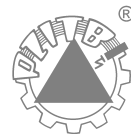


PRZEGŁĄD budowlany



96 lat

CZASOPISMO POLSKIEGO ZWIĄZKU INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW BUDOWNICTWA

NR 2/2025

80 LAT

80 LAT BUDOWNICTWA
NA POLITECHNICE
POZNAŃSKIEJ

BUDYNEK BUDOWNICTWA

POLITECHNIKA
POZNAŃSKA
A2

WYDZIAŁ
INŻYNIERII LĄDOWEJ
I TRANSPORTU
INSTYTUT ANALIZY
KONSTRUKCJI
INSTYTUT BUDOWNICTWA
INSTYTUT
INŻYNIERII LĄDOWEJ

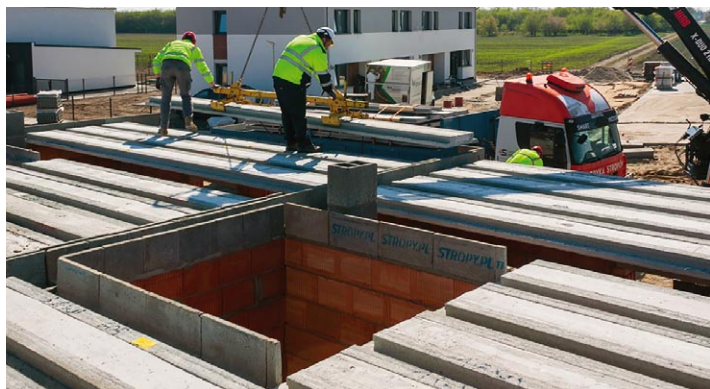
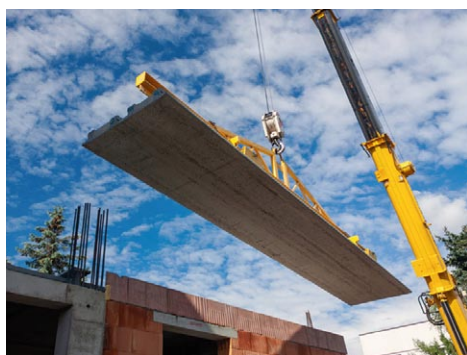
WYDAWNICTWO
POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ



POLITECHNIKA
POZNAŃSKA

WYDZIAŁ
INŻYNIERII ŚRODOWISKA
I ENERGETYKI

POZNAJ STROPY PANELOWE: SMART, S-PANEL, VECTOR



STROPY.PL

PROJEKT PRODUKCJA MONTAŻ

The STIHL logo is displayed in white, italicized, sans-serif capital letters within an orange rectangular box.

NOWOŚĆ

REZERWA MOCY PRZY KAŻDYM ZADANIU



STIHL TS 910i
NAJLEPSZY STOSUNEK MOCY DO MASY NA RYNKU!

NOWE PRZECINARKI SPALINOWE STIHL TS 710i ORAZ TS 910i

Przecinarki wyposażono w najnowsze silniki STIHL z bezpośrednim wtryskiem paliwa z technologią 2-MIX, uzyskując wzrost sprawności do 30% i wysoki moment obrotowy przy znacznej redukcji jednostkowego zużycia paliwa. Urządzenia charakteryzują się zupełnie nową, sztywną konstrukcją zachowując solidność poprzednich modeli. Uproszczono uruchamianie maszyn tylko do dwóch kroków.

W ofercie również szeroka gama akcesoriów i tarcz diamentowych oraz ściernic STIHL.



WIĘCEJ INFORMACJI U AUTORYZOWANYCH
DEALERÓW STIHL ORAZ NA **WWW.STIHL.PL**

PRZEGLĄD budowlany

Marzec–Kwiecień 2025

„Przegląd Budowlany” – czasopismo naukowo-techniczne od roku 1929 promujące polski przemysł budowlany, właścicielem jest Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa, którego celem jest transfer wiedzy z zakresu inżynierii lądowej do praktyki budowlanej w zakresie planowania inwestycji, wykonawstwa, projektowania i utrzymania obiektów budowlanych z zastosowaniem nowoczesnych materiałów i technologii informatycznych.

Czasopismo publikuje:

- oryginalne artykuły prezentujące rozwiązania problemów naukowo-technicznych ze wszystkich specjalności inżynierii lądowej i architektury,
- informacje o nowych normach i kierunkach ich zmian,
- informacje promujące nowoczesne materiały i technologie, w tym technologie informatyczne (np. BIM),
- prezentacje nowych inwestycji i zastosowań nowoczesnych technologii,
- informacje na temat działalności Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa, w szczególności Zarządu Głównego PZITB i poszczególnych oddziałów, w tym informacje o planowanych i odbytych wydarzeniach,
- materiały dotyczące konferencji naukowo-technicznych,
- prezentacje prac dyplomowych oraz innych prac technicznych podejmowanych przez studentów kierunku Budownictwo.

Główne obszary tematyczne to:

- nowe technologie i materiały dla budownictwa, szczególnie rozwiązania ekologiczne,
- ocena stanu technicznego, wzmacnianie i renowacje obiektów budowlanych,
- badania służące rozwiązywaniu problemów technicznych inżynierii lądowej,
- narzędzia informatyczne służące procesowi budowlanemu,
- prawo budowlane,
- zarządzanie przedsięwzięciami budowlanymi,
- kształcenie kadr dla budownictwa,
- bezpieczeństwo pracy w budownictwie.

Artykuły problemowe są recenzowane.

Zgodnie z komunikatem Ministra Nauki z 5 stycznia 2024 r. autor za publikację artykułu w „Przeglądzie Budowlanym” uzyskuje 40 pkt.

„Przegląd Budowlany” jest rejestrowany w bazie danych o zawartości polskich czasopism technicznych BazTech, Index Copernicus Journals Master List, Crossref, Google Scholar oraz POL-index.

Redakcja: ul. Świętokrzyska 14 A,
00–050 Warszawa
tel./faks: (22) 826–67–00
Internet: www.przegladbudowlany.pl
Wersja papierowa czasopisma
jest wersją pierwotną

Redaktor Naczelna:

mgr inż. Grażyna Furmańczyk-Ziemińska
biuro@przegladbudowlany.pl

Marketing i reklama: reklama@przegladbudowlany.pl

Redaktor językowy: mgr inż. Teresa Jędrzejewska

Wydawca: Fundacja PZITB

ul. Świętokrzyska 14 A, 00–050 Warszawa

Przewodniczący Fundacji: mgr inż. Ryszard Trykosko

Prezes Zarządu Fundacji: mgr inż. Wiktor Piwkowski



2 Spis treści

WYDARZENIA

NASZE SPRAWY – AKTUALNOŚCI

- 5 Polski Herkules 20-lecia Polski w UE dla przewodniczącej PZITB i przewodniczącego Rady Fundacji PZITB
- 6 Ekoszt – kompleksowe rozwiązanie do obsługi zleceń i kosztorysowania on-line – Athenasoft
- 7 ArCADia BIM 15 – nowa przełomowa wersja – INTERsoft

ARTYKUŁY PROBLEMOWE

JUBILEUSZ 80-LECIA BUDOWNICTWA NA POLITECHNICIE POZNAŃSKIEJ

- 9 Utworzenie Wydziału Inżynierii Lądowej i Transportu – Jacek Pielecha
- 10 Osiemdziesiąt lat BUDOWNICTWA na Politechnice Poznańskiej – Józef Jaszcak
- 14 Metody monitorowania stanu technicznego konstrukcji drewnianych w budynkach zabytkowych – Zdzisław Pawlak, Piotr Marciniak, Ireneusz Wyczałek
- 18 Paszporty Materiałowe i Cyfrowe Paszporty Produktów jako wspomaganie zamkniętego obiegu budownictwa – Adam Glema, Joanna A. Pawłowicz
- 22 Praktyczne aspekty nadzoru nad wyposażeniem laboratorium badawczego – Monika Chuda-Kowalska
- 26 Ocena wpływu wymiarów próbek na wytrzymałość betonu samozagęszczalnego: badania polowe i laboratoryjne w odniesieniu do PN-EN 12504-1 – Łukasz Józefczyk, Zbigniew Pozorski, Tomasz Adamczuk
- 30 Porównanie tradycyjnych i nowoczesnych metod inwentaryzacji na przykładzie holu budynku A2 Politechniki Poznańskiej – Anna Knitter-Piątkowska, Maciej Urbaniak, Jan Wilak
- 34 Katastrofa dachu sali gimnastycznej w wyniku ekstremalnych opadów – analiza przyczyn, skutków i działań naprawczych – Maciej Przychodźki
- 38 Wstępna ocena nośności belki z drewna świerkowego za pomocą analizy numerycznej – Marcin Zieliński, Maciej Przychodźki, Marcin Chybiński, Łukasz Polus, Michał Guminiak
- 41 Projektowanie uniwersalne w odniesieniu do remontów i modernizacji budynków – Marcin Kanoniczak, Monika Siewczyńska, Marlena Kucz
- 45 Wady w robotach budowlanych – spojrzenie praktyczne w znaczeniu technicznym i prawnym – Marcin Gajzler, Jakub Banach
- 50 Ocena planowania i nadzoru nad działaniami operacyjnymi w świetle Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem ISO 45001 w przedsiębiorstwach budowlanych w Polsce – Piotr Nowotarski
- 54 System doradczy przy betonowaniu w obniżonej temperaturze – Andrzej Karłowski, Jerzy Paślawski
- 57 Preferencje pasażerów dotyczące planowania przystanków kolei aglomeracyjnych w świetle badań ankietowych – Krzysztof Karol Kotecki
- 61 Modelowanie przedsięwzięcia budowlanego w ujęciu BIM i klasyfikacji komponentów w aspekcie kompromisów konstrukcyjno-montażowych – Tomasz Wiatr
- 65 Efekt „białego słonia” w infrastrukturze sportowej – wyzwania i konsekwencje – Maria Kośmiejka
- 69 Wieloletnia kontrola geodezyjna mostu wiszącego Garbary w Poznaniu – Tomasz Berliński, Jerzy Jabłoński, Janusz Karlikowski, Robert Nowak, Wojciech Siekierski, Marek Przybyła, Ireneusz Wyczałek
- 73 Wybrane kierunki współczesnych innowacyjnych rozwiązań w drogach kolejowych – Włodzimierz Bednarek
- 78 Wykorzystanie bezałogowych statków powietrznych przy projektowaniu i utrzymaniu dróg – Marcin Bilski, Anna Małek
- 82 Awaria nasypu drogowego posadowionego na gruntach słabonośnych w dolinie rzeki – Michalina Flieger-Szymańska, Dorota Anna Krawczyk, Katarzyna Machowiak, Andrzej Wojtasik

Rada Naukowa

prof. nadzw. dr hab. inż. Tomasz Z. Błaszczyński
 prof. dr hab. inż. Ewa Błazik Borowa
 dr hab. inż. Janusz Bohatkiewicz
 prof. dr hab. inż. Wiesław Buczkowski
 prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielewski
 prof. dr hab. inż. Jan Deja
 prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec
 dr hab. inż. Wojciech Drozd
 dr inż. Robert Geryło
 dr hab. inż. Tomasz Godlewski
 prof. dr hab. inż. Kazimierz Furtak
 prof. dr hab. inż. Stanisław Gaca
 prof. dr hab. inż. Wiesław Głódkowski
 prof. dr hab. inż. Bożena Hoła
 prof. dr hab. inż. Jacek Hulimka
 prof. dr hab. inż. Maria Kaszyńska
 prof. dr hab. inż. Robert Kowalski
 prof. dr hab. inż. Henryk Nowak
 dr hab. inż. Beata Nowogońska
 prof. dr hab. inż. Adam Podhorecki
 dr hab. inż. Jolanta Prusiel
 prof. dr hab. inż. Elżbieta Radziszewska-Zielina
 dr hab. inż. Teresa Rucińska
 prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz
 dr hab. inż. Barbara Rymśza
 dr hab. inż. Marek Salamak
 prof. dr hab. inż. Dariusz Skorupka
 prof. dr hab. inż. Anna Sobotka
 dr hab. inż. Jacek Szer
 prof. dr hab. inż. Wiesław Trąpczyński
 dr hab. inż. Ryszard Walentyński
 prof. Wiktor Kwasza, Hnidec Institute of Building, Lwów
 prof. dr hab. inż. Bogdan Nazarewicz, Politechnika Lwowska
 prof. dr-ing. Piotr Noakowski, Technische Universität Dortmund
 prof. dr inż. Andrzej Nowak, dr h.c. Auburn University, Alabama
 prof. Hartmut Pasternak, BTU Cottbus, Niemcy
 doc. dr inż. Jacek Roszak, Lund University, Szwecja

Rada Programowa Czasopism i Wydawnictw PZITB w kadencji 2024–2028**Przewodnicząca:** prof. dr hab. inż. Anna Halicka**Wiceprzewodniczący:** prof. dr hab. inż. Jacek Hulimka**Wiceprzewodnicząca:** dr hab. inż. Teresa Rucińska**Sekretarz:** dr inż. Joanna Laskowska-Bury

mgr inż. Włodzimierz Babczyński

dr hab. inż. Bernadeta Dębska

prof. dr hab. inż. Jacek Domski

prof. dr hab. inż. Barbara Goszczyńska

dr hab. inż. Marta Kadela

prof. dr hab. inż. Eugeniusz Koda

dr inż. Marlena Kucz

dr hab. inż. Beata Nowogońska

dr hab. inż. Jolanta Prusiel

prof. dr hab. inż. Elżbieta Radziszewska-Zielina

dr hab. inż. Elżbieta Szafranko

dr hab. Małgorzata Ulewicz

prof. dr hab. inż. Tadeusz Urban

dr hab. inż. Ryszard Walentyński

prof. dr hab. inż. Adam Wysokowski

Kolegium Redakcyjne:

dr inż. Piotr Gryszpanowicz

dr inż. Piotr Knyziak

dr inż. Paweł A. Król

dr inż. Wioletta Jackiewicz-Rek

mgr inż. Jan Sieczkowski

dr hab. inż. Anna Szymczak-Graczyk

Redaktor statystyczny: dr hab. inż. Barbara Ksit**Okladka:** 80 lat Budownictwa na Politechnice Poznańskiej.

Fot. dr inż. Marlena Kucz, prof. PP

Cena 1 egz. 44,00 zł (plus 8% VAT)

Prenumerata i sprzedaż: tel./faks: (22) 826–67–00

DTP: mediaNOVA Jacek Gacukowicz **Drukarnia:** Edit

Materiałów niezamówionych redakcja nie zwraca i zachowuje sobie prawo do skrótów, zmian tytułów i wprowadzania śródtytułów. Nie ponosi też odpowiedzialności za treść reklam.

86 Przegląd metod laboratoryjnych i mobilnych urządzeń pomiarowych stosowanych w diagnostyce nawierzchni eksploatowanych na sieciach drogowych – Przemysław Górnaś, Marta Mielczarek, Sylwia Fornalczyk, Andrzej Pożarycki, Mieczysław Słowik

90 Węzły przesiadkowe na trasie PST w Poznaniu i ich dostępność dla użytkowników ze szczególnymi potrzebami – Iwona Jankowiak, Michał Pawłowski, Elżbieta Plucińska, Jeremi Rychlewski

95 Przegląd i analiza podejścia projektantów do posadowienia domów jednorodzinnych w projektach udostępnionych przez GUNB – Adam Duda

JUBILEUSZ

100 Pięciolecie Katedry Budownictwa Ogólnego Politechniki Wrocławskiej – Krzysztof Schabowicz

REMO 2025

103 Problematyka napraw, wzmocnień i wymiany elementów konstrukcyjnych stropów w budynkach istniejących. Część I – Ryszard Antonowicz, Jacek Dudkiewicz

106 Zabezpieczenie detalu architektonicznego obiektu zabytkowego z zastosowaniem fotogrametrii. Część I – Anna Banaś, Maciej Niedostatkiwicz

109 Problemy konstrukcyjne związane z przebudową i rozbudową istniejącej hali przemysłowej na centrum sportowo-rekreacyjne – Grzegorz Dmochowski, Jerzy Szolomicki

112 Kompleksowa ocena stanu technicznego zabytkowego budynku na przykładzie Villi Colonia we Wrocławiu – Grzegorz Dmochowski, Jerzy Szolomicki

115 Diagnostyka elementów więźby dachowej w XV-wiecznym kościele w Sierotach – Joanna Drobiec, Beata Nowogońska

118 Odbudowa oficyny pałacu Tiele-Wincklerów w Bytomiu-Miechowicach – Łukasz Drobiec

123 Docieplanie dachów skośnych w kontekście efektywności energetycznej na przykładzie budynku jednorodzinnego – Wojciech Drozd, Tomasz Gurdek

126 Własności cieplne ścian w tradycyjnych budynkach z opoki – Aleksandra Gorączko, Marcin Gorączko, Paula Szczepaniak

129 Badania wilgotności. Część I. Przyczyny i skutki zawilgocenia murów – Tomasz Gorzelańczyk, Krzysztof Schabowicz

133 Badania wilgotności. Część II. Wybrane metody pomiaru wilgotności – Tomasz Gorzelańczyk, Krzysztof Schabowicz

137 Wpływ dobudowy budynku na stan kamienicy o konstrukcji tradycyjnej – Adam Klimek, Mateusz Napiórkowski

140 Problemy eksploatacji i napraw ścian osłonowych – Ołeksij Kopyłow

144 Problemy technologiczno-organizacyjne przy realizacji robót remontowych zabytkowej kamienicy – Renata Kozik, Patrycja Karcińska, Monika Górka-Stańczyk, Aleksandra Dziwura

147 Zarządzanie przedsięwzięciami remontowymi w obiektach dziedzictwa przemysłowego – studium przypadku elektrownia wodna – Aleksandra Kurowska, Beata Nowogońska, Dominik Rajchel

151 Badania zawilgocenia w obiektach budowlanych z wykorzystaniem współcześnie stosowanych technik pomiarowych – Tomasz Łakomy

154 Monitorowanie i kontrola procesu osuszania zawilgoconych przegród budowlanych – Bartłomiej Monczyński

157 Analiza cyfrowa i termograficzna zawilgocenia okładzin i ścian budynków po powodzi – Anna Ostańska, Anna Saj

160 Długoterminowe strategie renowacji budynków w wybranych krajach Unii Europejskiej – Edyta Plebankiewicz, Patrycja Karcińska, Jakub Grącki

163 Rola inżyniera budownictwa – rzeczoznawcy majątkowego w procesie szacowania szkód powodziowych – Monika Podworna, Mariola Ślusarek-Furgalska

166 Remont budynków mieszkalnych w zabudowie miejskiej Londynu – studium przypadków – Marek Sawicki, Adam Sawicki

169 Powódź w gospodarstwie domowym – postępowanie w przypadku nieprawidłowości rozwiązań prac remontowych budynku przedstawionych przez ubezpieczyciela; prawa ubezpieczonego – Agnieszka Sikorska, Krystian Sikorski, Rafał Lichoła, Izabela Skrzypczak, Anna Martyka

- 172** Odbudowa obiektów budowlanych na terenach popowodziowych – Martyna Sługocka
- 175** Procedura legalizacji samowoli budowlanej w obiektach zabytkowych – Martyna Sługocka, Mateusz Szymków
- 178** Modele pracy termoizolacji w obszarze wieńca w dachach z kratownic prefabrykowanych – Mateusz Smoczyk, Barbara Ksit, Anna Szymczak-Graczyk
- 181** Badanie wpływu zastosowania taśm stalowych i kompozytowych na ograniczenie przemieszczeń i odkształceń zginanych stalowych profili cienkościennych – Ilona Szewczak
- 184** Kosztorysowanie nowych rozwiązań wykonawczych w pracach remontowo-konserwatorskich w obiektach zabytkowych – Mateusz Szymków
- 187** Proces projektowania infrastruktury na potrzeby powodzi błyskawicznych na przykładzie zadania w gminie Camporosso (Liguria, Włochy) – Marcin Szyszka
- 190** Uszkodzenia podbudowy betonowych posadzek przemysłowych w następstwie zmian właściwości podłoża gruntowego – Sylwia Świątek-Żołyńska, Maciej Niedostatkiwicz
- 193** Konsekwencje zalania wodą powodziową dla ścian budynków ogrzewanych – Maria Wesołowska
- 196** Wpływ jakości wykonania na izolacyjność termiczną ściany jednowarstwowej z ABK – Maria Wesołowska, Daniel Liczkowski
- 199** Nieniszcząca diagnostyka zabytkowego sklepienia z wykorzystaniem georadaru i termografii – Błażej Woźny, Tomasz Ciborowski, Erwin Wojtczak, Magdalena Rucka, Sylwester Pluta, Paweł Stalmach

BUDIN 2025

- 203** Zastosowanie BIM oraz druku 3D w rozwiązywaniu problemów inżynierskich na przykładzie niepożądanego obrotu słupów wahadłowych – Mariusz Cesarz, Krzysztof Schabowicz
- 206** Rodzaje, przyczyny i skutki opóźnień w procesach budowlanych – Agnieszka Dziadosz, Mariusz Rejment, Igor Fojt
- 209** Nieniszczące określanie grubości i wytrzymałości na ściskanie betonowych elementów dostępnych jednostronnie na przykładzie Trzonolinowca – Tomasz Gorzelańczyk, Krzysztof Schabowicz
- 212** Metody kontraktowania robót budowlanych – Jarosław Konior
- 215** Optymalizacja dostępności światła naturalnego z wykorzystaniem metodyki modelowania parametrycznego na przykładzie budynku mieszkalnego – Rafał Lichołaj, Krystian Sikorski, Izabela Skrzypczak, Anna Martyka
- 218** Zmieniająca się struktura wiekowa kadry budowlanej w Polsce – Adrian Michalski, Michał Kropiewnicki, Krzysztof Ofierzyński, Sandra Ostałowska, Mariusz Szóstak
- 221** Znaczenie interpretacji termogramów w termicznej diagnostyce budynków – Henryk Nowak
- 224** Linia badawcza PM&VL7: Badania mechaniczne i trwałościowe złączy oraz ich wpływ na komfort wibroakustyczny, termiczny i mikroklimatyczny – Aneta Nowak-Michta
- 228** Dobrostan w branży budowlanej – Julita Petecka, Sandra Ostałowska, Mariusz Szóstak, Maciej Wasik
- 231** Wybrane rozwiązania konstrukcyjne domu energooszczędnego o konstrukcji drewnianej ze ścianą warstwową – Krzysztof Schabowicz, Jan Kubica, Janusz Brol, Bernard Kotala, Marek Węglorz, Roman Pilch
- 234** Kontrola jakości drogowego podłoża konstrukcyjnego z wykorzystaniem narzędzi BIM. Część I. Wprowadzenie i schemat metodyki badań – Elżbieta Szafranko, Magdalena Czyż, Maciej Lis
- 237** Zastosowanie egzoszkieletów w budownictwie – Mariusz Szóstak, Urszula Solczak
- 240** Optymalizacja zarządzania zasobami w cyklu realizacji roboty budowlanej z wykorzystaniem modelu Dynamiki Systemów – Grzegorz Śladowski, Bartłomiej Szewczyk, Bartłomiej Sroka
- 243** Rola Digital Twin w zarządzaniu i monitorowaniu budynków – zarys teoretyczny – Krzysztof Zima, Sebastian Biel, Ewelina Mitera-Kielbasa

REFERATY PREZENTOWANE NA KONFERENCJACH REMO I BUDIN

- 246** Streszczenia
- 254** Konferencje



Polski Herkules 20-lecia Polski w UE dla przewodniczącej PZITB i przewodniczącego Rady Fundacji PZITB

20 marca w Warszawie odbyła się gala organizowana przez miesięcznik „Builder”, podczas której nagrodzono wybitnych przedstawicieli branży budowlanej i architektonicznej, nauki oraz edukacji, którzy w okresie członkostwa Polski w UE wywarli wielki wpływ na rozwój polskiej gospodarki.

Laureaci Polskiego Herkulesa 20-lecia to wybitni przedstawiciele rynku budowlanego, którzy w ciągu ostatnich dwóch dekad rozwijając swoją działalność, budowali silne, nowoczesne, zrównoważone środowiskowo polskie budownictwo, stawiając czoła licznyim wyzwaniom, w tym – dużej konkurencji oraz rosnącym wymaganiom wynikającym z europejskich standardów budowlanych i polityki proekologicznej.

W gronie laureatów nagrody Polski Herkules 20-lecia znalazła się prof. dr hab. inż. Maria Kaszyńska – przewodnicząca Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa,

przewodnicząca Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN. W latach 2012-2020 pełniła funkcję Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury ZUT w Szczecinie, była kierownikiem Katedry Konstrukcji Żelbetowych i Technologii Betonu, w której obecnie pracuje oraz mgr inż. Ryszard Trykosko – przewodniczący Rady Fundacji PZITB, wiceprezes dr. rozwoju i biznesu NDI, były przewodniczący PZITB w kadencjach 2012–2020.



Serdecznie gratulujemy nagrody!

Branżowe Centrum Umiejętności w dziedzinie prace budowlane

zaprasza na bezpłatne szkolenia dla osób z terenu całego kraju powyżej 25 roku życia, które aktualnie związane są z branżą budowlaną i pracują czynnie lub kształcą się w wybranym zawodzie, osoby zainteresowane podniesieniem swoich kwalifikacji oraz nowymi technologiami używanymi w budownictwie, osoby pozostające bez pracy, chcące zmienić zawód lub kwalifikację na związaną z dziedzina prac budowlanych.

Każde szkolenie zawiera moduł cyfrowy oraz umiejętności związanych z transformacją ekologiczną (tzw. zielone umiejętności). BCU jest nową, zaawansowaną formą edukacji zawodowej. To ośrodek kształcenia, szkolenia i egzaminowania w dziedzinie prac budowlanych.

