszych elementów niniejszych budynków.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono możliwości badawcze utworzonej i przetestowanej w ramach projektu MEZeroE na WIL PK linii badawczej PM&VL7: Badania mechaniczne i trwałościowe złączy oraz ich wpływ na komfort wibroakustyczny, termiczny i mikroklimatyczny.

Głównym zadaniem PM&VL7 jest opracowanie szczegółowych procedur testowych do oceny bezpieczeństwa łączników, rozpatrywanych jako połączenia między elementami obudowy i połączenia między panelami obudowy a elementami konstrukcyjnymi. Linia PM&VL7 pozwala użytkownikom na przeprowadzenie typowych testów połączeń i zbadanie ich bezpieczeństwa w użytkowaniu, z odniesieniem do komfortu wibroakustycznego i termowilgotnościowego (zdefiniowanego w normach europejskich, jak i niezdefiniowanego w nich).

Jako wartość dodaną PM&VL7 obejmuje dodatkowe testy charakteryzujące wpływ czynników środowiskowych, chemicznych, biologicznych i mechanicznych (trwałość) na obniżenie bezpieczeństwa użytkownika połączeń i utratę parametrów wibroakustycznych i termowilgotnościowych elementów nZEB z powodu działania tych pogarszających się.

W artykule przedstawiono również platformę MEZeroE łączącą naukę z biznesem, na której PM&VL7 wraz z ośmioma liniami utworzonymi przez europejskie instytuty badawcze i uniwersytety techniczne prezentuje swoje usługi. Platforma wspiera i przyspiesza proces oznakowania znakiem CE oraz wprowadzanie na rynek innowacyjnych wyrobów budowlanych, przede wszystkim stosowanych w budynkach zeroenergetycznych. Platforma jest ogólnodostępna pod adresem <https://www.mezeroe-platform.eu/>, gdzie producenci nowoczesnych wyrobów budowlanych mogą uzyskać dodatkowe informacje oraz dołączyć do społeczności MEZeroE.

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] IPCC, Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6), IPCC: Geneva, Switzerland, 2023, <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>, dostęp: 25.02.2025
- [2] Agency I. E., CO₂ Emissions in 2023. 2024, <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>, dostęp: 25.02.2025
- [3] 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, tom 301, 2023
- [4] Europejski Zielony Ład, COM/2019/640 final 2019, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN-PL/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>, dostęp: 25.02.2025
- [5] Plan REPowerEU, COM/2022/230 final. 2022, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2022:230:FIN>, dostęp: 25.02.2025
- [6] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej, <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj>, dostęp: 25.02.2025
- [7] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2002 z dnia 11 grudnia 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej, <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2002/oj>, dostęp: 25.02.2025
- [8] Carmen M. et al., Towards a decarbonised building stock by 2050: The meaning and the role of zero emission buildings (ZEBs) in Europe, Energy Strategy Reviews, tom 44, 2022
- [9] Chen X., Vand B., Baldi S., Challenges and Strategies for Achieving High Energy Efficiency in Building Districts, Buildings 14(6)2024
- [10] Kang K., Kim D., Energy Performance and Cost-Effectiveness Assessment towards the Nearly Zero-Energy School Buildings in Mild Climates, Buildings 14(4)2024
- [11] Piaia E. et al., Advancing the Decarbonization of the Construction Sector: Lifecycle Quality and Performance Assurance of Nearly Zero-Energy Buildings, Sustainability 16(9)2024
- [12] Lane A., Cehlin M., Thollander P., Success Factors and Barriers for Facility Management in Keeping Nearly-Zero-Energy Non-Residential Buildings Energy-Efficient over Time, Buildings 14(1)2024
- [13] Abolhassani S. et al., A systematic methodological framework to study climate change impacts on heating and cooling demands of buildings, Journal of Building Engineering, tom 63, 2023
- [14] D'Agostino D. et al., Impact of climate change on the energy performance of building envelopes and implications on energy regulations across Europe, Energy, tom 288, 2024
- [15] Lis A., Thermal modernization of building resources in line with the transformation towards a climate-neutral economy in Polish conditions, Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 76, 2023, str. 5-16
- [16] López-Ochoa, L., et al., Towards Nearly Zero-Energy Buildings in Cold Rural Mediterranean Zones: The Case of La Rioja (Spain), Buildings 13(3)2023
- [17] D'Agostino D., et al., How will future climate impact the design and performance of nearly zero energy buildings (NZEBs)? Energy, tom 240, 2022
- [18] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/3110 z dnia 27 listopada 2024 r. w sprawie ustanowienia zharmonizowanych zasad wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylenia rozporządzenia (UE) nr 305/2011, <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/3110/oj>, dostęp: 25.02.2025
- [19] 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/>, dostęp: 25.02.2025
- [20] <https://mezeroe-platform.eu/>, dostęp: 25.02.2025
- [21] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) NR 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32011R0305>, dostęp: 25.02.2025
- [22] 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
- [23] Górszczyk J., Malicki K., Kwiecień A., Laboratory Investigation on Dynamic Complex Modulus of FRPU Composite, Materials 17(24)2024
- [24] 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