Do wyboru jedno z następujących szkoleń:

- Niskoemisyjne technologie w budownictwie
- Wykonywanie hydroizolacji

Moduły cyfrowe do wyboru w ramach tych szkoleń:

- Kosztorysowanie nowoczesnych technologii budowlanych w programie Norma Pro
- Podstawy projektowania w programie AutoCAD

Kontakt:

Branżowe Centrum Umiejętności w dziedzinie prace budowlane
20-001 Lublin, Aleje Racławickie 5
www.bcu-lublin.pl
zgloszenia@bcu-lublin.pl
Tel. 733 155 199



Sfinansowane przez
Unię Europejską
NextGenerationEU



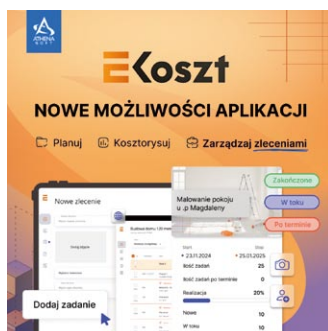
Ekoszt – kompleksowe rozwiązanie do obsługi zleceń i kosztorysowania on-line

W styczniu firma Athenasoft wprowadziła na rynek nową wersję aplikacji Ekoszt – narzędzie webowe, które łączy w sobie obsługę zleceń, kosztorysowanie oraz organizację dokumentacji w jednym miejscu.

Ekoszt to dedykowane rozwiązanie dla firm budowlanych oraz wykonawców, którzy szukają intuicyjnego narzędzia wspierającego codzienną pracę – od planowania i monitorowania realizacji projektów, po precyzyjne wyceny.

Nowa wersja aplikacji Ekoszt umożliwia:

- pełną obsługę zleceń: od planowania, przez przypisywanie zadań, aż po kontrolę ich realizacji i finalizację. Wbudowane statusy zleceń i szczegółowe raporty pozwalają na bieżąco monitorować postęp prac;
- zarządzanie dokumentacją: umożliwia przechowywanie wszystkich istotnych danych w jednym miejscu – od planów i rysunków, przez umowy oraz protokoły, aż po zdjęcia dokumentujące postęp robót. Z kolei dzięki wbudowanym wzorcom dokumentów aplikacja usprawnia przygotowanie wymaganej w projekcie dokumentacji;



- kosztorysowanie: szybkie i precyzyjne wyceny dzięki dostępowi do bazy INTERCENBUD z aktualnymi cenami oraz ponad 380 katalogów norm;

- uniwersalną dostępność: aplikacja działa na dowolnym urządzeniu – komputerze lub tablecie – w systemach Windows, macOS czy np. Android, zapewniając użytkownikom elastyczność.

Nowa wersja aplikacji Ekoszt to odpowiedź na potrzeby współczesnych firm budowlanych – pozwala na efektywne zarządzanie zleceniami i kosztami, zapewniając jednocześnie pełną przejrzystość finansową i organizacyjną. Intuicyjny interfejs sprawia, że aplikacja jest łatwa w obsłudze zarówno dla zaawansowanych użytkowników, jak i osób mniej doświadczonych w pracy z nowoczesnym oprogramowaniem.

Więcej informacji o aplikacji można znaleźć na stronie: ekoszt.pl

ZAPROŚ EKSPERTA!



Darmowe szkolenia z zakresu projektowania i użytkowania obudów do wykopów

www.kopras.pl

MB Fix 2K

Superlekki, reaktywny klej
do płyt termoizolacyjnych?
ZróbMY to razem!

NAJWAŻNIEJSZE ZALETY

- ✓ Wysoka wydajność dzięki tworzeniu się porów powietrznych podczas mieszania
- ✓ Bardzo dobra przyczepność
- ✓ Bezpieczna i szybka reakcja pod płytami
- ✓ Możliwość wcześniejszego zasypania wykopów
- ✓ Wysoka stabilność
- ✓ Wysoka wytrzymałość
- ✓ Nie zawiera bitumów ani rozpuszczalników




remmers

Broszury cyfrowe

w formacie PDF można
pobrać korzystając z kodu QR



ArCADia BIM 15 – nowa przełomowa wersja

ArCADia BIM 15 to prawdziwy krok naprzód – nowa wersja oprogramowania wprowadza szereg usprawnień, które odmieniają sposób, w jaki można pracować nad projektami. Zmiany te, dotyczące zarówno podstawowych funkcji programu, jak i poszczególnych modułów, sprawiają, że praca stanie się bardziej efektywna i intuicyjna.

Jedną z kluczowych nowości jest wprowadzenie natywnego formatu zapisu plików APF, jednocześnie zachowując możliwość współpracy (w zakresie eksportu i importu) z popularnym formatem DWG 2018. Wprowadzona funkcja archiwizacji projektów ułatwia przenoszenie i przechowywanie wszystkich danych wykorzystywanych w projekcie.

W celu łatwiejszego zarządzania rysunkiem Menadżer projektów zyskał zakładki branżowe i możliwość multiselekcji – pozwala to na lepszą i szybszą organizację pracy. Przełomem jest wprowadzenie nowych fizycznych i parametrycznych obiektów BIM oraz Menadżera plików służącego nie tylko do ich przechowywania, ale również wstawiania, edycji i tworzenia. Użytkownicy mogą teraz uszczegóławiać wszystkie obiekty, dodając własne parametry, opisy do nich i generując spersonalizowane raporty.

Moduł Architektura 15 wprowadza nowe możliwości, dzięki którym użytkownicy mogą teraz tworzyć bardziej złożone i dopracowane projekty, wykorzystując takie elementy, jak okna narożne i kolankowe, dachy płaskie czy posadzki ze spadkami. Nowe normy obliczania powierzchni gwarantują dokładność i zgodność z obowiązującymi standardami,

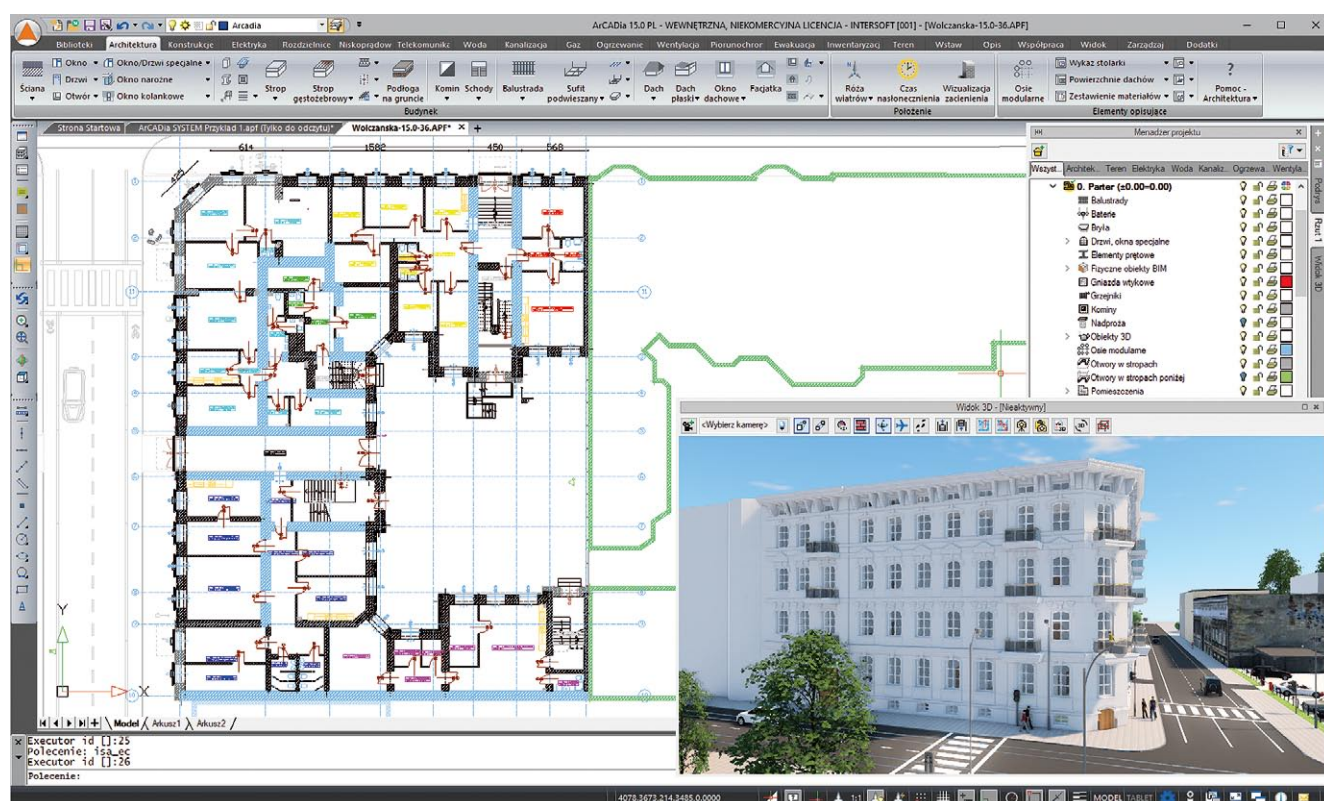
a zestawienia powierzchni wykończenia ścian zewnętrznych mogą stanowić podstawy do wielu wycen i kosztorysów.

W modułach instalacji sanitarnych i elektrycznych wprowadzono możliwość definiowania przyłączy, co w połączeniu z nowymi obiektami fizycznymi BIM (multibranżowymi) ułatwia projektowanie instalacji wielobranżowych, współpracę i wymianę informacji pomiędzy wszystkimi uczestnikami projektu. Nowy moduł Instalacje niskoprądowe poszerza zakres funkcjonalności oprogramowania.

W modułach konstrukcyjnych zaimplementowano funkcje wstawiania pojedynczych strzemion, zwiększono precyzję i elastyczność definiowania prętów zbrojeniowych oraz udoskonalono ich modyfikację i segmentację. Automatyczna aktualizacja wymiarowania ułatwia pracę i niweluje ewentualne błędy, a ulepszony eksport do formatu IFC podnosi standard wymiany danych.

ArCADia BIM 15 to kompleksowe narzędzie, które usprawnia proces projektowania, oferując zaawansowane funkcje i zwiększając efektywność pracy w każdej branży.

www.intersoft.pl



Utworzenie Wydziału Inżynierii Lądowej i Transportu

Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu powstał 1.01.2020 r. w wyniku połączenia części Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska oraz Wydziału Inżynierii Transportu. Powstanie nowego wydziału było efektem wprowadzenia Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, która wymusiła zmiany organizacyjne na Politechnice Poznańskiej, polegające na tworzeniu wydziałów w obrębie jednej dyscypliny.

Jednostki, z których utworzono wydział, mają historię sięgającą 1945 r., gdy rozpoczęła działalność Szkoła Inżynierska, w której powołano m.in. Wydział Budownictwa, a później Wydział Mechanizacji Rolnictwa (w 1953 r.). W kolejnych etapach rozwoju Politechniki Poznańskiej oba wymienione wydziały zmieniały wielokrotnie nazwę w związku ze zmianą zakresu kompetencji. I tak, w 1956 r. Wydział Budownictwa zmienił nazwę na Wydział Budownictwa Lądowego, w 1993 r. – na Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska oraz w 2007 r. – na Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska. Szczegółowe dane dotyczące tych zmian przedstawiono w drugiej części artykułu pt. „Osiemdziesiąt lat BUDOWNICTWA na Politechnice Poznańskiej”. Wydział Mechanizacji Rolnictwa natomiast w 1967 r. zmienił nazwę na Wydział Maszyn Roboczych i Pojazdów, w 2000 r. – na Wydział Maszyn Roboczych i Transportu oraz w 2018 r. – na Wydział Inżynierii Transportu.

Obecnie na Wydziale Inżynierii Lądowej i Transportu istnieje sześć instytutów: Instytut Analizy Konstrukcji, Instytut Budownictwa, Instytut Inżynierii Lądowej, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Instytut Napędów i Lotnictwa (do 2024 r. Instytut Silników Spalinowych i Napędów) oraz Instytut Transportu.

Wydział ma wspaniałe tradycje, a zarazem nie rezygnuje z ambitnych dążeń – wyznacza sobie nowe cele, aby sprostać wyzwaniom, które stawia przed nami nowoczesna technologia, i podąża drogą zrównoważonego rozwoju. Równie istotna jest dbałość o systematyczny rozwój kadry naukowej wydziału, potwierdzony stopniami i tytułami naukowymi uzyskiwanymi przez jego pracowników. Jest to możliwe dzięki prowadzeniu zaawansowanych prac badawczych,

publikowaniu ich rezultatów w renomowanych czasopiśmie naukowych, monografiach oraz wydawnictwach konferencji międzynarodowych.

Należy wspomnieć o ogromnej aktywności pracowników wydziału w rozwiązywaniu problemów inżynierskich, stanowiącej silne wsparcie dla przedsiębiorstw, a także jednostek samorządowych. Działalność badawczo-naukowa pracowników ma zasięg ogólnopolski oraz międzynarodowy. Na szczególne uznanie zasługują również zaangażowanie pracowników wydziału w życie Poznania, liczne ekspertyzy oraz porady z zakresu szeroko rozumianego budownictwa oraz zrównoważonego transportu.

Większość pracowników wydziału podjęła trud rozwoju badawczego i naukowego, dzięki czemu jednostka mogła skutecznie sprostać wymaganiom ewaluacji, otrzymując kategorię A w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport. Wydział aktywnie rozwija kierunki dydaktyczne, czego efektem jest przyznanie przez Komisję Akredytacyjną Uczelni Technicznych kierunkom transport i budownictwo europejskiego certyfikatu jakości EURACE® Label (European Accredited Engineer).

Wielu absolwentów wypromowanych przez pracowników wydziału piastowało lub nadal piastuje odpowiedzialne stanowiska w jednostkach zarządzających firmami budowlanymi i transportowymi, wielu zostało też naukowcami lub wybitnymi projektantami odnoszącymi sukcesy na całym świecie, w tym na Politechnice Poznańskiej.

prof. dr hab. inż. Jacek Pielecha
dzienkan Wydziału Inżynierii Lądowej i Transportu,
Politechnika Poznańska

KIERUNKI

Budownictwo
 Budownictwo zrównoważone
 Lotnictwo
 Lotnictwo i kosmonautyka
 Mechanika i budowa pojazdów
 Transport



POLITECHNIKA POZNAŃSKA



Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

KONTAKT

e-mail: wilit@put.poznan.pl
 tel. 61 665 2355
<https://wilit.put.poznan.pl>

STRONA INTERNETOWA



Osiemdziesiąt lat BUDOWNICTWA na Politechnice Poznańskiej

Początki kształcenia – ujęcie historyczne – lata 1945–1970

Kształcenie na kierunku budownictwo rozpoczęło w 1945 roku na nowo utworzonym Wydziale Budownictwa z Oddziałem Łądowo-Wodnym oraz Oddziałem Architektury. Był to trzeci wydział Szkoły Inżynierskiej, poprzedniczki Politechniki Poznańskiej.

Kształcenie w zakresie budownictwa sięga początków istnienia polskiej uczelni technicznej w Poznaniu, chociaż przez całe dwudziestolecie międzywojenne i wcześniej Wielkopolska nie miała uczelni technicznej z wydziałami budownictwa i architektury. Polacy mieszkający na jej terenie podejmowali studia na politechnikach w Berlinie-Charlottenburgu, Warszawie, Lwowie oraz na politechnice w Gdańsku. W tym okresie istniała natomiast w Poznaniu średnia szkoła budowlana – Państwowa Szkoła Budownictwa. Ówczesni wykładowcy – wybitni inżynierowie budownictwa i architektki – zapewniaли wysoki poziom dydaktyczny w tej szkole. Byli to: Lucjan Ballenstedt, Adam Ballenstedt, Franciszek Thomas, Jan Zaus, Stefan Szuman, Lucjan Weichert, Roman Kozak i inni.

Jak wynika z dokumentów i wspomnień, w okresie międzywojennym dążono do utworzenia w Poznaniu trzeciej polskiej uczelni politechnicznej z sekcją budowlaną. Powoływano się przy tym na naukowy i dydaktyczny rozwój utworzonej w 1919 roku Państwowej Wyższej Szkoły Budowy Maszyn w Poznaniu oraz Państwowej Szkoły Budownictwa w Poznaniu (nazwa z 1918 roku; założono ją w 1891 jako Królewską Szkołę Budownictwa), a także na potrzeby gospodarki Polski Zachodniej.

Już 23 lutego 1945 r. odbyło się pierwsze oficjalne powojenne posiedzenie Komitetu Organizacyjnego Politechniki Poznańskiej. Za niezbędne uznano powołanie wydziałów: architektury, inżynierii lądowo-wodnej, mechaniczno-elektrotechnicznego oraz chemii.

Gdy dekretem Ministerstwa Oświaty 3 września 1945 roku powołano Szkołę Inżynierską w Poznaniu, w jej ramach oprócz wydziałów Mechanicznego (założonego w 1919 roku) i Elektrycznego (założonego w 1930 roku) utworzono trzeci wydział – Budownictwa z Oddziałem Łądowo-Wodnym oraz Oddziałem Architektury. Pierwszym dziekanem Wydziału Budownictwa został profesor Roman Kozak (członek Komitetu Organizacyjnego Politechniki Poznańskiej, do roku 1939 wykładowca w Państwowej Szkole Budownictwa w Poznaniu).

Początkowo wydział mieścił się w budynkach po Wyższej Królewskiej Szkole Budowy Maszyn oraz w budynku byłego liceum Bergera przy ul. Strzeleckiej w Poznaniu. Pomieszczenia te zajmowało kilka wydziałów, w związku z czym podjęto starania o pozyskanie nowych terenów pod rozbudowę politechniki i kampusu. Po pierwszych niepowodzeniach ostatecznie uzyskano teren na prawym brzegu Warty na terenie byłego fortu Rauh. Pierwszym obiektem oddanym do użytku w 1955 roku był budynek Wydziału Budownictwa Łądowego.

W początkowym okresie na Wydziale Budownictwa były trzy sekcje dydaktyczne: konstrukcyjno-budowlana, drogowo-mostowa oraz wodno-melioracyjna.

Ponieważ niepowodzeniem zakończyły się starania o zaangażowanie w Poznaniu profesorów z Politechniki Lwowskiej i Politechniki Warszawskiej, kadrę nauczycieli akademickich Wydziału Budownictwa w początkowym okresie stanowili doświadczeni wykładowcy Państwowej Szkoły Budownictwa w Poznaniu oraz wykładowcy przedmiotów budowlanych na Wydziale Rolniczo-Leśnym Uniwersytetu Poznańskiego.



Budynek Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska – obecnie

W roku 1948 z inicjatywy Romana Kozaka na Wydziale Budownictwa powstała Stacja Doświadczalna i Laboratorium Badania Materiałów Budowlanych, w której wykorzystano między innymi urządzenia laboratorium Państwowej Szkoły Budownictwa w Poznaniu (obecnie Zespół Szkół Geodezyjno-Drogowych im. Rudolfa Modrzejewskiego w Poznaniu). W tym okresie z Wydziałem Budownictwa było związanych łącznie 56 nauczycieli.

W roku 1949 na Oddziale Łądowo-Wodnym Wydziału Budownictwa było dziewięć zakładów i laboratorium:

- Zakład Budownictwa Ogólnego – kierownik prof. zw. dr inż. Roman Kozak,
- Zakład Budownictwa Stalowego – kierownik prof. nadzw. dr inż. Tadeusz Kozłowski,

- Zakład Konstrukcji Żelbetowych – kierownik zast. prof. mgr inż. Franciszek Thomas,
- Zakład Budowy Dróg i Robót Ziemnych – kierownik mgr inż. Stanisław Morawski,
- Zakład Dróg Żelaznych – kierownik mgr inż. Wacław Rubczak,
- Zakład Budowy Mostów – kierownik prof. nadzw. mgr inż. Lucjan Ballenstedt,
- Zakład Badania Gruntów i Fundamentów – kierownik prof. nadzw. mgr inż. Jerzy Orzechowski,
- Zakład Miernictwa – kierownik mgr inż. Zdzisław Mann,
- Zakład Geologii i Petrografii – kierownik mgr inż. Tadeusz Buryan,
- Laboratorium Budownictwa Wodnego – kierownik dr inż. Julian Lambor.

W kwietniu 1950 roku z Wydziału Budownictwa utworzono dwa wydziały: Wydział Inżynierii (1950–1952) oraz Wydział Architektury (1950–1954). W roku 1952 i następnych latach nastąpiły kolejne reorganizacje. Od sierpnia 1952 roku wrócono do nazwy Wydział Budownictwa, a w marcu 1954 roku zlikwidowano Wydział Architektury. Istniejące w ramach Wydziału Budownictwa zakłady zostały przekształcone w 13 katedr (w tym trzy o charakterze międzywydziałowym) z kierownikami, a mianowicie:

- Katedrę Mechaniki Budowli (prof. nadzw. mgr inż. Lucjan Ballenstedt),
- Katedrę Organizacji i Mechanizacji Budowli (doc. dr inż. Jan Zaus),
- Katedrę Prefabrykacji i Betonu Sprężonego (prof. zw. dr inż. Roman Kozak),
- Katedrę Konstrukcji Stalowych i Żelbetowych (prof. nadzw. dr inż. Tadeusz Kozłowski),
- Katedrę Podstaw Mostownictwa i Tuneli (zastępca prof. mgr inż. Michał Brzostowski),
- Katedrę Mechaniki Gruntów (prof. nadzw. mgr inż. Jerzy Orzechowski),
- Katedrę Dróg Wodnych i Robót Ziemnych (bez kierownika),
- Katedrę Budownictwa Wodnego (dr inż. Julian Lambor),
- Katedrę Hydrauliki (zastępca prof. mgr inż. Tadeusz Buryan),
- Katedrę Techniki Sanitarnej (zastępca prof. mgr inż. Alfons Naszkiewicz),
- Katedrę Miernictwa (mgr inż. Zdzisław Mann),
- Katedrę Fizyki (zastępca prof. dr Alfons Zajączkowski),
- Katedrę Chemii Ogólnej (prof. zw. dr Kazimierz Kapitańczyk).

W marcu 1954 roku po likwidacji Wydziału Architektury dołączono do Wydziału jeszcze Katedrę Geometrii Wykreślnej z prof. dr Wiktorem Jankowskim jako kierownikiem, ale zlikwidowano Katedrę Hydrauliki.

We wrześniu 1955 roku Uchwałą Rady Ministrów z dnia 3.09.1955 Szkoła Inżynierska została przemianowana na uczelnię akademicką – Politechnikę Poznańską.

W roku 1956 wydział zmienił nazwę na Wydział Budownictwa Lądowego. W związku z tym zmieniono nazwy katedr, utworzono nowe a niektóre zlikwidowano. W składzie 11 Katedr znalazły się następujące: Mechaniki Budowli, Budownictwa, Budownictwa Stalowego, Organizacji i Technologii Robót Budowlanych, Dróg Żelaznych, Geodezji, Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, Dróg i Ulic, Techniki Sanitarnej, Budownictwa Wiejskiego oraz Geometrii Wykreślnej. W latach pięćdziesiątych w ramach systemu gospodarstw pomocniczych działały Zakład Badawczy Budownictwa (kierownik prof. Roman Kozak) oraz Zakład Badań i Ekspertyz Technicznych (kierownik Bolesław Orgelbrand). W następnych latach (1957–1964) gospodarstwa pomocnicze pojawiły się także przy innych katedrach wydziału.

W roku 1958 na Wydziale Budownictwa Lądowego Politechniki Poznańskiej utworzono Katedrę Technologii Wody i Ścieków, a jej organizatorem i pierwszym kierownikiem był Stanisław Kołaczkowski. W tym okresie inżynierów sanitarnych kształcono na kierunku budownictwo w specjalności wodociągi i kanalizacja. W roku akademickim 1963–1964 wprowadzono nowy kierunek studiów o nazwie inżynieria sanitarna, co pozwoliło na nadawanie tytułu zawodowego magistra inżyniera urządzeń sanitarnych. W tej sytuacji 1 września 1964 roku powołano Oddział Inżynierii Komunalnej pod kierunkiem Stanisława Kołaczkowskiego. W skład oddziału weszły cztery katedry: Technologii Wody i Ścieków, Techniki Sanitarnej, Budownictwa Wiejskiego, Urbanistyki i Planowania Przestrzennego.

Po kolejnych zmianach organizacyjnych rozszerzono zakres usług dydaktycznych i przyjęto nową nazwę – Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska (1993 rok).

W latach 1945–2020 wydziałem kierowali: prof. zw. dr inż. Roman Kozak (1945–1952), prof. nadzw. mgr inż. Władysław Czarnecki (1950–1954), prof. nadzw. dr Wiktor Jankowski (1952–1960, 1962–1969), prof. nadzw. dr Stanisław Kołaczkowski (1960–1962), prof. nadzw. dr hab. inż. Andrzej Stefański (1969–1971), prof. dr hab. inż. Romuald Świtka (1971–1975), prof. nadzw. dr hab. inż. Andrzej Ryżyński (1975–1981), doc. dr inż. Marian Krzysztofiak (1981–1987), prof. dr hab. inż. Witold Wołowicki (1987–1990), prof. dr hab. inż. Edward Szczechowiak (1990–1996), prof. dr hab. inż. Halina Koczyk (1996–2002), prof. dr hab. inż. Józef Jasiczak (2002–2008), prof. dr hab. inż. Janusz Wojtkowiak (2008–2016), prof. dr hab. inż. Tomasz Mróz (2016–2020).

Powołanie instytutów, zaawansowany rozwój – lata 1970–2020

W 1970 roku Wydział Budownictwa Lądowego przeszedł kolejną reorganizację w związku z wprowadzeniem w szkolnictwie wyższym struktury instytutowej. W tym roku na Wydziale Budownictwa Lądowego utworzono trzy instytuty, a mianowicie:

- Instytut Technologii i Konstrukcji Budowlanych – dyrektor prof. dr inż. Roman Kozak,
- Instytut Inżynierii Lądowej – dyrektor prof. dr inż. Jan Sysak,
- Instytut Inżynierii Komunalnej – dyrektor doc. dr inż. Bernard Rzeczyński, a od roku 1971 doc. dr inż. Czesław Grabczyk.

W latach 1972–1978 w ramach wydziału działał również Oddział Architektury, przekształcony w 1978 roku w Instytut Architektury i Planowania Przestrzennego (dyrektor prof. Roman Tunikowski). W 1974 roku Instytut Inżynierii Komunalnej przemianowano na Instytut Inżynierii Środowiska, a w 1992 r. Instytut Technologii i Konstrukcji Budowlanych na Instytut Konstrukcji Budowlanych.

Po kolejnych zmianach organizacyjnych rozszerzono zakres usług dydaktycznych wydziału i przyjęto nową nazwę Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska. W roku 2000, po powołaniu oddzielnego Wydziału Architektury, w skład którego w całości wszedł Instytut Architektury i Planowania Przestrzennego, wydział po raz kolejny zmienił swą nazwę na Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska.

Z perspektywy czasu powołanie instytutów w 1970 roku ocenia się pozytywnie, bowiem nastąpiła koncentracja rozproszonego w katedrach sprzętu badawczego i stopniowa budowa dużych laboratoriów badawczych (między innymi środowiskowego laboratorium inżynierii lądowej), co z kolei umożliwiło rozszerzenie problematyki badawczej i intensywny rozwój badań naukowych, w tym elementów w skali rzeczystwej. Nastąpił także liczbowy i jakościowy rozwój kadry.

Uprawnienia

W 1964 roku wydział uzyskał uprawnienia do nadawania stopnia doktora nauk technicznych z zakresu budownictwa, inżynierii środowiska i architektury. Pierwszymi doktorami byli: dr inż. Tadeusz Biliński (1965 rok, późniejszy profesor Politechniki Poznańskiej i Politechniki Zielonogórskiej), dr inż. Henryk Bałuch (1966 rok, późniejszy profesor w Instytucie Kolejnictwa w Warszawie) i dr inż. Arnold Kawczyński (1966 rok, adiunkt na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej). Łącznie do 2015 roku wypromowano około 400 doktorów, w tym kilkunastu z zagranicy.

Od 1977 roku wydział ma uprawnienia do nadawania stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie budownictwo, a od 2002 roku w dyscyplinie inżynieria środowiska. Pierwszymi doktorami habilitowanymi byli Bożysław Bogdaniuk (1978 r., profesor na Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej), Witold Wołowicki (1980 r., profesor na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej) i Antoni Matysiak (1981 r., profesor Uniwersytetu Zielonogórskiego) oraz prawo do wnioskowania o nadanie tytułu profesora w dziedzinie nauk technicznych.



Profesorowie i pierwsi absolwenci Wydziału Budownictwa Lądowego z 1949 roku

Dydaktyka

W pierwszych latach istnienia wydziału kształcono kadry inżynierskie potrzebne do odbudowy Wielkopolski i innych regionów kraju ze zniszczeń wojennych. W latach 1945–1955 kształcono przede wszystkim na 3- i 4-letnich dziennych studiach inżynierskich z zakresu: architektury, budownictwa lądowego, dróg i lotnisk, mostów i konstrukcji, budownictwa wodnego, komunikacji, techniki sanitarnej, a także na 3,5- i 4-letnich wieczorowych i zaocznych studiach inżynierskich z zakresu: budownictwa lądowego (konstrukcje budowlane, budownictwo ogólne, budowle przemysłowe), inżynierii sanitarnej (wodociągi i kanalizacja, ogrzewnictwo i wentylacja, instalacje) oraz komunikacji (budowa dróg żelaznych, budowa dróg i ulic, mosty mniejsze).



Profesor Lucjan Ballenstedt – odbudowa mostu św. Rocha

W latach sześćdziesiątych kierunek budownictwo lądowe rozszerzono o budownictwo drogowe, a w 1970 roku rozdzielono go na dwa oddzielne kierunki. W latach siedemdziesiątych było już sześć kierunków: budownictwo, inżynieria środowiska, architektura, budownictwo lądowe, budownictwo drogowe, inżynieria sanitarna i pięć specjalności. W latach osiemdziesiątych utrzymano trzy podstawowe kierunki (ze specjalnościami): budownictwo, inżynieria środowiska i architektura. W 1993 roku architekturę

Jubileusz 100-lecia urodzin doc. dr. inż. Franciszka Jarzyńskiego (1916–2016). Złoty Medal „Labor Omnia Vincit” – „Praca Wszystko Zwycięża” wręczył prezydent Towarzystwa dr Marian Król



rozszerzono o urbanistykę. Stan ten utrzymał się do roku 1999, w którym wydzielił się Wydział Architektury. Wydział macierzysty utrzymał dwa podstawowe kierunki kształcenia: budownictwo z sześcioma specjalnościami oraz inżynierię środowiska z dwoma specjalnościami. Od 1999 do 2014 roku kierunek budownictwo był również prowadzony w Zamiejscowym Ośrodku Dydaktycznym w Kaliszu.

Nauka, badania i współpraca międzynarodowa

W początkowych latach istnienia wydziału działalność inżynierska miała większą wagę niż działalność ściśle naukowa. Także problematyka badawcza będąca podstawą uzyskiwania stopni naukowych była silnie związana z praktyką inżynierską. Opisuąc początkowy okres kształtowania się problematyki badawczej wydziału, należy podkreślić, że profesoria i wykładowcy jako bardzo doświadczeni przedwojenni inżynierowie i architekci byli silnie związani z odbudową zniszczonego Poznania i Wielkopolski. Potwierdzają to prace trzech wybitnych profesorów, urodzonych jeszcze w XIX wieku, wykształconych na uczelniach zagranicznych (prof. Lucjan Ballenstedt (1881–1958), doc. Jan Zaus (1889–1969), prof. Władysław Czarnecki (1895–1983) oraz

Przyznanie prof. O. Kaplińskiemu w roku 1996 doktoratu honoris causa przez Uniwersytet Techniczny im. Gedymina w Wilnie (VG TU)



niedużo młodszych studiujących krótko przed II wojną światową lub bezpośrednio po niej, zdobywających stopnie i tytuły naukowe w polskich powojennych uczelniach wyższych. Należą do nich prof. dr Wiktor Jankowski (1913–1996), prof. dr hab. inż. Kazimierz Wrześniowski (1916–1987), doc. dr inż. Franciszek Jarzyński (1916–2017), prof. dr hab. inż. Kalikst Grabiec (1920–2002) i młodszy. Z tej grupy niezwykle zasłużonych profesorów długim życiem cieszył się doc. dr inż. Franciszek Jarzyński, który 4 listopada 2016 roku obchodził jubileusz 100-lecia urodzin. Zmarł 10.08.2017.

Kolejne pokolenia młodych naukowców intensywnie rozwijały poszczególne obszary inżynierii budowlanej i to w ścisłej współpracy z czołowymi ośrodkami zagranicznymi. Dwie osoby z Instytutu Budownictwa, tj. prof. dr hab. inż. Oleg Kapliński i prof. dr hab. inż. Tomasz Łodygowski w uznaniu dorobku naukowego o światowym znaczeniu uzyskały zaszczytny tytułu doktora honoris causa.

Obecnie zatrudnieni na wydziale pracownicy badawczo-dydaktyczni działają także niezwykle aktywnie w różnych obszarach badań naukowych i nowoczesnego przekazu dydaktycznego. O ich zaangażowaniu niech świadczą artykuły zamieszczone w niniejszej jubileuszowej edycji „Przeglądu Budowlanego”.

prof. dr hab. inż. Józef Jasiczak
dziekan Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska w latach 2002–2008,
Politechnika Poznańska

Serdeczne podziękowania składam wszystkim Autorom i Recenzentom, którzy przyczynili się do powstania wydania „Przeglądu Budowlanego” związanego z Jubileuszem 80-lecia Budownictwa na Politechnice Poznańskiej.

dr hab. inż. Agnieszka Ślosarczyk, prof. PP

Komitet Naukowy wydania jubileuszowego

dr hab. inż. Agnieszka Ślosarczyk, prof. PP
– przewodnicząca
prof. dr hab. inż. Józef Jasiczak
dr hab. inż. Michał Guminiak, prof. PP
dr hab. inż. Zdzisław Pawlak, prof. PP
dr hab. inż. Krzysztof Zieliński, prof. PP
dr inż. Marlena Kucz, prof. PP
dr hab. inż. Barbara Ksit
dr hab. inż. Wojciech Siekierski
dr inż. Monika Chuda-Kowalska
dr inż. Marcin Gajzler
dr inż. Iwona Jankowiak
dr inż. Izabela Kłapiszewska
dr inż. Michał Malendowski
dr inż. Łukasz Polus
dr inż. Maria Ratajczak
dr inż. Jeremi Rychlewski
dr inż. Monika Siewczyńska

Metody monitorowania stanu technicznego konstrukcji drewnianych w budynkach zabytkowych

Methods of monitoring the technical condition of wooden structures in historic buildings

dr hab. inż. Zdzisław Pawlak, prof. PP (ORCID: 0000-0003-2851-3433), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, prof. dr hab. inż. Piotr Marciniak (ORCID: 0000-0002-4404-1184), Wydział Architektury, Politechnika Poznańska, dr hab. inż. Ireneusz Wyczałek (ORCID: 0000-0003-3963-8186), Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Bydgoska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0967

Streszczenie: W artykule przedstawiono ogólne zasady prowadzenia monitoringu w obiektach budowlanych, koncentrując się zwłaszcza na konstrukcjach drewnianych. Ponadto omówiono kluczowe aspekty monitorowania konstrukcji obiektów zabytkowych oraz trudności pojawiające się w przypadku tworzenia modelu numerycznego konstrukcji historycznej. Jako przykład obserwacji stanu technicznego budynku historycznego omówiono drewnianą konstrukcję kościoła w Domachowie. Długi okres eksploatacji konstrukcji drewnianej doprowadził do jej deformacji. Należało sprawdzić, czy deformacja konstrukcji postępuje w czasie oraz jaka jest jej reakcja na doraźne działanie obciążeń klimatycznych. Do pomiaru pochylenia słupów wykorzystano inklinometrię. Opisano sposób wyznaczania wartości przemieszczeń na podstawie kątów obrotów, który wymagał przyjęcia modelu deformacji badanego elementu. Na koniec podano podstawowe wyniki pomiarów i obserwacji.

Słowa kluczowe: konstrukcja drewniana, budynki historyczne, monitoring, inklinometrię.

Abstract: The article presents general principles of monitoring in building structures, focusing especially on wooden structures. In addition, key aspects of monitoring the construction of historic buildings are discussed, as well as the difficulties that arise when creating a numerical model of a historic structure. As an example of observation of the technical condition of a historic building, the wooden structure of the church in Domachovo was discussed. The long period of use of the wooden structure led to its deformation. It was necessary to check whether the deformation of the structure progresses over time and what is its response to temporary climatic loads. Inclination meters were used to measure the tilt of the columns. The method of determining the values of displacements based on the angles of rotation was described, which required the adoption of a model of deformation of the tested element. Finally, the basic results of measurements and observations are given.

Keywords: timber structure, historic buildings, monitoring, inclinometers.

1. Wprowadzenie

W obiektach i budynkach historycznych, eksploatowanych przez wiele lat, elementy konstrukcyjne ulegają technicznemu zużyciu, a czasem także degradacji. Nawet po wykonaniu naprawy, czy po wzmocnieniu konstrukcji trudno jest przewidzieć jej zachowanie w przyszłości. Dlatego coraz częściej okazuje się, że sporadyczna kontrola konstrukcji jest niewystarczająca. Niezbędne staje się zastosowanie *jednego z Systemów Monitoringu Konstrukcji (ang. Structural Health Monitoring, SHM)* [1], który może zapewnić ciągłą obserwację stanu konstrukcji.

Monitoring konstrukcji obiektu budowlanego jest pojęciem szerszym niż sama obserwacja stanu konstrukcji. System monitorujący powinien nie tylko mierzyć i zapisywać

dane, ale także ostrzegać, gdy stan konstrukcji zagraża bezpieczeństwu, np. gdy przekroczone zostaną dopuszczalne wartości ugięć lub przemieszczeń.

Metody monitorowania konstrukcji można podzielić według różnych kryteriów: ze względu na częstotliwość wykonywania pomiarów, z uwagi na rodzaj mierzonej wielkości, z uwagi na zastosowany sprzęt oraz z uwagi na zakres pomiarów [2]. Tradycyjny, geodezyjny pomiar geometrii konstrukcji może być wykonywany w równych odstępach czasu, np. co miesiąc. Natomiast pomiar ugięć wybranego elementu konstrukcyjnego czujnikami przemieszczeniowymi może być wykonywany w sposób ciągły. Należy jednak pamiętać, że rejestracja nieskończonej liczby danych jest niemożliwa, zapis musi następować w przyjętych odstępach czasu, np. co sekundę, co minutę lub rzadziej.

Rys. 1. Rzut przyziemia z podziałem na części o różnej funkcji

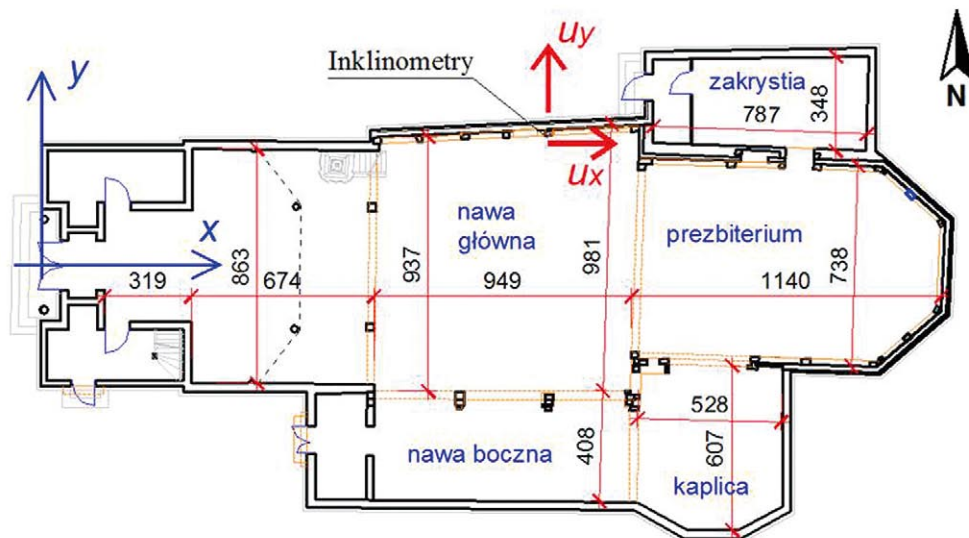
Liczba zapisów dokonanych w jednostce czasu nazywa się częstotliwością zapisu lub częstotliwością akwizycji danych.

Głównym celem monitoringu jest zapewnienie bezpieczeństwa konstrukcji, ale w przypadku budynków historycznych ważne jest także zachowanie ich integralności i oryginalnego charakteru. W przypadku drewnianych obiektów historycznych często monitoruje się temperaturę powietrza, zawartość wilgoci, rozwój grzybów lub nawet aktywność owadów [3]. Kondycję konstrukcji zwykle ocenia się na podstawie obserwacji przemieszczeń, odkształceń, naprężeń lub drgań, za pomocą czujników: mechanicznych (dźwigniowe, zegarowe), optycznych (laserowe, światłowodowe), piezoelektrycznych (tensometry, akcelerometry), elektromagnetycznych, ultradźwiękowych lub termicznych [4].

W obiektach o dużym znaczeniu dla dziedzictwa narodowego, które po zniszczeniach, np. spowodowanych wstrząsami sejsmicznymi, zostały naprawione i wzmocnione monitoring wymaga indywidualnego podejścia. Ważne jest odpowiednie rozmieszczenie sensorów [5], system monitorujący powinien być zaprojektowany w taki sposób, aby pomiary pozwalały wykryć stany niebezpieczne oraz tak, aby mierzona odpowiedź konstrukcji pozwalała ocenić skuteczność zastosowanych wzmocnień.

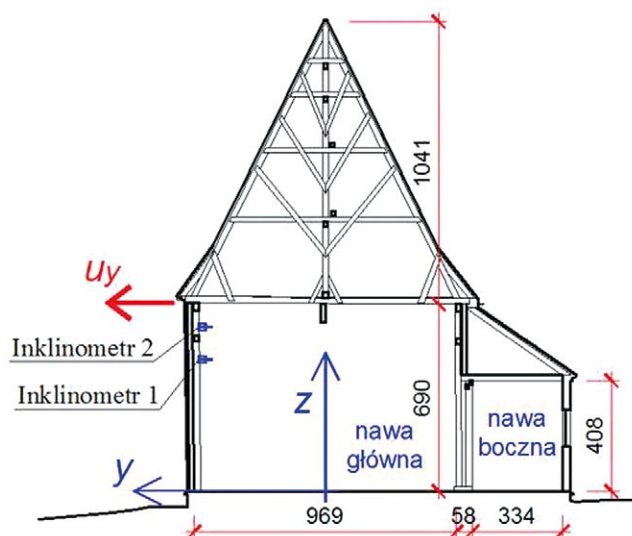
2. Ocena nośności konstrukcji budynku historycznego

Wieloletnie użytkowanie budynku prowadzi do technicznego zużycia konstrukcji i do obniżenia jej nośności. O stopniu tego zużycia decydują różne przyczyny: korozja, niewłaściwa eksploatacja, remonty i modernizacje, a także błędy materiałowe i wykonawcze [6]. Degradacja i eksploatacyjne zużycie elementów konstrukcyjnych jest szczególnie częste w przypadku konstrukcji drewnianych. Dlatego ocena nośności historycznej konstrukcji drewnianej jest bardzo trudna i wymaga indywidualnego podejścia. W celu wykazania stopnia wyłączenia elementu konstrukcyjnego zwykle przeprowadza się obliczenia z wykorzystaniem programu obliczeniowego. W każdym programie inżynierskim stosowanym do obliczeń statyczno-wytrzymałościowych na początku trzeba stworzyć model obliczeniowy, który zawiera liczne uproszczenia i idealizacje.



Rzeczywista konstrukcja drewniana daleka jest od ideału. Materiał jest niejednorodny, miejscami osłabiony w wyniku korozji, przekroje poprzeczne mają różne wymiary na długości spowodowane starzeniem się drewna. Ponadto elementy rzadko są proste, a połączenia pomiędzy nimi są sprężyste lub wykazują luz. Oszacowanie rzeczywistej nośności historycznych konstrukcji drewnianych jest bardzo trudne.

W modelu obliczeniowym można uwzględnić osłabienia przyjmując, że przekroje poprzeczne są mniejsze niż w rzeczywistości lub że materiał ma zaniżone parametry wytrzymałościowe. Takie zabiegi upraszczające są dopuszczalne, ale powinny być wprowadzane świadomie i pod kontrolą. Najlepiej w takim przypadku przeprowadzić walidację modelu obliczeniowego, np. porównując jego odpowiedź numeryczną z wartościami pomierzonymi w rzeczywistym obiekcie pod działaniem zadanego obciążenia.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny przez nawę główną zwieńczoną więźbą storczykową

Rys. 3. Przykładowy zapis przemieszczeń w poprzek (Y-9) i wzdłuż (X-9) budynku

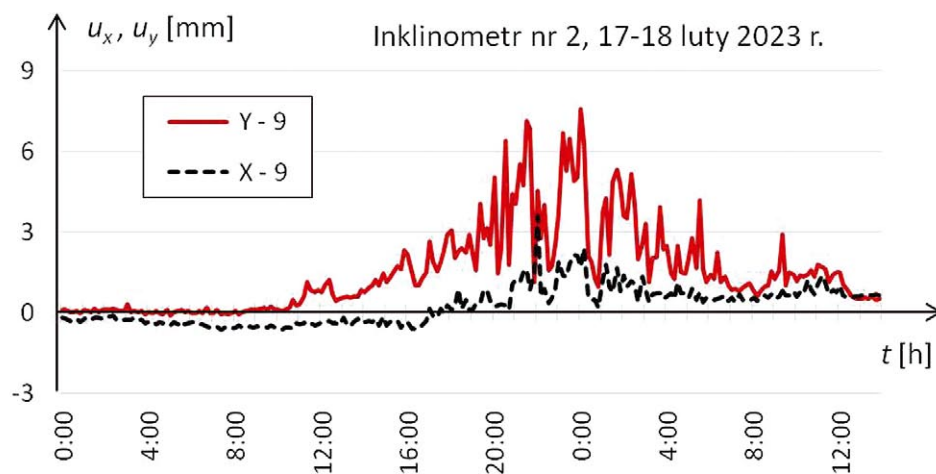
W przypadku drewnianego szkieletu budynku lub samej więźby dachowej można przeprowadzić pomiar przemieszczeń przy znanej prędkości wiatru, a następnie sprawdzić deformację modelu numerycznego obciążonego ciśnieniem powietrza wywołanego wiatrem o zadanej prędkości. W przypadku stwierdzenia znacznych różnic pomiędzy modelem numerycznym a rzeczywistą konstrukcją konieczna jest modyfikacja modelu polegająca na weryfikacji przyjętych założeń upraszczających. Działanie wiatru jest zjawiskiem losowym, charakteryzującym się dynamicznymi zmianami w czasie, dlatego monitoring przemieszczeń w budynku powinien być zsynchronizowany z pomiarem i rejestracją działania wiatru.

3. Opis obiektu badań – kościół w Domachowie

Ciągły pomiar przemieszczeń, powiązany z pomiarem prędkości i kierunku wiatru, był prowadzony podczas badania zabytkowego kościoła w Domachowie. Drewniana konstrukcja budynku jest uznawana za jedną z najstarszych w Wielkopolsce, niektóre jej elementy są datowane na rok 1368. Bryła kościoła składa się z kilku części różniących się czasem powstania oraz rozwiązaniami konstrukcyjnymi. Najstarsza część, składająca się z nawy głównej i prezbiterium (rys. 1), ma podwójną konstrukcję nośną. Zrębowe ściany zbudowane są z dębowych bierwion o grubości do 18 cm i wzmocnione od środka słupowo-rygłowym szkieletem.

Dobudowana później nawa boczna, kaplica i zakrystia mają szkieletową konstrukcję ścian zewnętrznych. Zachodnia część, najmłodsza i najbardziej regularna zawiera kruchtę i chór, nad którymi znajduje się dzwonnica. Bryła budynku przykryta jest drewnianą więźbą dachową, nad nawą główną i prezbiterium jest to więźba storczykowa (rys. 2), a nad częściami później dobudowanymi są więźby krokwiowe ze ściankami stolcowymi.

Wstępne badania wykazały, że bryła kościoła w środkowej części charakteryzuje się małą sztywnością poprzeczną. Co prawda konstrukcję dachu stanowi przestrzenna sztywna kratownica, to jednak wsparta jest na smukłych słupach, które tylko w płaszczyźnie ściany razem z ryglami tworzą sztywną tarczę. Natomiast w kierunku prostopadłym do ściany (rys. 2) brakuje usztywnień, który mogłyby zabezpieczyć układ przed przemieszczeniami, np. podczas



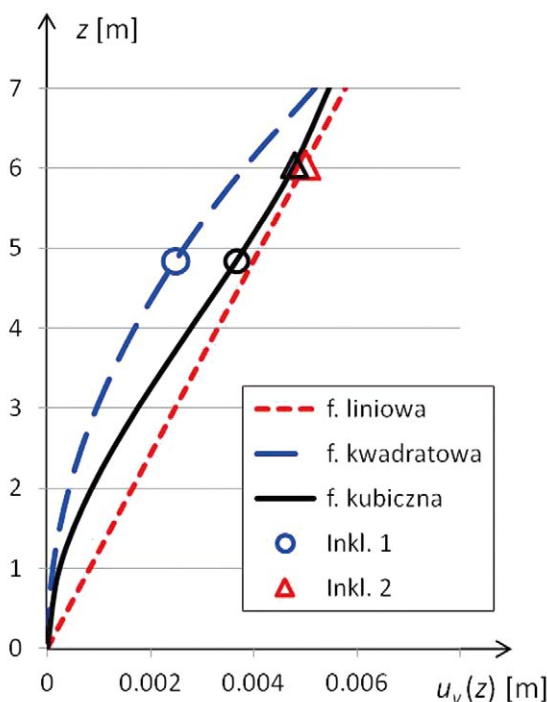
działania wiatru. Warto dodać, że słupy w tej ścianie są pochylone w obu kierunkach. Głowica słupa, w skrajnym przypadku jest przesunięta względem podstawy o 24 cm w kierunku zachodnim (w płaszczyźnie ściany), natomiast w kierunku północnym, prostopadłe do płaszczyzny ściany, maksymalnie o 20 cm. Przechylenia te nastąpiły na skutek degradacji podwalin i fundamentów, a podczas remontu w latach trzydziestych XX wieku naprawiono uszkodzenia bez próby „prostowania” konstrukcji.

4. Monitoring obiektu historycznego

W celu ustalenia, czy deformacja konstrukcji postępuje wraz z upływem czasu zdecydowano o prowadzeniu monitoringu geodezyjnego. W miesięcznych odstępach wykonywano dokładne pomiary geodezyjne wybranych punktów zlokalizowanych na elementach drewnianej konstrukcji. Całoroczna obserwacja pozwoliła ustalić, że przechył konstrukcji nie postępuje oraz że zmiany warunków atmosferycznych, takich jak temperatura czy wilgotność powietrza mają niewielki wpływ na deformację konstrukcji.

Drugi rodzaj monitoringu polegał na stałej obserwacji zmiany pochylenia słupów w celu określenia wartości przemieszczeń poziomych na wysokości stropu. Pomiar odbywał się w sposób ciągły przy użyciu inklinometrów, ale liczba zapisanych danych musiała być ograniczona, ponieważ obserwacja prowadzona dla kilku punktów przez cały rok oznaczała konieczność tworzenia olbrzymich zbiorów danych. Zdecydowano, że zapisywana będzie wartość ekstremalna zmierzona w każdym dziesięciominutowym przedziale czasu. W ten sposób możliwe było uchwycenie i zarejestrowanie maksymalnych przemieszczeń konstrukcji budynku wywołanych podmuchami wiatru. Przykładowy zapis przemieszczeń górnej części słupa w poprzek budynku (u_y , linia ciągła Y-9) i wzdłuż budynku (u_x , linia przerywana X-9) wywołanych działaniem wiatru przedstawiono na rysunku 3.

Podczas działania silnych podmuchów wiatru w nocy z 17 na 18 lutego 2023 roku zaobserwowano wzrost przemieszczeń



Rys. 4. Krzywizna linii ugięcia słupa przy różnych założeniach brzegowych

w części środkowej nawy głównej. Warto zauważyć, że przy wietrze o kierunku zachodnim (wzdłuż budynku) przemieszczenia w poprzek budynku były znacznie większe niż przemieszczenia wzdłuż budynku, a wartości maksymalne były ponad dwukrotnie większe, odpowiednio: $\max.(Y-9) = 7,6$ mm, $\max.(X-9) = 3,6$ mm.

Związek pomiędzy przemieszczeniami poziomymi w górnej części słupa, czyli w poziomie stropu a pochyleniami słupów zależy od przyjętego modelu słupa, jego warunków podparcia oraz jego sztywności giętnej. Przyjmując, że słup jest podparty przegubowo dołem, a jego sztywność giętą jest odpowiednio duża, cały element może zachowywać się jak bryła sztywna, a kąt obrotu przekroju w każdym punkcie na długości elementu jest taki sam (funkcja liniowa na rysunku 4). Wobec tego inklinometr może być zamontowany na dowolnej wysokości, bo odczyt w każdym punkcie będzie taki sam. Można również założyć, że słup ma ograniczoną sztywność giętą, a kształt jego deformacji jest zbliżony do funkcji drugiego stopnia. Wtedy dysponując jednym inklinometrem, można wyznaczyć krzywiznę słupa pod warunkiem, że słup dołem jest utwierdzony (funkcja kwadratowa na rysunku 4). Natomiast dysponując dwoma inklinometrami, czyli pomiarem obrotów w dwóch punktach słupa, można wyznaczyć jego krzywiznę według krzywej trzeciego stopnia, ale pod warunkiem, że słup dołem jest utwierdzony (funkcja kubiczna na rysunku 4). Przy założeniu, że w podstawie słup nie jest utwierdzony (obrót różny od zera), do opisu jego krzywizny funkcją trzeciego stopnia niezbędne są pomiary pochylenia w trzech punktach na jego długości.

Porównując wyniki (rys. 4) otrzymane na podstawie ekstremalnych pochylenia zmierzonych w dwóch inklinometrach, można stwierdzić, że w trzech przyjętych modelach przemieszczenia góry słupa są podobne. Więcej informacji na temat wyznaczania przemieszczeń na podstawie zmierzonych pochylenia można znaleźć w pracy [7].

5. Podsumowanie

Obecnie dostępne systemy pomiarowe umożliwiają obserwację stanu technicznego budynku w sposób ciągły, stacjonarnie lub zdalnie. System monitorujący konstrukcję budynku oprócz obserwacji jej deformacji powinien także ostrzegać w przypadku przekroczenia wartości dopuszczalnych ugięć lub przemieszczeń. Monitoring konstrukcji jest szczególnie przydatny w przypadku obiektów historycznych, ponieważ może ułatwić wykrycie słabszych elementów lub miejsc, gdzie degradacja konstrukcji postępuje. Daje również wyjątkowe możliwości monitorowania i oceny stanu obiektów o największej wartości i znaczeniu dla kultury narodowej. W artykule opisano metodę obserwacji przemieszczeń konstrukcji z wykorzystaniem inklinometrów. Urządzenia te są stosowane w budownictwie, ale głównie do badania konstrukcji masowych. Zastosowanie pochyłomierzy do obserwacji konstrukcji drewnianej wymaga przyjęcia odpowiedniego modelu statycznego dla badanego elementu. Do badania krzywizny zdeformowanego słupa drewnianego wskazany jest pomiar pochylenia w trzech punktach. Prowadzenie pomiarów przez pełen rok umożliwiło ocenę stanu deformacji oraz pomogło w podjęciu decyzji dotyczących kolejności dalszych napraw i opracowania harmonogramu prac konserwatorskich.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wilde K., Systemy monitoringu konstrukcji obiektów budowlanych, XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna Awary Budowlane, Międzyzdroje, 2013
- [2] Riggio M., Dilmaghani M. Structural health monitoring of timber buildings: a literature survey, *Building Research and Information* 48(8)/2020, str. 817–837, <https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1681253>
- [3] Cavalli A., Togni M., Monitoring of historical timber structures: state of the art and perspective, *Journal of Civil Structural Health Monitoring* 5/2015, str. 107–113, <https://doi.org/10.1007/s13349-014-0081-8>
- [4] Deivasigamani A., Daliri A., Wang Ch., John S. A Review of Passive Wireless Sensors for Structural Health Monitoring, *Modern Applied Science* 7(57)/2013, str. 57–76, <https://doi.org/10.5539/mas.v7n2p57>
- [5] Arezzo D., Quarchioni S., Nicoletti V., Carbonari S., Gara F., Leonardo C., Leoni G. SHM of historical buildings: The case study of Santa Maria in Via church in Camerino (Italy), *Procedia Structural Integrity* 44/2023, str. 2098–2105, <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.01.268>
- [6] Cruz H., Yeomans D., Tsakanika E., Macchioni N., Jorissen A., Touza M., Mannucci M., Lourenco P., Guidelines for On-Site Assessment of Historic Timber Structures. *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration* 9/2014, <https://doi.org/10.1080/15583058.2013.774070>
- [7] Pawlak Z. M., Wyczałek I., Marciniak P., Two Complementary Approaches toward Geodetic Monitoring of a Historic Wooden Church to Inspect Its Static and Dynamic Behavior, *Sensors* 23/2023, str. 8392, <https://doi.org/10.3390/s23208392>

Paszporthy Materiałowe i Cyfrowe Paszporthy Produktów jako wspomaganie zamkniętego obiegu budownictwa

Material Passports and Digital Product Passports as the support of construction circular economy

dr hab. inż. Adam Glema (ORCID: 0000-0001-7397-0137), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska, dr inż. Joanna A. Pawłowicz (ORCID: 0000-0002-1334-5361), Wydział Geoinżynierii, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0968

Streszczenie: Unia Europejska promując gospodarkę o obiegu zamkniętym (GOZ), dąży do dekarbonizacji do 2050 roku. W związku z tym sektor budowlany, który odpowiada za znaczną emisję CO₂ i zużycie surowców, wymaga nowych, innowacyjnych rozwiązań. Kluczową rolę odgrywają cyfrowe paszporthy produktów (DPP) i paszporthy materiałowe, które śledzą pochodzenie i cykl życia materiałów, wspierając ponowne wykorzystanie i recykling. Technologie cyfrowe, takie jak BIM, IoT i AI ułatwiają wdrażanie GOZ. DPP zapewnia autentyczne dane o produktach, wspierając transparentność i zgodność z regulacjami UE i dostęp przez koncepcję budynków jako banki materiałów Buildings as Material Banks (BAMB). Producenci, użytkownicy, firmy recyklingowe i inne podmioty będą miały zapewniony dostęp do paszportów. Wdrożenie DPP wymaga interoperacyjności i długoterminowej dostępności. Przyczyni się to do zrównoważonego budownictwa i ograniczenia zużycia zasobów.

Słowa kluczowe: gospodarka cyrkularna, cyfrowe informacje budowlane, recykling, modelowanie informacji budowlanych BIM.

Abstract: The European Union promotes a circular economy (CE) solution, pursuing decarbonization by 2050. In this regard, the construction sector, which is responsible for CO₂ emissions and causes new, innovative solutions are required. Key security digital product passports (DPP) and material passports (MP), which are derived from the life cycle of materials, through use and recycling. Digital technologies such as BIM, IoT and AI, facilitate the implementation of CE. DPP provides data on manufacturers, transparency and compliance with EU regulations and access through the first buildings as material banks Buildings as (BAMB) material banks. Manufacturers, users, recyclers and other risks that may have access to passports. The implementation of DPP requires interoperability and long-term. It will contribute to the consumption of construction and the reduction of resource consumption.

Keywords: circular economy, digital building information, recycling, BIM building information modeling, management.

1. Wprowadzenie

U podstaw strategii Unii Europejskiej na nadchodzące lata leży ambitny cel osiągnięcia całkowitej dekarbonizacji do 2050 roku, zawarty w Europejskim Zielonym Ładzie [EU 2019]. Zgodnie z raportem UE Plan działania UE na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym [EU 2022a], aby zrealizować ten cel, jedną z kluczowych strategii dla CE jest maksymalizacja wskaźników recyklingu i renowacji. W ten sposób celem jest zmniejszenie zależności od zasobów pierwotnych, kompleksowe podejście, mające na celu przekształcenie wzorców konsumpcji i zapobieganie wytwarzaniu odpadów. Kładzie to nacisk na stworzenie dobrze funkcjonującego rynku wewnętrznego dla wysokiej jakości surowców wtórnych, wzmacniając wysiłki na rzecz ponownego wykorzystania i recyklingu. W tym sensie Europa jest zobowiązana do przeprowadzenia transformacji, oferując wpływ, wiedzę i zasoby finansowe.

2. Motywacja paszportów produktów

Obecne trendy ujawniają alarmujący wzorec zużycia zasobów przekraczający zrównoważone limity. Komisja Europejska w swoim nowym Europejskim planie działania dotyczącym gospodarki o obiegu zamkniętym ECEAP [EU2020] przewiduje potencjalne podwojenie zużycia minerałów, biomasy, metali i paliw kopalnych w ciągu najbliższych czterech dekad, w połączeniu z 70% wzrostem rocznej produkcji odpadów do 2050 roku. Kryzys energetyczny wywołany wojną Rosji w Ukrainie podkreśla konieczność ustanowienia przez kraje europejskie silnej niezależności od zasobów zewnętrznych, podkreślając potrzebę wykorzystania zasobów wewnętrznych w celu stworzenia bardziej zrównoważonego systemu. W odpowiedzi na to wyzwanie gospodarka o obiegu zamkniętym GOZ staje się kluczowym rozwiązaniem dla ochrony zasobów [EU 2020b]. Podejście to koncentruje się na minimalizacji zarówno zużycia

zasobów, jak i wytwarzania odpadów, łagodząc w ten sposób wpływ przemysłu na środowisko.

2.1. Gospodarka o obiegu zamkniętym w sektorze budowlanym

Sektor budowlany, podstawowy filar światowej gospodarki, jest jednym z największych konsumentów energii i przyczynia się do degradacji środowiska i zużycia zasobów. Odpowiada za 37% globalnej emisji CO₂ związanej z energią, 40–50% zużycia surowców na całym świecie i ponad 35% wszystkich odpadów wytwarzanych w UE, zgodnie z raportem EuroSTATS 2016 w raporcie UE na rzecz czystszej i bardziej konkurencyjnej Europy [EU2020c]. Biorąc pod uwagę ten znaczący wpływ, istnieje pilna potrzeba rozwiązania kwestii zużycia energii i zasobów poprzez ponowne przemyślenie praktyk i operacji związanych z budynkami [1, 2]. Obejmuje to przyspieszenie renowacji budynków i zwiększenie wartości materiałów i komponentów budowlanych, zgodnie z zasadami gospodarki cyrkularnej [3, 4, 5].

3. Tło historyczne i ewolucja paszportów

Termin „paszport budowlany” istnieje w Europie od dziesięcioleci. Jego początki sięgają prawie 30 lat wstecz, do połowy lat 90. ubiegłego wieku, kiedy to w Niemczech pojawił się „Gebäude-Pass”, a w Danii „Det digitale energimærke”. Pomimo tych starych korzeni nie ma powszechnie uzgodnionej definicji narzędzia, a różne podejścia – od charakterystyki energetycznej do danych technologicznych – współistniały w różnych regionach Unii Europejskiej. To, co wydaje się być jednomyślne, to fakt, że Paszporty Produktów są narzędziami, które dostarczają istotnych informacji na temat budynków różnym interesariuszom w sektorze budowlanym, od użytkowników, producentów, dostawców, po techników, finansistów, bankowców lub ubezpieczycieli. Treść i format Paszportu Produktu różnią się w zależności od inicjatywy.

W 2002 roku świadectwa charakterystyki energetycznej EPC zostały wprowadzone na mocy pierwszej dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (EPBD) – dyrektywy 22/91/WE – w celu zwiększenia przejrzystości oceny charakterystyki energetycznej budynków w Unii Europejskiej. Jej aktualizacja, w postaci drugiej dyrektywy 2010/31/UE („Dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków” lub „EPBD”), stała się głównym instrumentem prawnym w Unii Europejskiej zapewniającym wiążące normy. W 2019 roku komisja wydała dwa zalecenia dotyczące renowacji i modernizacji budynków w oparciu o nowelizację dyrektywy EPBD z 2018 roku, aby ułatwić państwom członkowskim stosowanie dyrektywy. Ponadto dyrektywa EPBD rozszerzyła zakres systemów technicznych budynków podlegających obowiązkowym regularnym kontrolom lub alternatywnym środkom opartym na automatyzacji i kontroli lub elektronicznym monitorowaniu w niektórych budynkach niemieskalnych. Pakiet „Fit for 55” zakłada, że wszystkie nowo powstające do 2030 roku powinny zostać wybudowane jako budynki zeroemisyjne, a istniejące budynki powinny zostać przekształcone w budynki

zeroemisyjne do 2050 roku. Parlament Europejski formalnie przyjął przepisy 18 kwietnia 2023 roku.

W obliczu ogromnej transformacji, która wpłynie na wszystkich – nie tylko na firmy pełniące różne role: od dostawców surowców, producentów chemikaliów, producentów komponentów, producentów wyrobów, firm naprawczych, do użytkowników recyklingu materiałów, a także i użytkowników, należy zmieścić podejście do eksploatacji. Obecny styl życia i sposób wytwarzania produktów muszą ulec przeobrażeniu, które pozwoli na życie w bardziej zrównoważonym świecie [6].

3.1. Technologie cyfrowe dla sektora budowlanego

Cyfryzacja w budownictwie jest jednym z głównych celów unijnego planu działania na rzecz cyfryzacji. Technologie cyfrowe zostały szeroko zbadane jako ważne czynniki umożliwiające wspieranie wydajnych procesów i operacji związanych z budownictwem. Narzędzia takie jak między innymi: big data, sztuczna inteligencja AI, Block Chain i Internet rzeczy IoT są świadkami ciągłych wysiłków na rzecz wykorzystania ich w procesach budowlanych, z wyraźnym akcentem na wdrożenie ekologicznych zachowań. Szczególny nacisk kładzie się na modelowanie informacji o budynku BIM ze względu na jego zdolność do poprawy wielu aspektów zrównoważonego rozwoju budynku [7], obiegu zamkniętego i zarządzania w całym cyklu życia [8]. BIM odgrywa kluczową rolę: w fazie projektowania poprzez ocenę najlepszych alternatyw, w fazie użytkowania poprzez planowanie skutecznej konserwacji oraz w fazie wycofania z eksploatacji poprzez zarządzanie rozbiórką oraz odzyskiwaniem i ponownym wykorzystaniem materiałów.

Co więcej, BIM jest często wykorzystywany we współpracy z innymi narzędziami cyfrowymi, aby zsynchronizować ich możliwości w celu usprawnienia procesu decyzyjnego. Dobitym przykładem jest synergia między modelowaniem informacji budowlanych i paszportem materiałowym. Przynosi ona korzyści w zakresie śledzenia materiałów i dostarczania informacji o tym, jak można je najefektywniej wykorzystać pod względem zrównoważonego rozwoju i obiegu zamkniętego. Rola technologii cyfrowych wykracza poza skupienie się na optymalizacji technicznych aspektów budowy. Promuje również aspekty procesowe, w tym zapewnienie łączności między interesariuszami łańcucha wartości, poprzez zapewnienie dostępu do informacji za pośrednictwem scentralizowanych systemów. Liczne możliwości technologii cyfrowych zapewniają sektorowi budowlanemu nowe możliwości przejścia od tradycyjnych modeli biznesowych do modeli biznesowych o obiegu zamkniętym. Jednym z takich modeli jest system produktowo-usługowy, który został uznany za ważną innowację modelu biznesowego w celu osiągnięcia CE opartego na cyfryzacji.

Dalszy rozwój CE w budownictwie wiąże się z przyjęciem elastycznych projektów budynków i dostosowaniu ich do przyszłych modyfikacji. Jest to ułatwione dzięki opracowaniu narzędzi i metod wspierających projektowanie budynków o obiegu zamkniętym, takich jak projektowanie pod kątem demontażu i projektowanie pod kątem możliwości adaptacji. Podejścia te

umożliwiają efektywne śledzenie materiałów wzdłuż łańcuchów wartości, optymalizując wykorzystanie zasobów i wspierając ścieżki obiegu zamkniętego, takie jak recykling, ponowne użycie, renowacja i regeneracja. Zasadnicze znaczenie dla tych wysiłków mają Paszporty Materiałów, Cyfrowe Paszporty Produktów i Paszporty Budynków, które służą jako krytyczne narzędzia kierujące zarządzaniem materiałami i budynkami w całym ich cyklu życia [9]. Jeśli chcemy mieć lepszy świat w przyszłości, musimy przyjąć zasadę obiegu zamkniętego. Jeśli chcemy przyjąć architekturę cyrkularną, konieczne jest ponowne wykorzystanie materiałów. A jeśli chcemy ponownie wykorzystać materiały – paszporty materiałowe są niezbędne [10].

4. Krytyczne wyzwania budownictwa

Branża budowlana stoi obecnie przed dwoma krytycznymi wyzwaniami: zaprzestać emisji dwutlenku węgla i innych szkodliwych zanieczyszczeń, spowolnić wydobywanie zasobów naturalnych.

Najprostszym rozwiązaniem dla obu problemów jest po prostu zaprzestanie budowania i życie z przestrzeniami, które już istnieją. Ale to również nie jest właściwa odpowiedź – potrzebujemy przestrzeni i miejsc, w których społeczeństwo może się rozwijać w sprawiedliwy sposób, a niestety wiele obecnych zasobów budowlanych po prostu nie spełnia oczekiwań. Dlatego jedyną alternatywą jest zaprzestanie stosowania nowych materiałów lub przynajmniej ograniczenie ich użycia.

Coraz częściej można zaobserwować, że zespoły projektowe ponownie wykorzystują jak najwięcej istniejących budynków. Zasadniczo zachowuje się znaczną część oryginalnej konstrukcji. Jednak wszelkie materiały, które muszą zostać usunięte z terenu budowy w ramach procesu rozbiórki, zwykle trafiają do pętli do-wncyklingu. Można by dążyć do upcyklingu, poprzez ostrożne zdekonstruowanie budynku i ponowne wykorzystanie materiałów do tworzenia obiektu o jeszcze wyższym standardzie.

W dzisiejszej gospodarce jest to pozornie niemożliwe zadanie. Dekompozycja jest droższa niż rozbiórka, materiały zazwyczaj nie zostały zaprojektowane z myślą o ich odzysku. Często są ze sobą sklejone, więc prawie niemożliwe jest ich rozdzielanie bez uszkodzeń. To bardzo ryzykowny biznes, aby wziąć materiał, o którym nic nie wiadomo i zastosować go „jak nowy” w innym miejscu. W 2021 roku pokładano nadzieję w tym, że tematyka gospodarki zamkniętej wywoła zainteresowanie i zainspiruje innych do przyłączenia się do wysiłków. Zainteresowanie tą tematyką okazało się bardzo duże i pojawiła się ogromna liczba ofert wsparcia, które napłynęły ze wszystkich zakątków branży, a coraz częściej ze wszystkich zakątków świata [11].

5. Paszport materiałowy i cyfrowy produkt budowlany

Od 2022 roku uwaga w zakresie paszportów została ukierunkowana na paszport materiałowy. Celem badań naukowców brytyjskich jest zebranie testów, przemysłów i debat oraz współpraca

z branżą budowlaną. Powoli można zaobserwować branżowe postępy i należy zachęcać innych do przyłączenia się do grona zwolenników ponownego wykorzystania materiałów i szukania sposobów, aby tak się stało.

Nową rolą jest zidentyfikowanie i zmaksymalizowanie potencjału, jaki niesie ze sobą każda inicjatywa budowlana. Należy zastanowić się nad obecnymi aktywami budowlanymi, w szczególności nad budynkami, które nie nadają się do ponownego wykorzystania. Dlatego konieczne jest, aby zrozumieć, jak projektować pod kątem obiegu zamkniętego i przenieść tę mądrość do przyszłej pracy w pełnym cyklu życia budynku. Człowiek, jako gospodarz środowiska naturalnego, ma istotną odpowiedzialność i musi zdecydować się na mądre wykorzystanie natury. Brak danych i trudności w śledzeniu materiałów i wyrobów to dwie główne przeszkody w branży budowlanej, które utrudniają realizację gospodarki o obiegu zamkniętym. Szablony danych, paszporty materiałów MP i cyfrowe paszporty produktów DPP to instrumenty paszportowe, które dostarczają cennych informacji budowlanych. Szablony danych zapewniają cyfrowe znormalizowane struktury danych. Takie cyfrowe zestawy danych, opisują charakterystykę budynku, np. elementów i DPP (międzysektorowe paszporty opracowane przez Unię Europejską) w celu gromadzenia danych o produktach pod kątem zrównoważonego rozwoju przez koncepcję Buildings as Material Banks (BAMB) [12].

6. Wymagania dotyczące cyfrowego paszportu produktu budowlanego

Paszport materiałowy to, jak sama nazwa wskazuje, dokument tożsamości dla materiałów budowlanych. Podstawową ideą jest to, że jeśli masz dostęp do przydatnych informacji, takich jak oryginalna specyfikacja i historia życia elementu, to większa jest baza do podjęcia decyzji, czy materiał będzie wartościowy w przyszłości, czy nie. Większość dotychczasowych prac badawczych koncentrowała się na opracowaniu koncepcji dla nowych materiałów, ale musimy wyjść poza takie ograniczenie i znaleźć sposób na powtórne, bezpieczne wykorzystanie już istniejących materiałów. Ogólne wymagania dotyczące Cyfrowego Paszportu Produktu obejmują:

- DPP powinien istnieć i być zgodny z podstawowymi wymaganiami,
- DPP powinien być jednoznacznie powiązany z produktem,
- kopia zapasowa DPP musi być dostępna za pośrednictwem zewnętrznego dostawcy usług,
- DPP musi pozostać dostępny przez co najmniej oczekiwany okres użytkowania produktu,
- DPP musi być w pełni interoperacyjny z innymi cyfrowymi paszportami produktów.

Wymagania dotyczące Cyfrowego Paszportu Produktu to:

- dostęp powinien być udzielany poprzez unikalny identyfikator produktu osadzony w nośniku danych,
- kopia nośnika danych i unikalny identyfikator produktu powinny być udostępniane sprzedawcom i sklepom internetowym,

- dostęp do danych powinien być zróżnicowany, z podziałem na dane publiczne i zastrzeżone.

Biorąc pod uwagę dużą liczbę interesariuszy i podmiotów uczestniczących w danym łańcuchu wartości, a także zróżnicowane wymagania i wykorzystanie danych, rozwiązanie DPP będzie wymagało elastycznego podejścia do udostępniania i dostępności danych [12].

Wymagania dotyczące danych Cyfrowego Paszportu Produktu obejmują:

- DPP powinien zawierać wszystkie obowiązkowe informacje wymienione w akcie delegowanym dotyczącym konkretnej grupy produktów,
- dane budowlane zawarte w DPP powinny być autentyczne, wiarygodne i zweryfikowane,
- unikalny identyfikator produktu powinien być utworzony i wydawany zgodnie z normami,
- powinien istnieć link do unijnego rejestru cyfrowego paszportu produktu,
- kopia DPP powinna zostać przesłana do portalu internetowego UE.

Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie ekoprojektu [EU 2022b] dla zrównoważonych produktów ESPR, kluczowi interesariusze, którzy powinni mieć dostęp do DPP w oparciu o różne uprawnienia i prawa dostępu obejmują: klientów, producentów, importerów, dystrybutorów, serwisantów, użytkowników, firmy recyklingowe, organy nadzoru, logistyków, służby celne, organizacje społeczne i obywatelskie, kredytodawców, Facility Manager'ów, jednostki ratunkowe. Obecne propozycje będą kategoryzować dane przechowywane w ramach DPP jako prywatne lub publiczne, podczas gdy uprawnienia do dostępu, modyfikacji lub aktualizacji danych zostaną określone przez Komisję Europejską. Chociaż szczegółowe akty delegowane mające na celu sformalizowanie DPP dla każdej branży docelowej są nadal w fazie rozwoju, Komisja Europejska zapewniła, że bezpieczeństwo danych i prywatność są gwarantowane przez Europejskie Centrum Programowania DPP.

7. Podsumowanie

Paszporty Materiałowe MP i Cyfrowe Paszport Produktów DPP, które są związane z aktywami budowlanymi, pomagają architektom, urbanistom, właścicielom budynków, zarządcom nieruchomości, inspektorom ochrony środowiska ocenić wartość i potencjał ponownego wykorzystania materiałów i wyrobów budowlanych. Kilka inicjatyw opracowało szablony danych i paszporty dla nowych i istniejących budynków. Wyzwania związane z ich wykorzystaniem obejmują brak standaryzacji szablonów danych i paszportów oraz trudności w tworzeniu, gromadzeniu, przetwarzaniu i archiwizowaniu danych paszportowych w całym cyklu życia budynku. Standaryzacja wspomaga wdrażanie paszportów. Współczesnym wyzwaniem jest dostosowanie istniejących koncepcji i identyfikacja nakładających się na siebie elementów. Wyniki badań i dotychczasowa praktyka sugerują, że wykorzystanie systemów informacji



- producent
- data produkcji
- numer seryjny
- wykaz składników
- kraj pochodzenia składników
- specyfikacje techniczne
- zgodność z przepisami
- informacje o bezpieczeństwie
- ślad węglowy CO₂
- łańcuch dostaw
- poprzedni użytkownicy
- historia wykorzystania
- informacje o wycofaniu

geograficznej GIS, skanowania laserowego i modelowania informacji budowlanej BIM pomoże w skuteczniejszym wdrażaniu paszportów materiałowych i wyrobów w praktyce.

Chociaż daje to podstawowy przegląd obecnych wymogów, należy zauważyć, że oczekuje się, że bardziej szczegółowe informacje na temat wymogów DPP zostaną opublikowane przez UE w ramach aktów delegowanych w nadchodzących miesiącach.



BIBLIOGRAFIA

- [1] Van Capelleveen G., Vegter D., Olthaar M., Van Hillegersberg J., The Anatomy of a Passport for the Circular Economy: A Conceptual Definition, Vision and Structured Literature Review, Resources, Conservation & Recycling Advances 17, 2023, str. 200131
- [2] Munaro M. R., Tavares S. F., Materials Passport's Review: Challenges and Opportunities Toward a Circular Economy Building Sector, Built Environment Project and Asset Management 4/2021, str. 767–782
- [3] Çetin S., Gruis V., Straub A., Digitalization for a Circular Economy in the Building Industry: Multiple-Case Study of Dutch Social Housing Organizations, 2022
- [4] Van Yaroson E., Chowdhury S., Mangla S. K., Dey P., Chan F. T., Roux M., A Systematic Literature Review Exploring and Linking Circular Economy and Sustainable Development Goals in the Past Three Decades (1991–2022), International Journal of Production Research 62(4)2024, str. 1399–1433
- [5] De Wolf C., Çetin S., Bocken N., A Circular Built Environment in the Digital Age, in: Circular Economy and Sustainability, Springer, Cham, 2024
- [6] Saari L., Heilala J., Heikkilä T., Kääriäinen J., Pulkkinen A., Rantala T., Digital Product Passport Promotes Sustainable Manufacturing: Whitepaper. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland, 2022
- [7] Glema A., Pawłowicz J. A., Model informacji o obiekcie budowlanym BIM jako dane produktu budowlanego do tworzenia cyfrowego paszportu produktu DPP, [w:] 17 Konferencja Naukowo-Techniczna Techniki Komputerowe w Inżynierii TKI, 15–18 października 2024
- [8] Zhang A., Duong L., Seuring S., Hartley J. L., Circular Supply Chain Management: A Bibliometric Analysis-Based Literature Review, The International Journal of Logistics Management, 2023a, <https://doi.org/10.1108/IJLM-04-2022-0199>
- [9] Protokół, Digital Product Passport (DPP): A Complete Guide, (2023)
- [10] Leindecker G. et al., Material and Building Passports as Supportive Tools for Enhancing Circularity in Buildings, [w:] Bragança L., et al., Circular Economy Design and Management in the Built Environment, Springer, Cham, 2025
- [11] The Construction Index, Materials Passports Pioneered on London's Ede-nica Building, 2022
- [12] Buildings as Material Banks BAMB, Enabling a circular building industry, 2019
- [13] Glema A., Maćkowiak M., Zastosowanie znaczników RFID i systemu synchronizacji danych GS1 produktów w modelowaniu i zarządzaniu informacjami, 16 Konferencja Naukowo-Techniczna Techniki Komputerowe w Inżynierii TKI, 18–21 października 2022

Praktyczne aspekty nadzoru nad wyposażeniem laboratorium badawczego

Practical aspects of supervising research laboratory equipment

dr inż. Monika Chuda-Kowalska (ORCID: 0000-0002-7250-6348), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0969

Streszczenie: W artykule, po krótkim wprowadzeniu do zagadnień metrologii, omówiono praktyczne aspekty zarządzania sprzętem pomiarowym w kontekście wymagań normy ISO/IEC 17025 [1]. Przedstawione zostały metody doboru, walidacji i kwalifikacji wyposażenia, a także strategie jego monitorowania i zarządzania. Szczególną uwagę poświęcono kwestii zachowania spójności pomiarowej oraz analizie ryzyka związanego z eksploatacją sprzętu. Ponadto przedstawiono przykład wdrożenia systemu zarządzania i nadzoru nad wyposażeniem w laboratorium badawczym posiadającym akredytację. Całość zamyka krótkie podsumowanie.

Słowa kluczowe: spójność pomiarowa, wzorcowanie, nadzór, akredytacja.

Abstract: The article begins with a concise introduction to metrology, followed by a focus on the practical aspects of measurement equipment management in accordance with the requirements of ISO/IEC 17025 [1]. It discusses methods for selecting, validating, and qualifying equipment, as well as strategies for its monitoring and management. Particular attention is given to ensuring measurement consistency and analyzing risks associated with equipment operation. Additionally, an example of the implementation of a management and supervision system for equipment in an accredited testing laboratory is presented. The article concludes with a brief summary.

Keywords: measurement traceability, calibration, supervision, accreditation.

1. Wprowadzenie

Jednym z istotnych elementów zapewnienia jakości zarówno procesów wytwarzania, jak i wielu gałęzi działalności usługowej jest nadzór nad wyposażeniem. Przystępując do nadzoru sprzętu pomiarowego, w pierwszej kolejności należy odpowiedzieć sobie na pytanie, jakie wymagania w tym zakresie dotyczą danej organizacji. Metrologię w laboratorium, ze względu na wymagania dotyczące wyposażenia pomiarowego i pomiarów, możemy podzielić na dwa zasadnicze obszary: metrologię prawną oraz naukową i stosowaną, zwaną również przemysłową. Wybrane zagadnienia z tej dziedziny zestawione są w publikacji pod redakcją Jerzego Roja [2]. W Polsce jednostką notyfikowaną w zakresie metrologii prawnej jest Główny Urząd Miar [3]. Prawnej kontroli metrologicznej podlegają przyrządy pomiarowe, które są wykorzystywane w określonych zastosowaniach wymienionych w ustawie Prawo o miarach [4]. W tym przypadku wymagane jest świadectwo legalizacji danego wyposażenia. Metrologia naukowa i stosowana to system oparty na wymaganiach normatywnych. Jest on dobrowolny i polega na odniesieniu się do wzorca międzynarodowego i określeniu niepewności pomiaru. W tym przypadku dokumentem potwierdzającym jakość danego wyposażenia jest świadectwo wzorcowania. Więcej informacji w zakresie terminologii błędów i niepewności

pomiaru oraz wymagań zawartych w dokumentach ISO przedstawili w swej monografii Jakubiec i Malinowski [5]. Nadzór nad wyposażeniem w laboratorium akredytowanym odgrywa ważną rolę w aspekcie wiarygodności przedstawianych wyników badań i jest obwarowany licznymi wymogami normy ISO/IEC 17025 [1]. Z uwagi na uniwersalny charakter norma nie precyzuje typów przyrządów, interwałów kontroli czy sposobu prowadzenia nadzoru. Zagadnienia te pozostają do ustalenia po stronie organizacji, która przyjmuje określony system zarządzania. Wymagania Polskiego Centrum Akredytacji [6] w zakresie spójności pomiarowej definiuje dokument DA-06 [7]. Spełnienie wymagań przedstawionych w tym dokumencie jest obowiązkowe jako warunek uzyskania/utrzymania akredytacji przez laboratorium. W dalszych rozdziałach szczegółowo omówione zostaną praktyczne sposoby spełnienia tych wymagań oraz przedstawione zostanie studium przypadku pokazujące wprowadzenie skutecznego systemu nadzoru nad wyposażeniem w laboratorium badawczym.

2. Wymagania normy ISO/IEC 17025 [1] dotyczące wyposażenia laboratoryjnego

Kluczowe wymagania dotyczące sprzętu pomiarowego zawiera pkt. 6.4 normy [1]. Związane są one z:

- jego odpowiednim doborem – laboratorium musi zapewnić, że stosowane urządzenia pomiarowe są odpowiednie do planowanych badań i pomiarów,
- identyfikacją i oznakowaniem sprzętu pomiarowego – każde urządzenie powinno być jednoznacznie zidentyfikowalne, a jego status powinien być jasno określony,
- dokumentowaniem użytkowania i historii urządzenia – laboratorium jest zobowiązane do prowadzenia rejestrów zawierających m.in. daty zakupu, przeglądów, wzorcowania, napraw i ewentualnych problemów technicznych czy sprawdzeń pośrednich,
- wzorcowaniem, konserwacją i monitorowaniem sprawności – urządzenia pomiarowe muszą być regularnie sprawdzane i wzorcowane zgodnie z ustalonym harmonogramem nadzoru metrologicznego,
- postępowaniem z uszkodzonym sprzętem – norma [1] wymaga, aby laboratorium określiło procedury postępowania w przypadku wykrycia usterek, w tym oznaczania i wycofywania niesprawnych urządzeń z użytkowania,
- środowiskiem użytkowania sprzętu – laboratorium musi zapewnić, że warunki środowiskowe nie wpływają negatywnie na działanie urządzeń.

Dobór odpowiedniego sprzętu laboratoryjnego powinien opierać się na następujących kryteriach:

- zastosowanie i wymagania techniczne – urządzenie musi być zgodne z zakresem badań prowadzonych w laboratorium oraz spełniać wymagania metrologiczne,
- zgodność z normami i przepisami – sprzęt powinien spełniać wymagania norm branżowych, przepisów prawnych oraz wymogów określonych w normach [1,8],
- spójność pomiarowa – urządzenie powinno umożliwiać odniesienie wyników do uznanych wzorców metrologicznych (np. poprzez możliwość wzorcowania),
- jakość i niezawodność – wybór renomowanego producenta oraz analiza opinii użytkowników mogą pomóc w uniknięciu problemów z awaryjnością,
- dostępność serwisu i wsparcia technicznego – laboratorium powinno mieć możliwość serwisowania i wsparcia technicznego od producenta lub autoryzowanego dostawcy,
- koszty eksploatacji – oprócz ceny zakupu należy wziąć pod uwagę koszty związane z eksploatacją, konserwacją, regularnym wzorcowaniem oraz ewentualnymi naprawami.

Przed wprowadzeniem nowego sprzętu pomiarowego do rutynowego użytku należy przeprowadzić proces kwalifikacji i walidacji, który potwierdzi, że urządzenie spełnia wymagania laboratorium. Składa się on z kilku etapów:

- kwalifikacja instalacyjna – sprawdzenie, czy urządzenie zostało dostarczone zgodnie ze specyfikacją i potwierdzenie dostępności wymaganych dokumentów (np. instrukcji obsługi, świadectwa wzorcowania),
- kwalifikacja operacyjna i eksploatacyjna – testowanie działania urządzenia w różnych warunkach, aby upewnić się, że spełnia założone wymagania oraz czy urządzenie działa prawidłowo w warunkach rzeczywistego użytkowania

poprzez wykonanie pod nadzorem serii testów zgodnych z procedurami laboratoryjnymi.

Jeśli do pomiarów wykorzystywane jest nowe urządzenie, należy przeprowadzić walidację metody badawczej. Po zakończeniu procesu walidacji i kwalifikacji laboratorium powinno przeprowadzić formalne dopuszczenie urządzenia do użytku, które obejmuje:

- dokumentację odbioru sprzętu – sporządzenie raportu z kwalifikacji i walidacji,
- oznakowanie sprzętu i wprowadzenie do systemu ewidencji,
- przeszkolenie personelu w zakresie obsługi i konserwacji urządzenia,
- opracowanie harmonogramu nadzoru nad wyposażeniem – ustalenie czasookresów przeglądów, sprawdzeń pośrednich i wzorcowania.

W laboratorium akredytowanym, w celu zapewnienia spójności pomiarowej i spełnienia wymagań PCA (pkt. 6.4.6 i 6.5 normy [1]), każde urządzenie pomiarowe mające wpływ na wynik badania musi posiadać świadectwo wzorcowania. Jest to dokument, który zawiera informacje o zakresie pomiarowym analizowanego wyposażenia, metodzie wzorcowania oraz podaje datę wzorcowania, wyniki wzorcowania, błąd pomiaru oraz niepewność pomiaru. Parametry te są wykorzystywane do wyznaczania niepewności pomiaru badanej wielkości z wykorzystaniem tego urządzenia.

Sposób wyznaczania odstępów czasu między wzorcowaniami przyrządów pomiarowych nie jest ściśle określony. Zgodnie z założeniem przewodnika ILAC-G24:2022 [9], to laboratorium jest odpowiedzialne za częstotliwość wzorcowania, odpowiednio do indywidualnych potrzeb i oceny ryzyka. Wynika z tego, że nie ma obowiązku stosowania się do zaleceń dokumentu [9], ale jest konieczność ustalenia przez laboratorium czasookresów między wzorcowaniami. Częstotliwość wzorcowania zależy od rodzaju urządzenia pomiarowego, warunków pracy czy wymagań użytkownika. Podstawowym założeniem wyznaczonego odstępu, jest utrzymanie zaufania do statusu wzorcowania, co oznacza, że urządzenie pozostaje w tym czasie w wymaganych kryteriach, np. precyzji wskazania. Czasookresy powinny być ustalane przez kompetentną osobę i ściśle określone w harmonogramie nadzoru nad wyposażeniem.

Dobłą praktyką są też regularne, w większości przypadków częstsze niż raz do roku, sprawdzenia pośrednie, aby monitorować i wykrywać ewentualne nieprawidłowości (pkt. 6.4.10 normy [1]). Zachowywane informacje związane z wykonanymi wzorcowaniami i sprawdzeniami to wartościowe dane, pozwalające na podjęcie decyzji o utrzymaniu lub zmianie czasookresów wzorcowania. Laboratorium powinno prowadzić również rejestr konserwacji i napraw oraz dokumentację działań korygujących w przypadku wykrycia błędów pomiarowych (pkt. 6.4.13).

Laboratorium powinno analizować potencjalne zagrożenia związane z niesprawnym sprzętem a użytkownicy

wyposażenia powinni być odpowiednio przeszkoleni w zakresie obsługi oraz zgłaszania usterek sprzętu pomiarowego mającego wpływ na wyniki badań. Zgodnie z normą [1] w laboratorium akredytowanym ważną rolę odgrywa ciągłe monitorowanie stanu technicznego wyposażenia oraz zarządzanie ryzykiem związanym z jego użytkowaniem. Dokumenty mogą być przechowywane w formie papierowej lub elektronicznej, ale muszą być zabezpieczone przed utratą danych. Aby zapewnić prawidłowe funkcjonowanie sprzętu pomiarowego, laboratorium powinno stosować następujące metody monitorowania:

- regularne przeglądy techniczne zgodne z harmonogramem konserwacji i dokumentacją techniczną urządzenia,
- monitorowanie odchyleń w wynikach pomiarów,
- rejestry użytkowania sprzętu – każdorazowe odnotowanie użycia urządzenia pozwala śledzić jego historię eksploatacyjną,
- audyt wewnętrzny wyposażenia – okresowa weryfikacja dokumentacji sprzętu.

Aby zarządzać ryzykiem, laboratorium powinno stosować plany awaryjne na wypadek awarii sprzętu, zapewnić odpowiednie szkolenia dla personelu i prowadzić dokładną dokumentację wszelkich niezgodności i ich przyczyn. Dokumentacja powinna być aktualna i dostępna dla upoważnionego personelu. Każda zmiana w dokumentach powinna być rejestrowana. Należy prowadzić następujące dokumenty związane ze sprzętem:

- wykaz wyposażenia – zawiera listę wszystkich urządzeń wraz z podstawowymi danymi (model, numer seryjny, producent, data i miejsce wprowadzenia do użytkowania),
 - instrukcje obsługi i procedury użytkowania,
 - karty konserwacji i przeglądów,
 - rejestry wzorcowania,
 - raporty z awarii i napraw – dokumentacja usterek, ich przyczyn oraz przeprowadzonych działań naprawczych,
 - harmonogram nadzoru metrologicznego – określający terminy przyszłych działań związanych z utrzymaniem sprzętu.
- Zgodność z polityką jakości wymaga, aby dokumentacja była zgodna z wymaganiami akredytacyjnymi i wewnętrznymi procedurami laboratorium. Należy przeprowadzać regularne przeglądy dokumentacji, które pomagają identyfikować niezgodności i zapobiegać błędom.

Efektywne zarządzanie wyposażeniem laboratorium wymaga odpowiednio przeszkolonego personelu, który zna procedury obsługi, konserwacji oraz kontroli sprzętu. Każdy pracownik laboratorium powinien być przeszkolony w zakresie podstawowej obsługi sprzętu, zasad kalibracji i wzorcowania, identyfikacji usterek i błędów pomiarowych, sposobu ich zgłaszania, prowadzenia dokumentacji związanej ze sprzętem oraz zasad BHP. Wybór metody szkolenia oraz ich organizacja należy do kierownictwa laboratorium, jednakże potrzeby szkoleniowe powinien zgłaszać również personel laboratorium jeżeli zauważy takie potrzeby. Możemy wyróżnić szkolenia wewnętrzne, zewnętrzne, kursy e-learningowe, webinaria

oraz instrukcje techniczne i procedury badawcze jako materiały łatwo dostępne dla personelu wspierające codzienną pracę. Dokumentowanie odbytych szkoleń jest istotnym elementem systemu zarządzania jakością.

3. Przykład wdrożenia systemu nadzoru w laboratorium akredytowanym AB1903

Aby zobrazować zalety wprowadzenia systemu zarządzania wyposażeniem laboratoryjnym, przedstawiono przykład wdrożenia takiego systemu w laboratorium, które uzyskało akredytację w 2024 roku. Zakres akredytacji laboratorium przedstawia rysunek 1.

Rys. 1. Zakres akredytacji laboratorium badawczego AB1903

	
AB 1903	
Nazwa i adres / Name and address: POLITECHNIKA POZNAŃSKA Pl. Marii Skłodowej-Curie 5 60-965 Poznań INSTYTUT ANALIZY KONSTRUKCJI LABORATORIUM ANALIZY KONSTRUKCJI I MATERIAŁÓW ul. Piotrowo 5 60-965 Poznań	
Kod identyfikacyjny / Identification code: JIS, IIR NIS, IIR	Zakres i przedmiot badań / Field of testing and item: Badania mechaniczne wyrobów i materiałów budowlanych, wyrobów i materiałów konstrukcyjnych / Mechanical tests of building products and materials, construction products and materials Badania właściwości fizycznych wyrobów i materiałów budowlanych, wyrobów i materiałów konstrukcyjnych / Tests of physical properties of building products and materials, construction products and materials

Wersja strony/Page version: A
Kod identyfikacyjny zgodnie z załącznikiem do dokumentu CAD-07 dostępny na stronie internetowej: www.pca.gov.pl / The identification code according to the Annex to document CAD-07, available at PCA website: www.pca.gov.pl

- Profil laboratorium: badania mechaniczne płyt warstwowych.
- Główne wyposażenie, które podlega nadzorowi metrologicznemu (obecnie 35 pozycji): maszyny wytrzymałościowe (300 i 10 kN), czujniki siły, przemieszczenia, czujniki zegarowe, wagi o różnych zakresach pomiaru, suwmiarki, powłokościomierz, grubościomierz, dalmierz, miara wstęgowa, termohigrometry, komora termostatyczna.
- Problemy przed wdrożeniem systemu: brak wykazu wyposażenia, brak spójnej i kompletnej dokumentacji konserwacji i wzorcowania urządzeń, brak spójności pomiarowej, brak regularnych szkoleń pracowników i kontroli nad powtarzalnością i odtwarzalnością wyników badań, brak procedur związanych ze zgłaszaniem awarii i zaobserwowanych przez personel nieprawidłowości.
- Etapy wdrożenia systemu nadzoru:
 - Krok 1. Opracowanie procedur nadzoru nad wyposażeniem: stworzenie wykazu wyposażenia, harmonogramu nadzoru metrologicznego uwzględniającego częstotliwość badań oraz obciążenie sprzętu, stworzenie karty dla każdego wyposażenia znajdującego się w wykazie oraz jego unikalne oznakowanie poprzez etykietę, którą obrazuje rysunek 2;

Rys. 2. Etykieta identyfikacyjna

LAKiM	Poz. 1.2
Czujnik cyfrowy WA/100 264610161	
Data wzorcowania:	19.07.2023
Kolejne wzorcowanie:	18.07.2025

- Krok 2: Digitalizacja systemu zarządzania wyposażeniem: archiwizacja elektroniczna „w chmurze” wykazu wyposażenia, harmonogramu nadzoru metrologicznego, kart wyposażenia, świadectw wzorcowania;
- Krok 3: Standaryzacja procedur obsługi sprzętu: opracowanie instrukcji technicznych i procedur badawczych w celu ujednolicenia metodologii badań – zapewnienie powtarzalności i odtwarzalności badań;

- Krok 4: Szkolenia personelu: regularne szkolenia z procedur badawczych, z systemu zarządzania oraz obsługi urządzeń pomiarowych;
- Krok 5: Audyt wewnętrzny i optymalizacja systemu – kontrola zgodności dokumentacji z wymaganiami ISO/IEC 17025 [1], ocena efektywności nowego systemu, wdrożenie działań korygujących w przypadku niezgodności.
- Efekty wdrożenia systemu nadzoru:
 - poprawienie precyzji, powtarzalności i odtwarzalności wyników badań,
 - zmniejszenie ryzyka przeoczenia działań konserwatorskich i terminów wzorcowań w związku z digitalizacją zarządzania dokumentacją i harmonogramami oraz świadomym użytkowaniem wyposażenia przez personel laboratorium,
 - zapewnienie wiarygodności wyników badań poprzez regularne sprawdzenia pośrednie i wzorcowania wyposażenia,
 - podniesienie kwalifikacji personelu w związku z regularnymi szkoleniami w zakresie obsługi urządzeń i prowadzenia badań zgodnie z instrukcjami technicznymi i procedurami badawczymi.

4. Podsumowanie

Nadzór nad wyposażeniem laboratorium to istotny element zarządzania jakością w akredytowanych jednostkach

badawczych. Skuteczne procedury konserwacji, wzorcowań i monitorowania sprzętu pomiarowego zapewniają transparentność, rzetelność i powtarzalność wyników badań. Jest to proces wieloetapowy, obejmujący monitorowanie stanu sprzętu pomiarowego, zarządzanie dokumentacją, analizę ryzyka oraz ustawiczne szkolenia personelu. Jednakże stosowanie dobrych praktyk i zgodność z normami akredytacyjnymi pozwala na utrzymanie wysokiej jakości badań.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02: Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących
- [2] Roj J., Metrologia naukowa normatywna i przemysłowa. Wybrane zagadnienia, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2020
- [3] <https://www.gum.gov.pl/>, 22.03.2025
- [4] Ustawa z dnia 11.05.2021 Prawo o miarach
- [5] Jakubiec W., Malinowski J., Metrologia wielkości geometrycznych, wyd. 5, WNT, Warszawa, 2018
- [6] <https://www.pca.gov.pl/akredytacja-krok-po-kroku>, 22.03.2025
- [7] https://www.pca.gov.pl/storage/file/core_files/2024/1/5/42ad7e-a1f83882cbb8003b2613eaddbb/da-06_8_wcac.pdf, 22.03.2025
- [8] PN-EN ISO 10012:2004-02: Systemy zarządzania pomiarami. Wymagania dotyczące procesów pomiarowych i wyposażenia pomiarowego
- [9] <https://www.pca.gov.pl/o-pca/dokumenty/ilac>, 22.03.2025
- [10] PN-EN 14509:2013-12: Samonośne izolacyjno-konstrukcyjne płyty warstwowe z dwustronną okładziną metalową. Wyroby fabryczne. Specyfikacje
- [11] PN-EN ISO 6892-1:2020-05: Próba rozciągania. Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej



POLITECHNIKA POZNAŃSKA



INSTYTUT
ANALIZY KONSTRUKCJI

OFERTA INSTYTUTU ANALIZY KONSTRUKCJI POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ

BADANIA

Płyt warstwowych (**akredytacja AB1903**)
 Materiałowe (beton, stal, drewno, elementy murowe)
 Elementów konstrukcyjnych
 Wpływu wysokiej temperatury na materiały budowlane
 Pomiary drgań konstrukcji
 Zachowania materiałów podczas dynamicznego ściskania
 Materiałów podczas przebicia pociskiem

OPRACOWANIA NAUKOWO-TECHNICZNE

Konstrukcje budowlane w stanach awaryjnych
 Konstrukcje i elementy budowlane w warunkach pożaru
 Analizy popożarowe

DORADZTWO

Konstrukcje z uwagi na warunki pożarowe
 Konstrukcje ochronne dla zagrożeń ekstremalnych
 Planowanie badań ogniowych

INNE

Pomiary przemieszczeń i odkształceń
 Skanowanie obiektów i elementów konstrukcyjnych
 Tworzenie map GPS terenu

KONTAKT

e-mail: office_iak@put.poznan.pl
 tel. +48 61 665 2985

STRONA INTERNETOWA



Ocena wpływu wymiarów próbek na wytrzymałość betonu samozagęszczalnego: badania polowe i laboratoryjne w odniesieniu do PN-EN 12504-1

Assessment of the influence of sample dimensions on the strength of self-compacting concrete: field and laboratory tests in reference to PN-EN 12504-1

mgr inż. Łukasz Józefczyk (ORCID: 0009-0008-6105-8560), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska & Pekabex BET S.A., dr hab. inż. Zbigniew Pozorski, prof. PP (ORCID: 0000-0003-0897-6297), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska, mgr inż. Tomasz Adamczuk, Dział Badań i Rozwoju, Pekabex BET S.A.

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0971

Streszczenie: W pracy przedstawione zostały rezultaty badań wytrzymałości na ściskanie próbek rdzeniowych pobieranych z przygotowanego elementu konstrukcyjnego według PN-EN 12504-1, w odniesieniu do rezultatów uzyskiwanych na referencyjnych próbkach formowanych. Do produkcji elementu i wykonania próbek zaprojektowano mieszankę betonu samozagęszczalnego na bazie kruszywa żwirowego. W pracy poruszono kwestie wpływu proporcji wymiarów próbek na wytrzymałość przy ściskaniu. Wyniki badań wykazały wysoką powtarzalność niezależnie od wartości współczynnika proporcji h/d (wysokość/średnica); próbki o współczynniku bliskim 2:1 oraz 1:1 wykazywały zbliżoną wytrzymałość. Dodatkowo dokonano oceny wpływu wykończenia powierzchni próbek na wartość liczby odbicia uzyskiwaną w badaniach sklerometrycznych.

Słowa kluczowe: badania betonu, wytrzymałość na ściskanie, odwierty rdzeniowe, badania sklerometryczne.

Abstract: The paper presents the results of compressive strength tests on core samples drilled from a prepared structural element according to PN-EN 12504-1, in relation to the results obtained on reference molded samples. A self-compacting concrete mix based on gravel aggregate was designed for the production of the element and sample preparation. The study addresses the impact of the dimensional proportions on the compressive strength. The test results demonstrated high repeatability regardless of the h/d (height/diameter) aspect ratio; samples with ratios close to 2:1 and 1:1 demonstrated similar strength. Additionally, the influence of the sample surface finish on the rebound number value obtained in rebound hammer tests was assessed.

Keywords: concrete testing, compressive strength, core drilling, rebound hammer tests.

1. Wprowadzenie

Ocena wytrzymałości betonu w konstrukcji prowadzona jest najczęściej w przypadku wątpliwości co do jego finalnej wytrzymałości. Wątpliwości te mogą wynikać zarówno z zaistniałych błędów produkcyjnych (najczęściej spowodowanych czynnikami ludzkimi), niewłaściwego sposobu układania oraz zagęszczenia lub niewłaściwej pielęgnacji. Ocenę wytrzymałości betonu w konstrukcji przeprowadza się zgodnie z normą PN-EN 13791 [1]. W przypadku elementów prefabrykowanych ocena wytrzymałości betonu może zostać wykonana według Załącznika B normy PN-EN 13369 [2]. Niezależnie od przyjętej metody oceny wytrzymałości pobieranie, przechowywanie, przygotowanie oraz badanie próbek powinno być realizowane zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 12504-1 [3]. Procedura oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji została opisana w wielu publikacjach, np. [4–6].

W ramach prowadzonych prac związanych z oceną biegłości PEKABEX, mających na celu potwierdzenie wiarygodności wyników oraz kompetencji technicznych w zakresie pobierania, przygotowania i badania betonowych próbek rdzeniowych pod kątem ich wytrzymałości na ściskanie, postanowiono rozszerzyć podstawowy zakres badań. Oprócz badań wytrzymałości rdzeni pobranych z konstrukcji przeprowadzono także ocenę wytrzymałości próbek formowanych oraz dokonano porównania wyników. Zakres badań został zróżnicowany w celu oceny wpływu wybranych parametrów na wytrzymałość. Próbkami różniły się: sposobem przygotowania, proporcjami wymiarów walców oraz kształtem. Ponadto przeprowadzone zostały badania nieniszczące elementu referencyjnego przy użyciu sklerometru (młotka Schmidta) zgodnie z PN-EN 12504-2 [7]. Celem badań było określenie relacji wytrzymałości pomiędzy próbkami rdzeniowymi o różnych proporcjach oraz o różnym sposobie formowania (próbki rdzeniowe pobierane z elementu, próbki formowane).

2. Mieszanka betonowa i element badawczy

W celu przeprowadzenia badań biegłości wyprodukowano element płytowy o wymiarach 2,00x7,00x0,18 m zbrojony prętami Ø12 w rozstawie 200 mm. Mieszankę zaprojektowano i wyprodukowano w technologii betonu samozagęszczalnego (SCC), o konsystencji SF2, i składzie recepturowym jak w tabeli 1. Przed wykonaniem elementów przeprowadzono badania mieszanki, z których wyznaczono podstawowe parametry: konsystencja SF2 (rozplływ stożka 720 mm), zawartość powietrza 3,10%, temperatura mieszanki 19,5°C. Wyprodukowany element został zatarty po około 2 h od produkcji przy użyciu obrotowej zacieraczki mechanicznej. Po około 24 godzinach element został rozformowany i przetransportowany do hali magazynowej, gdzie był przechowywany w temperaturze 15–10°C do momentu wykonania odwiertów.

Tabela 1. Receptura

Lp.	Rodzaj składnika	Zawartość [kg/m³]
1	Kruszywo – piasek 0/2, żwir 2/8, żwir 8/16	1672
2	Cement – CEM I 52,5R Heiderlberg Materials	370
3	Mączka wapienna – Lhoist Bukowa	140
4	Woda	166
5	Sika ViscoCrete-98 RS	3,7

3. Pobieranie i przygotowanie próbek do badań wytrzymałościowych

Zgodnie z zaplanowanym programem badań przebadano 23 próbki na ściskanie. Zestawienie próbek przedstawiono w tabeli 2. Zakres zaplanowanych badań opisano poniżej.

- Próba ściskania – wyznaczenie wytrzymałości konstrukcyjnej bezpośredniej – badanie na dwóch typach próbek rdzeniowych przygotowywanych zgodnie z [3]. Pierwszy typ próbek rdzeniowych (3 szt.) miał średnicę 100 mm i proporcję wymiarów 1:1 uzyskaną poprzez odcięcie skrajnych 40 mm obszarów od góry i spodu rdzenia (rys. 1). Inne niezależne laboratoria (12) uczestniczące w programie pobrały kolejne 36 próbek tego samego typu (każde laboratorium po 3 próbki). Drugi typ próbek rdzeniowych (3 szt.) miał średnicę 100 mm i wysokość 180 mm (nie odcinano warstw powierzchniowych).
- Próba ściskania – wyznaczenie wytrzymałości konstrukcyjnej pośredniej – badanie na dwóch typach formowanych próbek cylindrycznych o wymiarach odpowiadających rdzeniom pobranym z konstrukcji.
- Próba ściskania – wyznaczenie wytrzymałości konstrukcyjnej pośredniej – badanie na trzech rodzajach próbek formowanych, stanowiących uzupełnienie pozostałych wyników. Wykonano próbki sześciennie o wymiarach boków 100 mm oraz próbki walcowe Ø150x300 mm.
- Badanie sklerometryczne – analiza zależności liczby odbicia od rodzaju powierzchni. Badanie przeprowadzono zarówno na powierzchni szalunkowej, tj. od strony stalowej formy

Tabela 2. Zestawienie próbek

Typ badania	Opis próbki	Liczba próbek
Próba ściskania (rdzenie wiercone)	Rdzeń wiercony Ø100x100 mm – odcięte fragmenty skrajne (rys.1)	3 (+36)
	Rdzeń wiercony Ø100x180 mm	3
Próba ściskania (odpowiedniki rdzeni)	Cylinder formowany Ø100x100 mm	5
	Cylinder formowany Ø100x180 mm	4
Ściskanie (formowane)	Cylinder formowany Ø150x300 mm	3
	Kostka formowana 100x100x100 mm	5

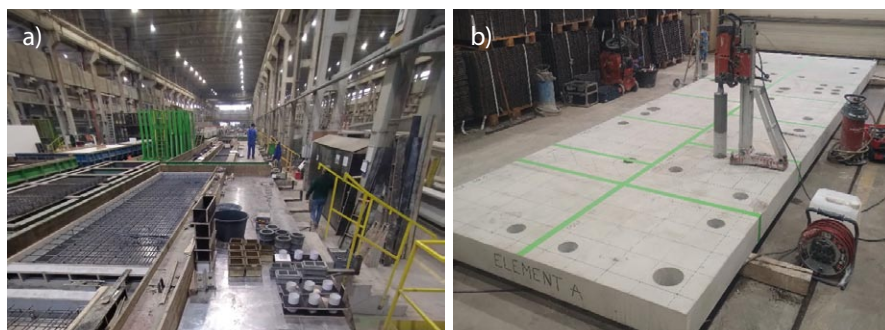


Rys. 1. Rdzeń wiercony Ø100x100 mm: a) odcięte fragmenty skrajne oraz powiększenie obszaru przejściowego powierzchni zacieranej mechanicznie, b) próbka po nałożeniu mieszaniny siarkowej

dna, jak i na powierzchni zacieranej mechanicznie. W ramach prowadzonych badań pobierano próbki z wyznaczonych pól pomiędzy prętami zbrojenia głównego. Zarówno element płytowy, jak i próbki formowane (rys. 2a) zostały wykonane 14.10.2024 roku. Odwierty próbek przeznaczonych do oceny wytrzymałości bezpośredniej przeprowadzono w 31 dniu dojrzewania, natomiast badanie próbek odbyło się w 39 dniu dojrzewania. Probki pobrano przy użyciu wiertnicy diamentowej (rys. 2b). Następnie próbki opisano i dokonano pomiarów w zakresie:

- średnicy rdzenia – pomiar wykonywany pod kątem prostym w połowie oraz jednej czwartej wysokości rdzenia; średnicę wyznaczono jako wartość średnią z sześciu pomiarów, z dokładnością do 1 mm,
- długości rdzenia – pomiar wykonywany w trzech położeniach co ok. 120°; długość rdzenia oznacza się jako wartość średnią z trzech pomiarów, z dokładnością do 1 mm,
- obecności zbrojenia – ze względu na lokalizację pobieranych próbek, w rdzeniach nie występowało zbrojenie,
- prostopadłości powierzchni – pomiar wykonywany zgodnie z PN-EN 12390-1 [8], w trzech położeniach co ok. 120°; jako wynik przyjmowano grubość najmniejszego nieprzechodzącego paska szczelinomierza,
- płaskości powierzchni – pomiar wykonywany zgodnie z [8]; jako wynik przyjmowano grubość najmniejszego nieprzechodzącego paska szczelinomierza.

Około 66 godzin przed badaniem próbki umieszczono w wodzie w temperaturze 20°C i przechowywano je przez wymagany czas 48 godzin. Następnie próbki wyjęto, pozostawiono w warunkach laboratoryjnych na około 16 godzin, po czym nałożono



Rys. 2. Element płytowy: a) przed betonowaniem wraz z przygotowanymi formami, b) w trakcie wykonywania odwiertów

warstwę wyrównawczą w postaci mieszanki siarkowej. Po utwardzeniu mieszanki siarkowej próbki poddano badaniu. Wyniki dla trzech próbek przedstawiono w tabeli 3.

4. Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie

Wyznaczone wytrzymałości próbek na ściskanie przedstawiono w tabeli 4. Próbkę badaną były w zakładowym laboratorium Pekabex. W celu porównania wartości zbadaną wytrzymałość próbek przeliczono na wytrzymałość walców normowych o wymiarach $\varnothing 150 \times 300$ mm zgodnie z (1) według [2]:

$$f^o = f^i \cdot \alpha_m = f^i \cdot \left(0.215 \ln \left(\frac{h}{d} \right) + 0.85 \right), \quad (1)$$

$$0.7 \leq h/d \leq 2.0,$$

f^o – wytrzymałość walcowa normowa dla stosunku 2:1,

f^i – wytrzymałość na próbkach walcowych o innej proporcji wymiarów h/d ,

α_m – współczynnik z uwagi na kształt próbki walcowej.

Wyniki uzyskane dla próbek rdzeniowych nr 1.1-1.3 (z odciętych powierzchniami) charakteryzują się większą powtarzalnością i ponad dwukrotnie mniejszym współczynnikiem zmienności niż w przypadku próbek o pełnej wysokości (2.1-2.3). Pomimo większej objętości i proporcji 2:1, wyniki próbek serii 2 po przeliczeniu charakteryzowały się większą wytrzymałością od próbek serii 1. Warto dodać, że wiarygodność wyników próbek serii 1 została uznana za bardzo wysoką z uwagi na fakt, że średnia wartość wyników uzyskanych przez 12 niezależnych uczestników na 36 odwiertach $\varnothing 100 \times 100$ mm wynosiła 60,9 MPa, co różniło się zaledwie o 0,2 MPa od wartości uzyskanej w badaniach własnych. W przypadku próbek walcowych formowanych serii

Tabela 3. Zestawienie wymaganych pomiarów rdzeni według [3]

Numer próbki	[-]	1.1	1.2	1.3
Zmierzona średnica d_m	[mm]	100	100	100
Zmierzona długość (przed siarkowaniem/po siarkowaniu)	[mm]	102/106	103/107	101/106
Stosunek h/d (po siarkowaniu) Wartość graniczna wg [3]: 1,10	[-]	1,06	1,07	1,06
Płaskość Wartość graniczna wg [8]: 0,0006 d_m	[mm]	0,05 < 0,06	0,05 < 0,06	0,05 < 0,06
Prostopadłość Wartość graniczna wg [8]: 0,007 d_m	[mm]	0,50 < 0,06	0,50 < 0,06	0,50 < 0,06

3 i 4, podobnie jak w przypadku odwiertów rdzeniowych, próbki o współczynniku proporcji zbliżonym do 2:1, po przeliczeniu charakteryzowały się większą wytrzymałością na ściskanie. Próbkę walcowane formowane serii 3 i 4 charakteryzowały się większą wytrzymałością na ściskanie (około 20%) w porównaniu do próbek serii 1 i 2. Próbkę serii 6 nie różniły się wytrzymałością bezpośrednią (przed przeliczeniem) od próbek serii 3 i 4. Wszystkie próbki formowane,

w tym próbki kostkowe serii 5 uzyskały praktycznie identyczne wartości wytrzymałości bezpośredniej.

5. Oznaczenie liczby odbicia

Badania sklerometryczne wykonano przy użyciu młotka Silver Shmidt OS8200N na elemencie W_003, z którego uprzednio pobierano próbki do badań. Badania prowadzono w pozycji poziomej młotka, tj. przy ściance ustawionej w pozycji pionowej. Celem przeprowadzonego badania było porównanie liczby odbicia dla różnej formy wykończenia powierzchni. Porównano wartości wyników uzyskane na powierzchni szalunkowej z wynikami dla powierzchni zacieranej mechanicznie. Uderzenia wykonywano w liczbie 13–15 dla każdego punktu pomiarowego, w odstępach 25–35 mm pomiędzy kolejnymi uderzeniami. Przed badaniem powierzchnie przeszlifowano kamieniem korundowym. Całą procedurę powtórzono w czterech polach badawczych po stronie szalunkowej „A” oraz czterech polach po stronie przeciwnej, tj. zacieranej „B”. W celach poglądowych, zgodnie z tablicą B.2 normy [1], określono klasę betonu. Komplet wyników przedstawiono w tabeli 5. Wyniki uzyskane dla powierzchni „A” i „B” są wyraźnie zróżnicowane. Rezultaty te wskazują na występowanie potencjalnej zależności pomiędzy sposobem wykończenia powierzchni elementu a wartością liczby odbicia.

6. Podsumowanie

Uzyskane wyniki wytrzymałości na ściskanie mogą początkowo budzić pewne wątpliwości. Zaobserwowany brak różnicy w wytrzymałości próbek walcowych o proporcji 2:1 w stosunku do 1:1 nie jest spodziewany w przypadku badania betonów.

Jak zauważa jednak A. M. Neville [9], analizując wytrzymałość betonu na ściskanie: „Wskazana jest jednak ostrość przy interpretowaniu uzyskanego wyniku jako prawdziwej miary wytrzymałości”. Zaprojektowana mieszanka betonowa charakteryzowała się wysoką wytrzymałością na ściskanie, wysoką jednorodnością, kruszywem żwirowym o uziarnieniu do 16 mm (odporność na rozdrabnianie LA35), dużą zawartością frakcji piaskowej

Tabela 4. Zestawienie wyników badań na ściskanie próbek wierconych i formowanych wraz z przeliczeniem na wytrzymałość normową

Nr	Wytrzymałość – Badanie (wynik bezpośredni)					Kostka (przeliczenie) 150×150×150 mm				Walec (przeliczenie) Ø150×300 mm			
	Typ	F_{ci}	f_{ci}	f_{cm}	s	α_m	$f_{c,cubi}$	$f_{c,cub}$	s_{cub}	α_m	$f_{c,cubi}$	$f_{c,cub}$	s_{cub}
		[kN]	[MPa]			[-]	[MPa]			[-]	[MPa]		
1.	1	494,7	63,0	61,1	1,7	1,00	63,0	61,1	1,7	0,82	51,7	50,1	1,4
	2	470,8	60,0				60,0				49,2		
	3	472,4	60,2				60,2				49,4		
2.	1	481,7	61,3	57,4	3,9	1,22	74,8	70,0	4,8	0,98	60,1	56,2	3,8
	2	420,4	53,5				65,2				52,4		
	3	450,4	57,3				69,9				56,2		
3.	1	545,2	69,4	69,9	2,4	1,00	69,4	69,9	2,4	0,82	56,9	57,3	2,0
	2	527,9	67,2				67,2				55,1		
	3	578,5	73,7				73,7				60,4		
	4	550,9	70,1				70,1				57,5		
	5	541,7	69,0				69,0				56,6		
4.	1	550,4	70,1	69,6	1,2	1,22	85,5	84,9	1,5	0,98	68,7	68,2	1,2
	2	532,4	67,8				82,7				66,4		
	3	549,4	70,0				85,4				68,6		
	4	554,5	70,6				86,1				69,2		
5.	1	694,7	69,5	70,3	3,0	1,00	69,5	70,3	3,0	0,82	57,0	57,6	2,5
	2	749,4	74,9				74,9				61,4		
	3	703,8	70,4				70,4				57,7		
	4	665,3	66,5				66,5				54,5		
	5	701,5	70,2				70,2				57,6		
6.	1	1185	67,0	69,2	1,9	1,22	81,8	84,4	2,3	1,00	67,0	69,2	1,9
	2	1243	70,3				85,7				70,3		
	3	1234	70,2				85,6				70,2		

Tabela 5. Zestawienie wyników z badań sklerometrycznych z podziałem na powierzchnie

Oznaczenie powierzchni	Punkt pom.	Liczba uderzeń	Liczba odbicia				Poglądowa klasa betonu wg B.2 [1]	
			Min.	Max.	Mediana	Średnia mediana dla powierzchni	Punkt pom.	Powierzchnia
„A” Szalunkowa	A1	13	53	61	59	61,5	C30/37	C35/45
	A2	13	56	67	63		C35/45	
	A3	13	59	65	61		C35/45	
	A4	14	59	69	63		C40/50	
„B” Zacierana	B1	14	52	61	56,5	55,1	C30/37	C25/30
	B2	14	53	65	57,5		C30/37	
	B3	14	49	59	53		C25/30	
	B4	14	48	60	53,5		C25/30	

oraz cementem wysokiej jakości. Czynniki te, przedstawiane w [9] jako istotne, w połączeniu z wysoką wytrzymałością betonu na rozciąganie osiowe ($> 4,5$ MPa), mogły spowodować, że efekt wynikający z ograniczenia odkształceń przy płytach dociskowych, efekt ściany oraz efekt skali wynikający z objętości nie generowały istotnej dysproporcji pomiędzy uzyskanymi wytrzymałościami. Dla próbek wykonanych z betonu o stosunkowo wysokiej wytrzymałości, wyniki wytrzymałości próbek walcowych o proporcjach 2:1 oraz 1:1 mogą być sobie nawet równe, co potwierdza prezentowany w pracy [9] wykres (rys. 12.4). Wartość wyników liczby odbicia wyraźnie wskazuje na dysproporcję pomiędzy wartościami uzyskiwanymi na powierzchni zacieranej a wartościami na powierzchni szalunkowej. Zjawisko to może wynikać z różnej wytrzymałości betonu przy górnej i dolnej powierzchni płyty. Grawitacyjne zagęszczenie mieszanki skutkuje większą koncentracją ziaren grubych w dolnej strefie w porównaniu do strefy przypowierzchniowej, która ze względu na większy udział zaczynu może być minimalnie słabsza

od pozostałych stref elementu. Źródła różnicy upatruje się także w sposobie wykończenia powierzchni betonu. W procesie produkcji z wykorzystaniem betonu SCC powierzchnia zostaje zatar-ta mechanicznie po około 2 godzinach od momentu wykonania elementu, tj. w momencie kiedy mieszanka jest „wstępnie” związana. Może to prowadzić do zmiany jej twardości, co objawia się inną wartością liczby odbicia. W związku z powyższym zasadne wydaje się podjęcie dalszych badań dotyczących określenia zależności pomiędzy liczbą odbicia i sposobem wykończenia powierzchni próbek.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 13791:2019-12: Badania betonu w konstrukcjach – Część 1: Próbk rdzeniowe – Pobieranie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie
- [2] PN-EN 13369:2024-5: Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu
- [3] PN-EN 12504-1:2019-08, Badania betonu w konstrukcjach – Część 1: Próbk rdzeniowe – Pobieranie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie
- [4] Karaś S., Miśkiewicz R., Ocena wytrzymałości betonu według normy PN-EN 13791, Drogownictwo, 2011
- [5] Karaś S., Nowacki T., Nowa norma do badań wytrzymałości na ściskanie betonu in situ, Drogownictwo, 2020
- [6] Bajorek G., Gruszczyński M., Ocena betonu wbudowanego w konstrukcję w przypadku wątpliwości co do jego jakości, BTA, 2020
- [7] PN-EN 12504-2:2021-12: Badania betonu w konstrukcjach – Część 2: Badanie nieniszczące – Oznaczanie liczby odbicia
- [8] PN-EN 12390-1:2021-12: Badania betonu – Część 1: Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek i form
- [9] Neville A. M., Właściwości betonu, Polski Cement, wydanie 4, 2000

Porównanie tradycyjnych i nowoczesnych metod inwentaryzacji na przykładzie holu budynku A2 Politechniki Poznańskiej

Comparison of traditional and modern inventory methods on the example of the A2 building lobby of the Poznan University of Technology

dr hab. inż. Anna Knitter-Piątkowska (ORCID: 0000-0002-8082-6966), inż. Maciej Urbaniak, inż. Jan Wilak, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0972

Streszczenie: W artykule przedstawiono studium przypadku porównania tradycyjnych i nowoczesnych metod inwentaryzacji. Do tego celu wykorzystano pomiary wykonane w budynku A2 Politechniki Poznańskiej. W pracy zaprezentowano teoretyczne podstawy inwentaryzacji, rys historyczny budynku, opis porównywanych metod oraz stosowane urządzenia. Przedstawiono przykład szkicu roboczego oraz problemów, które napotkano podczas obmiarów w metodzie tradycyjnej. Zawarto również skany 3D oraz zdjęcia 360 stopni. Dokonano porównania metody tradycyjnej i nowoczesnej pod względem dokładności, czasochłonności, kosztów, złożoności procedur oraz zastosowania w trudnych warunkach. Podsumowanie porównania oraz perspektywy rozwoju zawarto we wnioskach. Skupiono się na możliwościach udoskonalenia dokładności pomiarów, integracji z technologią BIM, czy zaimplementowania sztucznej inteligencji w inwentaryzacji. Artykuł powstał na bazie pracy inżynierskiej, obronionej na Wydziale Inżynierii Lądowej i Transportu Politechniki Poznańskiej w lutym 2025 roku.

Słowa kluczowe: inwentaryzacja, metoda tradycyjna, metoda nowoczesna, skaning laserowy.

Abstract: This paper presents a case study comparing traditional and modern inventory methods. Measurements taken in the A2 building of the Poznan University of Technology were used for this purpose. The paper presents the theoretical basis of the inventory, a historical outline of the building, a description of the methods compared and the equipment used. An example of a working sketch is presented, as well as the problems encountered during surveying in the traditional method. 3D scans and 360-degree photographs are also included. A comparison between the traditional method and the modern method in terms of accuracy, time-consumption, cost, complexity of procedures and use in difficult conditions was made. A summary of the comparison and prospects for development are included in the conclusions. The focus is on the possibilities to improve the accuracy of the measurements, integrate with BIM technology, or implement artificial intelligence in the inventory. The article is based on an engineering thesis defended at the Faculty of Civil Engineering and Transport of Poznan University of Technology in February 2025.

Keywords: inventory, traditional method, modern method, laser scanning.

1. Wprowadzenie

Inwentaryzacja to proces, w którym zbierane i analizowane są dane w określonym czasie. W budownictwie obejmuje on pomiary, dokumentowanie i analizowanie obiektów, całych budowli, bądź ich części. Może dotyczyć pomiarów geometrycznych, oceny stanu technicznego budynków oraz instalacji. Dzięki inwentaryzacji w prosty sposób można monitorować kondycję poszczególnych elementów konstrukcji. Procedury obmiaru w inwentaryzacji budowlanej można znaleźć w [1, 2].

W dzisiejszych czasach inwentaryzacje wykonywane są przy użyciu różnych metod. Dobierane są one w zależności od zakresu opracowania, wymaganej dokładności, możliwości finansowych i sprzętowych, a także od umiejętności operatora. Tradycyjne metody inwentaryzacji opierają się na ręcznym zbieraniu

i przetwarzaniu danych za pomocą pomiarów „z natury”. Kluczowa podczas inwentaryzacji wykonywanych w klasyczny sposób jest dokładność. Ważnym aspektem, którego należy unikać, są błędy wynikające z niestarannego wyznaczania punktów pomiarowych. W tym celu stosuje się tzw. „zapis sznurowy”, który polega na odczytywaniu pomiarów narastająco, zaczynając z jednej strony pomieszczenia, uwzględniając wszystkie punkty charakterystyczne, m.in. wnęki i otwory, do najbliższego prostopadłego elementu. Wszystkie pomiary powinny zostać wykonane dwukrotnie, aby zredukować do minimum możliwość pojawienia się błędów pomiarowych. Efektem wykonanych obmiarów są szkice robocze zawierające zwymiarowane elementy obiektu. Metody tradycyjne stosowane są od wielu lat i nadal znajdują zastosowanie. Pomimo znaczącego rozwoju technologii nie zostały one całkowicie wyparte [3].

Wraz z postępem technologicznym stale rozwijane są nowe metody prowadzenia pomiarów i pozyskiwania danych. Jedną z takich metod jest skanowanie laserowe 3D, który zdobywa uznanie w branży budowlanej. Jest to narzędzie o szerokim zakresie wykorzystania. Stosowane do prac przygotowawczych, takich jak zbieranie informacji np. o objętościach zalegających hałd ziemi na terenie budowy, jak również do inwentaryzacji prac budowlanych, a także do skanowania gotowego budynku w celu porównania stanu faktycznego z projektowanym, czy też do prowadzenia inwentaryzacji użytkowanego budynku mających na celu określenie jego stanu technicznego. Skanowanie laserowe polega na utworzeniu chmury punktów skanowanego obiektu [4, 5]. Każdy z poszczególnych punktów, które wchodzi w skład chmury, ma przypisane odpowiednie współrzędne położenia w przestrzeni xyz. Proces tworzenia pojedynczego punktu polega na wysłaniu przez urządzenie wiązki lasera odbijającej się od powierzchni, na którą została skierowana, a następnie wracającej do urządzenia. Korzystając z informacji o prędkości wiązki lasera, urządzenie jest w stanie odczytać, w jakiej odległości od niego znajduje się przeszkoda, którą napotyka wysłany sygnał. Podczas jednego skanu sekwencja ta zostaje wielokrotnie powtórzona, w wyniku czego powstaje zbiór punktów tworzący faktyczną reprezentację skanowanego obiektu. Jest to precyzyjna metoda pomiarowa, umożliwiająca uzyskanie bardzo dużej dokładności.

2. Rys historyczny budynku A2 Politechniki Poznańskiej

Budynek Wydziału Budownictwa Lądowego powstał w latach pięćdziesiątych XX w. (1953–1955 r.). Socrealistyczny gmach został zaprojektowany przy współpracy mgr. inż. arch. Stanisława Pogórskiego i inż. arch. Lecha Sternala. Cegła, z której wzniesiono obiekt, pochodziła z rozbiórki Fortu Rauch. Budynek składa się z trzech kondygnacji nadziemnych oraz piwnicy znajdującej się pod całą powierzchnią budynku. Konstrukcja została wykonana z cegły i stropów typu DMS z wylewkami żelbetowymi. Na wyższych kondygnacjach znajdują się gabinety pracowników oraz sale dydaktyczne, natomiast część niższa, która jest umieszczona od strony wschodniej, zawiera cztery amfiteatralne sale wykładowe. Pod audytoriami znaleźć można schron przeciwlotniczy. W latach 1966–1967 obiekt został rozbudowany o naroża w części tylnej budynku, zgodnie z projektem Z. Chwaliboga i A. Gałkowskiego [6]. Zdjęcie budynku z 1962 r. można znaleźć w [7], natomiast stan obecny (na dzień 12 marca 2025 r.) przedstawia rysunek 1.

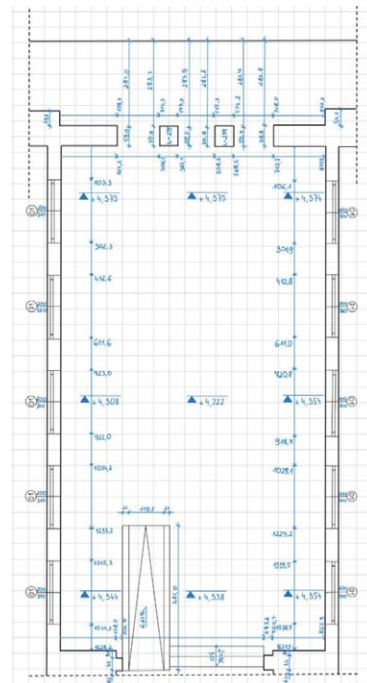
3. Inwentaryzacja metodą tradycyjną i skaningu laserowego holu budynku A2 PP

Pomiarom podlegało wejście do budynku A2 Politechniki Poznańskiej, hol główny oraz części pobliskich korytarzy. Dostęp do dokumentacji archiwalnej uzyskano dzięki uprzejmości prof. dr. hab. inż. Józefa Jasiczaka. Do wykonania inwentaryzacji



Rys. 1. Budynek Budownictwa Lądowego (A2) PP obecnie (opracowanie własne)

Rys. 2. Odręczny szkic roboczy sporządzony na tablicie (opracowanie własne)



metodą tradycyjną został użyty dalmierz laserowy (BOSCH Professional GLM 30) oraz taśma miernicza (TOYA 14200, 20 metrów). Miejsca przykładania urządzenia mierzącego oraz schemat i kierunek pomiarów przedstawiano na szkicach roboczych. Fragment przykładowego szkicu inwentaryzacyjnego pokazano na rysunku 2. Zaznaczyć

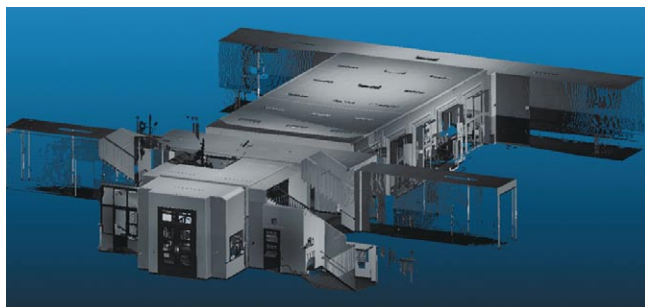
należy, że w metodzie tradycyjnej szkiców roboczych nie sporządzano ołówkiem na kartce papieru, lecz na tablicy, przy wykorzystaniu aplikacji graficznej i rysika.

Cały proces związany z zebraniem wszystkich niezbędnych danych do wykonania rysunku technicznego był czasochłonny, co więcej, wymagał udziału dwóch osób. Na wykonanie inwentaryzacji części budynku o powierzchni około 335 m² przeznaczono ponad 12 godzin. Podczas tworzenia rysunku technicznego w programie AutoCAD okazywało się, że niektóre elementy zostały pominięte. Koniecznością było ponowne pojawienie się w miejscu inwentaryzacji i wykonanie domiarów. Dużą część pomiarów wykonywano powtórnie, ponieważ wielokrotnie napotymano problemy z uzyskaniem dokładnego wyniku. Spowodowane to było brakiem równych płaszczyzn ścian i słupów, nieregularnymi załamaniem powierzchni ścian przy otworach okiennych, niejednorodną strukturą tynków na słupach, ciężko dostępnymi miejscami oraz niewielkim doświadczeniem osób prowadzących pomiary.

Wykorzystując skaner laserowy, zinventaryzowano hol, wejście oraz część dochodzących do holu korytarzy. Do przeprowadzenia pomiarów użyty został skaner 3D Surphaser 100HSX, który w trakcie zbierania danych zamontowany był na statywie

geodezyjnym. Za zasilanie posłużył zestaw wymiennych akumulatorów. Urządzenie skanujące podczas pomiarów było podłączone za pomocą kabla USB do komputera, z którego poziomu zostały wprowadzone odpowiednie ustawienia skanowania oraz na którym widoczny był podgląd każdego z poszczególnych skanów. Rozmieszczenie poszczególnych pozycji pomiarowych zaplanowano tak, aby urządzenie było w stanie uchwycić jak największą powierzchnię w mierzonych pomieszczeniach. W pierwszym podejściu zastosowano ustawienia gęstości skanowania określone jako „normal”. W takim trybie gęstość skanowania wynosiła 40LPD x 40PPD (40 Lines Per Degree x 40 Points Per Degree), co oznacza, że skaner na każdy stopień wykonywał 40 linii skanowania w pionie, a w każdej z linii rejestrował 40 punktów. Wynika z tego, że na powierzchnię o kącie wysokości i szerokości $1^\circ \times 1^\circ$ przypadło łącznie 1600 punktów. Gwarantuje to bardzo wysoką dokładność, lecz powoduje, że chmura punktów takiego skanu jest bardzo obszerna. Ma ona ponad 200 milionów pojedynczych punktów, a plik, w którym jest przechowywana osiąga rozmiar między 2 a 3 GB. Spowodowało to problemy związane z ograniczeniami sprzętowymi. Obróbka tego typu chmur punktów wymaga dużych mocy obliczeniowych oraz odpowiedniej ilości pamięci podręcznej RAM. Z tego względu ponownie wykonano skany, tym razem w niższej rozdzielczości, w celu zapewnienia płynnej pracy w trakcie obróbki danych. Zdecydowano o użyciu rozdzielczości „low”, która odpowiada gęstości na poziomie 24LPD x 24PPD. W ten sposób uzyskano chmury punktów o dobrej dokładności, a zmniejszony rozmiar ułatwił pracę na uzyskanych danych. Poprawił się także czas wykonywanego skanu, który z około 9 minut, spadł do 3 minut. W ten sposób wykonano 12 skanów we wcześniej zaplanowanych pozycjach pomiarowych. Cały ten proces, wraz z zapisem wyników oraz zmianami pozycji pomiarowych, zajął około 2 godzin.

Kolejnym etapem była obróbka pozyskanych danych. Chmury z poszczególnych skanów zostały połączone w jedną chmurę punktów obrazującą cały zakres podlegający pomiarom. W tym celu skorzystano z programu CloudCompare [8]. Zimportowano do niego pliki w rozszerzeniu „.ptx” zawierające dane z poszczególnych skanowań. Następnie wybierano kolejne chmury w celu ich połączenia. Na dwóch chmurach punktów, pochodzących z poszczególnych skanów, zaznaczono odpowiadające sobie trzy pary punktów. Po zatwierdzeniu uzyskano dokładne scalenie ze sobą osobnych zbiorów punktów. W pierwszym podejściu do łączenia chmur punktów udało się dopasować do siebie jedynie pięć skanów. Każda próba wgrania kolejnych danych powodowała spadek płynności renderowania obrazu, co uniemożliwiało dalszą pracę. Dzięki odpowiedniemu oczyszczeniu pojedynczych skanów z niepożądanych szumów oraz



Rys. 3. Połączone chmury punktów – widok od strony wejścia (opracowanie własne)

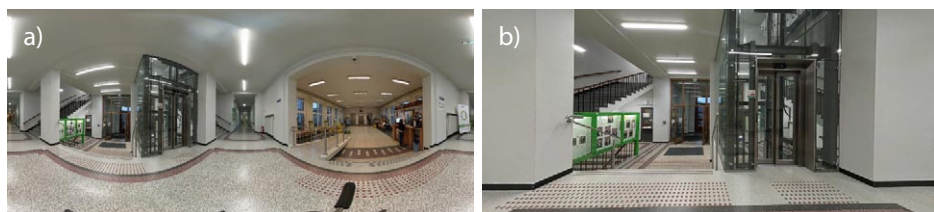
przycięciu ich do potrzebnego zakresu, udało się zredukować wielkość pojedynczych plików. Pozwoliło to na dołączenie dodatkowych dwóch skanów. Gotowa chmura punktów zawierała więc 7 z 12 wykonanych skanów. Końcowy rezultat przedstawiono na rysunku 3.

W celu lepszego zobrazowania prowadzonej inwentaryzacji, oprócz skanu 3D wykonano zdjęcia 360° (sferyczne). Kamery 360° umieszczono i zrobiono zdjęcia w tych samych miejscach, w których wykonywano poszczególne skany, co pozwoliło na porównanie perspektywy, jaką daje wykonany skan i zdjęcie. Aby w pełni osiągnąć korzyść ze zdjęcia, wykonanego kamerą 360, należy otworzyć je w dedykowanej aplikacji, w omawianym przypadku była to FSPViewer [9]. Różnicę w wyglądzie zdjęcia otwartego w typowej przeglądarce graficznej i w stworzonej na potrzeby przeglądania zdjęć sferycznych aplikacji pokazano na rysunku 4.

4. Porównanie zastosowanych metod inwentaryzacji

Dokładność pomiarów. Biorąc pod uwagę obiekty o długiej historii, którym bezsprzecznie jest budynek A2 Politechniki Poznańskiej, trudno o dokładne pomiary za pomocą metody tradycyjnej. Brak płaszczyzn, nierówne krawędzie ścian i słupów, zaoblone narożniki oraz liczne ubytki wpływają negatywnie na jakość pomiarów. Kolejnym niekorzystnym aspektem jest czynnik ludzki. Pomiar tego samego elementu wykonany przez różne osoby może zostać zinterpretowany inaczej. W przypadku skaningu laserowego, ze względu na automatyczny charakter zbierania informacji, znacznie zmniejszony jest negatywny wpływ czynnika ludzkiego na dokładność pomiarów. Każda odległość to pojedynczy wymiar zawarty między lustrem skanera, a płaszczyzną, na którą pada wiązka lasera. W gestii operatora jest dobranie odpowiednich pozycji pomiarowych. Dobre jakościowo skanery potrafią wykonywać pomiary z dokładnością do 0,01–0,1 mm, natomiast dalmierze do około 1,0 mm.

Rys. 4. Zdjęcie z kamery 360° (a) otwarte w klasycznej aplikacji (bezpośrednio) (b) otwarte w dedykowanej aplikacji (zrzut ekranu) (opracowanie własne)



Czasochłonność. Metoda tradycyjna w omawianym studium przypadku wymagała ponad dwunastu godzin na zebranie pomiarów i wykonanie szkiców roboczych oraz dodatkowych dwóch godzin na przeniesienie danych do programu AutoCAD. Błędy wymagały powrotu na miejsce pomiarów, inwentaryzacja rozłożona została na kilka dni. Podczas zbierania danych metodą nowoczesną czasochłonność zależała głównie od trybu pracy skanera laserowego. Używając ustawień „low”, czas skanu to niecałe 3 minuty. Jest on porównywalny z czasem zapisu danych na dysku, co finalnie umożliwia uzyskanie jednego kompletnego skanu gotowego do obróbki w mniej niż 6 minut. Korzystając z najniższej rozdzielczości, wykonanie 12 skanów w holu, wejściu oraz części korytarzy budynku A2 Politechniki Poznańskiej zajęło około dwóch godzin. Zebrane dane zostały poddane obróbce w programie komputerowym – w przypadku danej inwentaryzacji był to program CloudCompare. Czas potrzebny na połączenie wykonanych chmur punktów, oczyszczenie z szumów i przygotowanie do eksportu wyniósł około jednej godziny.

Koszt. Koszt dalmierza wynosi od 90 do 1000 zł, a taśmy mierniczej poniżej 100 zł. Wyniki pomiarów w metodzie tradycyjnej można przedstawić za pomocą odręcznego roboczego szkicu inwentaryzacyjnego na kartce papieru lub na tablecie. Nie jest wymagany do tego żaden program z odpłatną licencją. W celu wykonania rysunku technicznego, można skorzystać z płatnych programów typu AutoCAD lub wykorzystać darmowe zamienniki typu NanoCAD. Cena dostępnych na rynku skanerów laserowych 3D liderów, takich jak: Leica Geosystems, FARO, Trimble oraz Surphaser wiąże się z wydatkiem od około 150 tysięcy złotych do nawet 600 tysięcy złotych. Ogniwem niezbędnym do prowadzenia inwentaryzacji metodą nowoczesną jest program do przetwarzania danych, w tym zakresie można wykorzystać darmowe oprogramowanie, np. CloudCompare. Koszt stanowiska komputerowego, które zapewni komfortową pracę z obszernymi chmurami punktów wyniesie między 20 a 30 tys. zł.

Złożoność procedur. Procedura przeprowadzania inwentaryzacji metodą tradycyjną jest bardzo prosta. Nie ma potrzeby przechodzenia długotrwałych szkoleń ani specjalnych kursów. Pomiary wykonuje się szybko, a wyniki można przedstawić odręcznie lub w programach CAD. Metoda nowoczesna wymaga znajomości obsługi skanera i oprogramowania do przetwarzania danych. Operator musi odpowiednio ustawić parametry skanowania oraz rozplanować rozlokowanie skanera. Następnie chmury punktów są łączone i przetwarzane w specjalistycznym oprogramowaniu, co wymaga dodatkowego przeszkolenia.

Zastosowanie w trudnych warunkach. Metoda tradycyjna jest mało efektywna na dużych powierzchniach i w trudno dostępnych miejscach. Wysokie pomieszczenia wymagają rusztowań lub drabin. Skanowanie laserowe pozwala na szybsze zbieranie danych, niezależnie od skomplikowania obiektu. Może jednak być ograniczony przez warunki atmosferyczne, np. śnieg, który powoduje szumy w skanach. Problematyczne są także przeszkody, które mogą powodować powstawanie pustek w chmurze punktów [10].

5. Podsumowanie

Zarówno metoda tradycyjna inwentaryzacji, jak i nowoczesna mają swoje wady i zalety. Uzależnione jest to od specyfiki inwentaryzowanego pomieszczenia czy obiektu. Tradycyjne techniki są znacznie tańsze i łatwiejsze w zastosowaniu, ale charakteryzują się dłuższym czasem wykonywania pomiarów oraz mniejszą dokładnością. Poprawnie użyty skaner laserowy zapewnia niemal idealną precyzję i efektywny czas pracy, w szczególności w przypadku dużych i skomplikowanych obiektów. Z drugiej strony, metoda nowoczesna wiąże się z bardzo wysokimi kosztami sprzętu oraz potrzebą zdobycia specjalistycznej wiedzy. Najlepszym rozwiązaniem prowadzenia inwentaryzacji jest korzystanie jednocześnie z obu omawianych metod. Optymalną strategią będzie wspomaganie się metodą tradycyjną podczas prowadzenia pomiarów za pomocą skanera laserowego 3D. Wszędzie tam, gdzie mogą wystąpić pustki w chmurze punktów lub zakłócenia wiązki lasera, dane zebrane za pomocą taśmy mierniczej czy dalmierza okażą się niezastąpione. Będą stanowić cenne źródło informacji gwarantujące poprawne wyniki dalszej pracy. Perspektywy rozwoju inwentaryzacji budowlanej dotyczą głównie metod nowoczesnych. Są one bardzo obiecujące, biorąc pod uwagę szybki postęp technologiczny, dostępność sprzętu i oprogramowania oraz potrzeby dokładnych i efektywnych metod pomiarowych w budownictwie. Wraz z rozwojem sztucznej inteligencji można spodziewać się, że przetwarzanie danych pobranych ze skanów laserowych będzie odbywać się automatycznie. Algoritmy będą w stanie same łączyć skany, analizować i interpretować chmury punktów, a także wykonywać modele w 3D bez potrzeby ręcznych modyfikacji [11]. Taka automatyzacja pozwoli wyeliminować czynnik ludzki, a w rezultacie zredukować liczbę popełnianych błędów oraz znacznie obniżyć koszt modelowania obiektu w 3D.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-70/B-02365: Powierzchnie budynków – Podział, określenia i zasady obmiaru
- [2] PN-ISO9836:1997: Właściwości użytkowe w budownictwie – Określenie i obliczanie wskaźników powierzchniowych i kubaturowych
- [3] Drobek K., Szostak B., Królikowski W., Metody inwentaryzacji obiektów znajdujących się w stanie ruiny, Ochrona Dziedzictwa Kulturowego 11/2018, str. 74–85
- [4] Markiewicz P., Pierwszy krok w kierunku „smart project”, czyli inwentaryzacja stanu istniejącego budynku w standardzie BIM, Środowisko Mieszkaniowe 23, 2018, doi.org/10.4467/25438700SM.18.036.9201
- [5] Nowak P., Rosłon J., Romatowski K., Wykorzystanie skaningu laserowego i chmur punktów na budowie. Część I, Przegląd Budowlany 5–6/2022, str. 34–43
- [6] Nadolny K. (red.), Politechnika Poznańska: zmiany bazy lokalowej w ujęciu historycznym, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2018, str. 74–76
- [7] <https://wilit.put.poznan.pl/node/3877> (dostęp 12.03.2025r.)
- [8] <https://cloudcompare.software.informer.com/2.6/> (dostęp 12.03.2025r.)
- [9] <https://www.fsoft.it/FSPViewer/> (dostęp 13.03.2025r.)
- [10] Szarata A., Nowoczesne technologie w budownictwie LiDAR, BIM, GIS, Al-wybrane zagadnienia, Przegląd Budowlany 3–4/2022, str. 64–69
- [11] <https://www.youtube.com/watch?v=6Taq3XNgK1E> (dostęp 21.03.2025r.)

Katastrofa dachu sali gimnastycznej w wyniku ekstremalnych opadów – analiza przyczyn, skutków i działań naprawczych

Collapse of the gymnasium roof due to extreme rainfall – analysis of causes, consequences, and repair actions

dr inż. Maciej Przychodzki (ORCID: 0000-0003-4269-0399), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0973

Streszczenie: W artykule omówiono katastrofę dachu sali gimnastycznej w Poznaniu, która miała miejsce w wyniku nawalnego opadu deszczu 22 czerwca 2021 roku. Intensywność opadów przekroczyła zaprojektowaną wydajność systemu odwodnieniowego, co doprowadziło do spiętrzenia wody i przeciążenia konstrukcji dachu. Główną przyczyną awarii było błędne zaprojektowanie styku montażowego dolnego pasa dźwigara kratowego. Dodatkowe błędy wykonawcze, takie jak zmniejszenie średnic wpustów dachowych oraz zaniedbania eksploatacyjne pogłębiły problem. Analiza wskazuje na konieczność uwzględnienia ryzyka przeciążenia wodą opadową w normach projektowych oraz poprawy nadzoru wykonawczego i eksploatacyjnego.

Słowa kluczowe: katastrofa budowlana, ekstremalne opady deszczu, błędy projektowe.

Abstract: The article discusses the collapse of the gymnasium roof in Poznań, which occurred due to heavy rainfall on June 22, 2021. The intensity of the rainfall exceeded the designed capacity of the drainage system, leading to water accumulation and overload of the roof structure. The main cause of the failure was incorrect design of the lower chord joint of the truss. Additional construction errors, such as reduced drain diameters and operational neglect, worsened the problem. The analysis emphasizes the need to account for the risk of rainwater overload in design standards and improve construction and operational supervision.

Keywords: building collapse, extreme rainfall, design errors.

1. Wprowadzenie

Ekstremalne zjawiska pogodowe, w tym nawalne opady deszczu, stanowią poważne wyzwanie dla bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych, w szczególności dachów obiektów wielkopowierzchniowych. Normy projektowe uwzględniają oddziaływania klimatyczne koncentrując się na obciążeniach od śniegu i wiatru, natomiast kwestia przeciążeń wywołanych przez wodę opadową często bywa pomijana lub traktowana marginalnie. W rezultacie dochodzi do sytuacji, w których systemy odwodnienia nie radzą sobie z odprowadzaniem nadmiernych ilości wody, co może prowadzić do katastrofalnych w skutkach awarii konstrukcji.

Spośród norm wyszczególnionych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, stanowiących podstawę do projektowania konstrukcji obiektów budowlanych, oddziaływaniom klimatycznym poświęcone są normy [1–3]. Jak można zauważyć, normy projektowe nie biorą pod uwagę

oddziaływań na konstrukcję od wód opadowych. I w zasadzie podejście to można uznać za uzasadnione, gdyż standardowo wodę deszczową powinna w sposób bezpieczny odprowadzić prawidłowo zaprojektowana instalacja kanalizacji deszczowej. Jednak w ostatnich latach miały miejsce zdarzenia, gdzie w wyniku nadmiernego nagromadzenia się wód opadowych doszło do katastrof budowlanych w postaci zawalenia się konstrukcji dachów obiektów wielkopowierzchniowych, jak na przykład miało to miejsce w roku 2012, gdy runął dach galerii handlowej w Gnieźnie, w roku 2020 zawaliła się część dachu jednej z hal produkcyjnych zakładu Eko-Okna w Kornicach, czy też w roku 2021 uległa zniszczeniu część dachu sali gimnastycznej szkoły podstawowej na Osiedlu Pod Lipami w Poznaniu.

W tym ostatnim przypadku szczegółowa analiza przyczyn katastrofy obnażyła pewne braki w przepisach związanych z procesem projektowym. Jak wspomniano, bezpośrednim czynnikiem, który zainicjował zniszczenie konstrukcji części dachu hali, był nawalny opad deszczu. Ilość wody deszczowej, jaka spadła w ciągu pół godziny, przewyższyła projektowaną



Rys. 1. Widok zniszczonej połączy dachowej (fotografia własna)

wydajność zastosowanego podciśnieniowego systemu odwodnienia. Dodatkowo istotnym czynnikiem nagromadzenia się wód opadowych była częściowa niedrożność przewodów wykonanej instalacji. W tej sytuacji jedynym czynnikiem umożliwiającym uniknięcie przeciążenia konstrukcji dachu było zadziałanie systemu odwodnienia awaryjnego. Problem w tym, że taki system nie został wykonany.

Jednym ze stosowanych rozwiązań jest wykonanie oddzielnej instalacji odwodnienia awaryjnego, ale jak wiadomo jego zastosowanie generuje dodatkowe koszty. Aby ich

roboczy nie powodował spiętrzenia wody przewyższającego obliczeniowe obciążenie dachu, ale interpretacja tych zapisów przez projektanta instalacji niekoniecznie musi jednoznacznie prowadzić do wniosku, że jest on zobligowany do zapewnienia awaryjnego systemu odwodnienia.

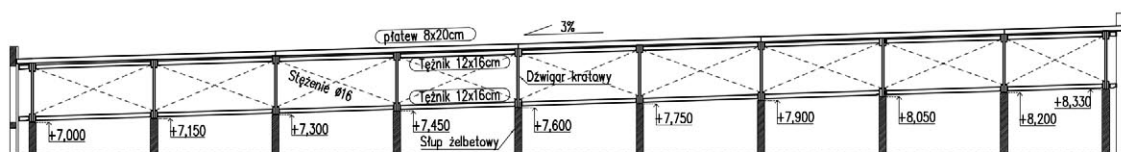
Wspomniane powyżej przypadki katastrof budowlanych zainicjowanych nawałnymi opadami deszczu jasno pokazują, że problem ten ma istotne znaczenie w aspekcie bezpieczeństwa obiektów budowlanych i ujęcie go w odpowiednich przepisach normowych wydaje się być uzasadnione.

2. Awaria konstrukcji dachu sali gimnastycznej – studium przypadku

2.1. Opis zdarzenia

22 czerwca 2021 roku po godzinie 14 na terenie miasta Poznania spadł intensywny deszcz, powodując liczne zalania i podtopienia. W szczytowej fazie opadów, według danych Lotniskowej Stacji Meteorologicznej Poznań-Ławica, w ciągu pół godziny spadło ponad 60 milimetrów wody. W tym czasie doszło do katastrofy budowlanej na terenie Zespołu Szkół z Oddziałami Sportowymi nr 1 w Poznaniu, polegają-

Rys. 2. Przekrój podłużny konstrukcji dachu



uniknąć, wielu wykonawców obiektów budowlanych decyduje się na rozwiązanie tradycyjne (tańsze) czyli otwory przelewowe w attykach. Jednak w prezentowanym przypadku z niewiadomych przyczyn nie zastosowano również tego zabiegu. I tu pojawia się pytanie, kto powinien zadbać o bezpieczeństwo obiektu budowlanego pod tym kątem? Całościową kontrolę nad procesem projektowym standardowo pełni architekt, więc wydaje się uzasadnione założenie, że zgodnie z powszechnie przyjętymi zasadami wiedzy technicznej wprowadzenie otworów przelewowych powinno mieć miejsce na etapie opracowania części architektonicznej dokumentacji projektowej. Jednak powszechnie zasady wiedzy technicznej nie stanowią przepisu i nie muszą być bezwzględnie stosowane. Z kolei za bezpieczeństwo konstrukcji odpowiada jej projektant. Ale jak wcześniej wspomniano, przepisy normowe nie przewidują obciążenia od wód opadowych jako przypadku, który standardowo należy uwzględnić na etapie projektowania konstrukcji. Kolejnym członkiem zespołu projektowego, w którego zakresie odpowiedzialności pozostaje kwestia odprowadzenia wód opadowych, jest projektant instalacji budowlanych. Co prawda norma [4] zawiera zapisy, że w systemie odprowadzania wody z dachów płaskich należy wziąć pod uwagę wytrzymałość i konstrukcję dachu oraz że wyloty, przelewy i rynny zlewowe powinny być tak zaprojektowane, aby ich poziom

cej na zawaleniu się części dachu sali gimnastycznej oddanej do użytku w sierpniu 2020 roku (rys. 1) [5].

Głównymi elementami konstrukcji nośnej były dźwigary kratownicowe z drewna klejonego o rozpiętości 28,4 m i wysokości 2,4 m rozmieszczone w rozstawach 5,0 m. Poszycie dachu stanowiła blacha trapezowa na płatwiach z drewna litego, mocowanych do dźwigarów kratowych w rozstawie 1,0 m. Spadek dachu ukształtowano w dość nietypowy sposób – poprzez stopniową zmianę wysokości żelbetowych słupów, na których zamontowano kolejne dźwigary (rys. 2). Takie rozwiązanie spowodowało, że woda deszczowa spływająca z całej powierzchni dachu gromadziła się wzdłuż attyki jednej ze ścian, skąd była odprowadzana do kanalizacji przez zainstalowany system podciśnieniowej instalacji odwodnieniowej. Ponieważ system ten nie był w stanie odprowadzić tak dużej ilości wody, nastąpiło jej spiętrzenie, co z kolei spowodowało przeciążenie i złamanie dźwigara kratowego wraz z częścią dochodzących płatwi (rys. 3).

2.2. Przyczyna bezpośrednia

Zaprojektowana, sprawnie działająca instalacja odwodnieniowa była zdolna do odprowadzenia wody z opadów o intensywności nieco ponad 300 l/s·ha, podczas gdy intensywność opadów w szczytowym momencie przekraczała 400 l/s·ha. Ze względu na brak awaryjnego systemu



Rys. 3. Zniszczony dźwigar kratowy z widocznym zerwanym stykiem montażowym dolnego pasa (fotografia własna)

odwodnienia lub otworów przelewowych spiętrzenie się wody stanowiło bezpośrednią przyczynę awarii konstrukcji nośnej dachu obiektu.

2.3. Przyczyny pośrednie – błędy projektowe

W trakcie analiz przyczyn katastrofy stwierdzono, że mimo wyjątkowo obfitego opadu deszczu prawidłowo zaprojektowana konstrukcja zdolna do przeniesienia podstawowych obciążeń normowych w sytuacji wyjątkowej powinna być w stanie przenieść obciążenia od nagromadzonej wody deszczowej [5]. Nośność prętów i połączeń węzłowych dźwigara kratowego była wystarczająca, ale ze względów transportowych każdą z kratownic podzielono na trzy części. Styki montażowe dolnych pasów dźwigarów okazały się najsłabszymi elementami. Zarówno pas dolny, jak i górny dźwigara kratowego zaprojektowano w postaci elementów dwugałęziowych. Połączenie w styku rozwiązano w ten sposób, że między gałęzie pasów wstawiono pojedyncze przekładki o polu powierzchni przekroju równemu polu powierzchni przekroju pojedynczej gałęzi elementu, czyli dwukrotnie mniejszemu w stosunku do pozostałej części pasa. Na podstawie dokumentacji projektowej nie było możliwości wyjaśnienia takiego stanu rzeczy, gdyż nie zawierała ona szczegółowych obliczeń. Na podstawie analizy statycznej dźwigara kratowego z uwzględnieniem osłabienia pasów w stykach montażowych stwierdzono, że warunek stanu granicznego nośności tego elementu został przekroczony o ponad 70%.



Rys. 4. Zatkana rura wpustu dachowego (fotografia własna)

2.4. Przyczyny pośrednie – błędy wykonawcze i eksploatacyjne

Wykryte błędy popełnione na etapie projektowania nie wyczerpują niestety katalogu przewinień popełnionych w trakcie realizacji przedmiotowego przedsięwzięcia budowlanego. Kolejnymi były działania na etapie wykonania obiektu. Jak wspomniano, instalacja odwodnieniowa była zaprojektowana w taki sposób, że zapewniała odprowadzenie wody deszczowej w przypadku opadu normatywnego. Jednak w trakcie prowadzenia robót instalacyjnych zamiast wykonać wpusty dachowe o średnicach określonych w projekcie wykonawczym dokonano zmiany tych średnic na mniejsze, co skutkowało zmniejszeniem wydajności instalacji o kilkanaście procent.

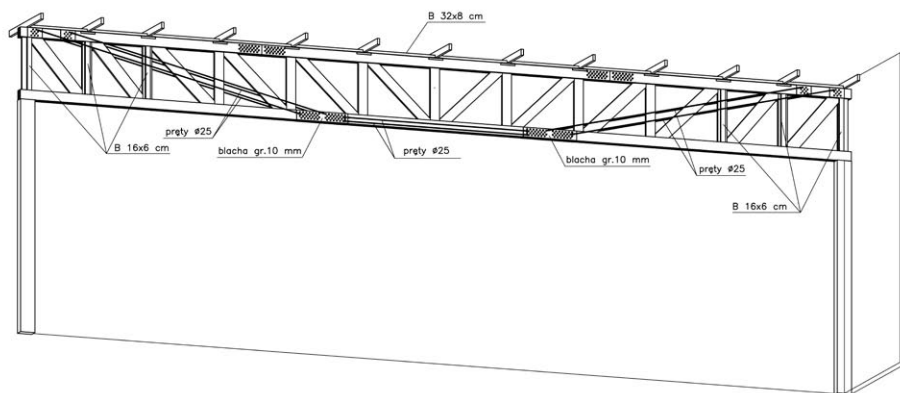
W trakcie badania przyczyn katastrofy poddano również analizie jakość drewna zastosowanego do produkcji elementów konstrukcyjnych dachu. Dostawca konstrukcji drewnianej dachu zadeklarował użycie w wiązarach kratowych drewna klejonego klasy GL24. Specjalista z zakresu klasyfikacji drewna stwierdził liczne wady materiału konstrukcyjnego, które eliminowały przypisanie mu zadeklarowanej klasy.

W trakcie wizji lokalnej miejsca katastrofy stwierdzono również zaniedbanie ze strony administratora obiektu, gdyż okazało się, że jeden z wpustów dachowych instalacji odwodnieniowej był niedrożny ze względu na jego zapchanie szlamem będącym mieszaniną głównie piasku, liści i innych fragmentów roślin (rys. 4).

2.5. Skutki

Jak już wspomniano, w wyniku zdarzenia nastąpiło zerwanie przewiazki styku montażowego dolnego pasa dźwigara kratowego, a w konsekwencji runięcie całego dźwigara w przedskrajnym układzie poprzecznym konstrukcji nośnej. W wyniku utraty podparcia nastąpiło złamanie płatwi w dwóch skrajnych polach połaci dachowej i zapadnięcie się poszycia, czyli blachy trapezowej wraz z warstwami izolacyjnymi. Ponadto dźwigar, który uległ zniszczeniu, stanowił element systemu stężeń dachowych, więc jego złamanie doprowadziło do uszkodzenia tego systemu. Drewniane tężniki dachowe uległy złamaniu lub zostały częściowo wyrwane z metalowych wsporników łączących je z wiązarem. Stalowe liny stężeń nie uległy zerwaniu, a jedynie elementy łączące je z konstrukcją drewnianą uległy uszkodzeniu. Pomiar geodezyjne przeprowadzone po katastrofie wykazały ponadto, że uszczerbku doznały również słupy podpierające zniszczony wiązar, a konkretnie nastąpiło ich wychylenie z pionu w kierunku prostopadłym do ścian w stronę zewnętrzną budynku. Dla jednego ze słupów odchylenie wynosiło 6 cm, a dla drugiego było równe 3,5 cm. Jednakże obliczenia statyczne wykazały, że słupy te zachowały zdolność przeniesienia obciążeń również z uwzględnieniem dodatkowych mimośrodków,

Rys. 5. Schemat wzmocnień dźwigarów kratowych



dlatego odstąpiono od przywracania ich pierwotnego ustawienia uznając to działanie za technicznie trudne i nieuzasadnione ekonomicznie.

W wyniku zawalenia się części dachu budynku zniszczeniu uległa wewnętrzna podciśnieniowa instalacja kanalizacji deszczowej z wyjątkiem pionu kanalizacyjnego. Zniszczone elementy instalacji nie kwalifikowały się do naprawy i konieczna była ich wymiana na nowe. Dodatkową konsekwencją zniszczenia części dachu było zalanie wodą opadową warstw posadzkowych oraz zawilgocenie elementów murowych oraz tynków ścian w ich dolnej części do wysokości około 1,0 m.

2.6. Działania naprawcze

Na podstawie oględzin zachowanej części konstrukcji budynku sali gimnastycznej uznano, że po dokonaniu odpowiednich wzmocnień możliwa jest jej dalsza eksploatacja. W celu przywrócenia obiektu do jego pełnej funkcjonalności podstawowym zabiegiem była odbudowa zniszczonych elementów konstrukcji. Zdecydowano, że nowy dźwigar dachowy będzie miał taką samą formę, jak pozostałe zachowane dźwigary, ale z zapewnieniem odpowiedniej klasy wytrzymałości drewna oraz wzmocnieniem styków montażowych nakładkami z blachy stalowej grubości 10 mm. Kolejnym aspektem było wzmocnienie styków montażowych zachowanych dźwigarów przeznaczonych do dalszej eksploatacji. W tym przypadku również zastosowano wariant ze stalowymi nakładkami [6].

Ze względu na fakt, iż jakość drewna, z którego wykonano dźwigary kratowe, nie odpowiada klasie GL24, konieczne okazało się zwiększenie nośności elementów składowych wiązarów. W przypadku pasów górnych wprowadzono dodatkowe elementy drewniane między płatwiami zwiększając ich pole przekroju poprzecznego. Dla pasów dolnych zastosowano wzmocnienie w postaci prętów stalowych o średnicy 25 mm, po dwa z każdej strony dźwigara. Dla najbardziej wyłożonych skrajnych słupków (po trzy z każdej strony dźwigara) zastosowano analogiczne rozwiązanie jak dla pasa górnego, czyli zwiększono ich przekroje poprzeczne wprowadzając dodatkowe elementy drewniane (rys. 5).

3. Podsumowanie

Katastrofa dachu sali gimnastycznej w Poznaniu była wynikiem splotu wielu czynników projektowych, wykonawczych i eksploatacyjnych, jednak bezpośrednią przyczyną zdarzenia był nawalny opad deszczu, który doprowadził

do przeciążenia konstrukcji dachu w wyniku nadmiernego nagromadzenia się wody opadowej. Intensywność opadu znacząco przewyższyła wydajność zaprojektowanego systemu odwodnienia, a brak awaryjnych rozwiązań, takich jak przelewy awaryjne, uniemożliwił szybkie odprowadzenie nadmiaru wody z powierzchni dachu.

Jednocześnie decydujące znaczenie dla rozwoju katastrofy miała wada projektowa kluczowego elementu konstrukcyjnego – styku montażowego dolnego pasa dźwigara kratowego. To właśnie w tym miejscu, w wyniku błędnego zaprojektowania połączenia nastąpiło poważne osłabienie przekroju, skutkujące przekroczeniem nośności tego elementu. W połączeniu z przeciążeniem wodą opadową doprowadziło to do złamania dźwigara i zawalenia części konstrukcji dachowej.

Wystąpienie katastrofy było również wynikiem dodatkowych błędów wykonawczych, takich jak zmniejszenie średnic wpustów dachowych, zastosowanie drewna o niższej jakości niż przewidziano w projekcie oraz zaniedbań eksploatacyjnych, w tym braku utrzymania drożności wpustów odwodnieniowych.

Analiza tego przypadku pokazuje, że bezpieczeństwo konstrukcji wymaga całościowego podejścia – od rzetelnego projektowania, przez nadzór wykonawczy, aż po właściwą eksploatację i konserwację. Zdarzenie to wskazuje również na potrzebę zmian w przepisach normowych, aby uwzględniały one nie tylko typowe obciążenia klimatyczne, ale także ryzyko związane z ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi i ewentualnym przeciążeniem wodą opadową.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-3: Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem
- [2] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru
- [3] PN-EN 1991-1-5:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-5: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania termiczne
- [4] PN-EN 12056-3:2002: Systemy kanalizacji grawitacyjnej wewnątrz budynków – Część 3: Przewody deszczowe – Projektowanie układu i obliczenia
- [5] Pozorski Z., Pawlak Z., Przychodźki M., Mazurkiewicz K., Opinia naukowo-techniczna dotycząca hali sportowej przy Zespole Szkół z Oddziałami Sportowymi nr 1 zlokalizowanej w Poznaniu na Osiedlu Pod Lipami 106, Poznań, 2022
- [6] Pawlak Z., Pozorski Z., Projekt modernizacji sali gimnastycznej przy Zespole Szkół z Oddziałami Sportowymi nr 1 (branża konstrukcyjna), Poznań, 2022

Wstępna ocena nośności belki z drewna świerkowego za pomocą analizy numerycznej

Preliminary evaluation of the load-bearing capacity of a spruce beam using a numerical analysis

mgr inż. Marcin Zieliński, dr inż. Maciej Przychodzki (ORCID: 0000-0003-4269-0399), dr inż. Marcin Chybiński (ORCID: 0000-0003-2539-7764), dr inż. Łukasz Polus (ORCID: 0000-0002-1005-9239), dr hab. inż. Michał Guminiak, prof. PP (ORCID: 0000-0003-0100-8621), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0974

Streszczenie: W artykule oceniono wstępnie nośność na zginanie belki z drewna świerkowego, zabezpieczonej przed zwężeniem, korzystając z analizy numerycznej. Nośność wyznaczona za pomocą analizy numerycznej została porównana z wartością teoretyczną. Otrzymano podobne wyniki. Zaplanowano dalszy rozwój modelu numerycznego oraz jego walidację po przeprowadzeniu badań laboratoryjnych.

Słowa kluczowe: konstrukcje drewniane, belka z drewna świerkowego, analiza numeryczna.

Abstract: In this paper the load-bearing capacity of a restrained spruce beam was preliminary evaluated using a numerical analysis. The bending resistance from the numerical analysis was compared with the theoretical value and similar results were obtained. Further development and validation of the numerical model are planned after laboratory tests.

Keywords: timber structures, spruce beam, numerical analysis.

1. Wprowadzenie

Drewno, jeden z najstarszych materiałów budowlanych, od lat znajduje zastosowanie na konstrukcje domów [1], kościołów [2], wież widokowych [3], mostów [4] czy kładek [5]. Współcześnie można zaobserwować zwiększające się zainteresowanie konstrukcjami wykorzystującymi drewno ze względu na lekkość tego materiału, niskie zapotrzebowanie na energię do jego produkcji oraz potrzebę zredukowania emisji CO₂ [6, 7]. Drewno jest biodegradowalnym materiałem, którego zasoby można odnawiać [8]. Elementy wykonane z drewna znajdują zastosowanie w stosunkowo nowych rodzajach konstrukcji, takich jak belki zespolone stalowo-drewniane czy aluminiowo-drewniane [9–11]. Drewniane elementy mogą być również wykorzystane podczas naprawy istniejących konstrukcji drewnianych. Obiekty zabytkowe wymagają odpowiedniego sposobu utrzymania i konserwacji, a często naprawy lub wzmocnienia, w tym złączy ciesielskich [12, 13]. Na przykład Rapp i Fiszer w [14] zaproponowali klejone połączenia ukośne do zastosowania podczas naprawy czy częściowej wymiany uszkodzonego drewnianego elementu. Zwiększająca się

liczba nowo projektowanych obiektów o konstrukcji drewnianej, konieczność oceny stanu technicznego istniejących obiektów o tej konstrukcji, jak i ich naprawy sprawia, że coraz częściej przydatne mogą być modele numeryczne służące ocenie ich nośności.

W artykule przedstawiono analizę numeryczną nośności belki z drewna świerkowego. Przeprowadzoną analizę uznano za wstępną ocenę nośności belki, ponieważ wyznaczoną nośność porównano jedynie z nośnością teoretyczną.

2. Analiza numeryczna

Model numeryczny belki drewnianej został wykonany w programie Abaqus. Składał się on z belki drewnianej oraz stalowych blach umieszczonych w miejscach podpór oraz przyłożenia obciążenia (rys. 1). Analiza odzwierciedlała próbę czteropunktowego zginania (rys. 2). Przyjęto szerokość przekroju belki (45 mm) podobnie jak w pracy [15]. Belka drewniana została wykonana z drewna świerkowego. Drewno traktuje się jako materiał ortotropowy o trzech głównych kierunkach [16]. Parametry drewna zostały

Rys. 1. Model numeryczny belki drewnianej; 1 – belka drewniana, 2 – blacha stalowa

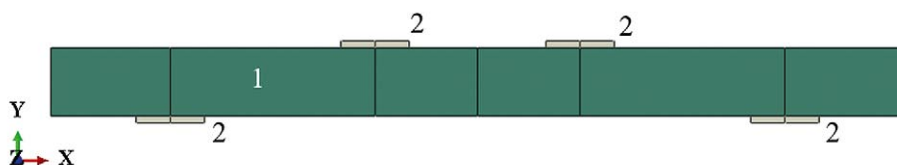
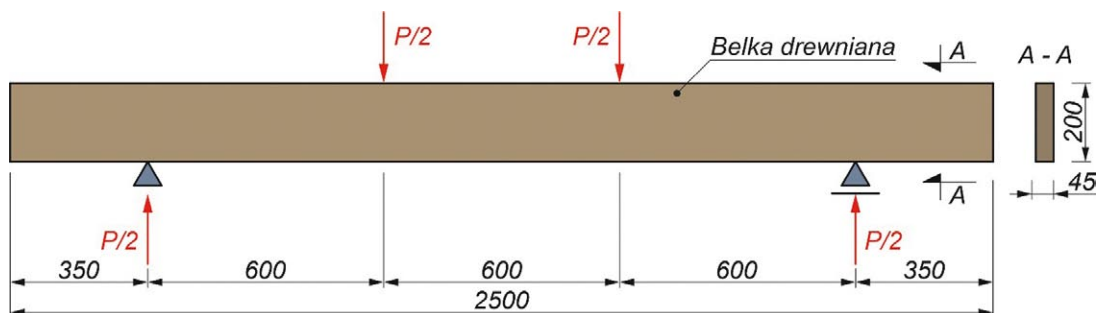


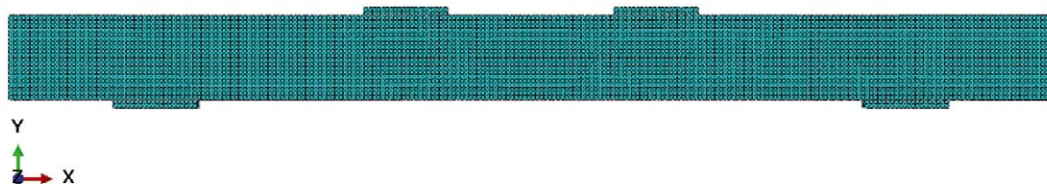
Tabela 1. Model drewna [17–19]

Moduł Younga [MPa]			Współczynnik Poissona [–]			Moduł Kirchhoffa [MPa]		
E_1	E_2	E_3	ν_{12}	ν_{13}	ν_{23}	G_{12}	G_{13}	G_{23}
11000	370	370	0,372	0,467	0,435	690	690	50
Wytrzymałość drewna [MPa]	Odształcenie plastyczne [–]	Współczynniki funkcji Hilla [–]						
f	ϵ	R11	R22	R33	R12	R13	R23	
24	0	0,680	0,061	0,061	0,206	0,206	0,206	

Rys. 2. Belka drewniana w próbie czteropunktowego zginania



Rys. 3. Podział belki drewnianej na elementy skończone



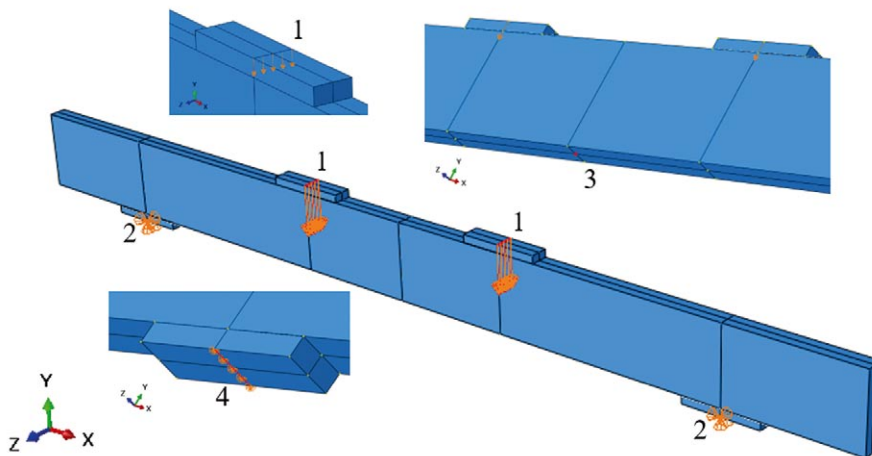
przyjęte na podstawie [17–19] (tab. 1). Wykorzystano model dla materiału ortotropowego (*elastic, engineering constants*), uwzględniono plastyczność (*plastic, isotropic*) oraz kryterium Hill'a (*potential*). Kryterium to reprezentuje uogólnione kryterium Hubera-Misesa-Hencky'ego dla materiału ortotropowego [20]. Dla stali S235 wykorzystano model sprężysto-plastyczny, przyjmując moduł Younga $E = 210\,000$ MPa, współczynnik Poissona $\nu = 0,3$ oraz granicę plastyczności $f_y = 235$ MPa.

Belkę drewnianą zamodelowano, wykorzystując przestrzenne ośmiowęzłowe prostopadłościennie elementy skończone typu bryłowego o liniowej funkcji kształtu (C3D8R) (rys. 3). Do modelowania stalowych blach wykorzystano również elementy C3D8R.

W pracy przedstawiono wyniki dla modelu, w którym maksymalny wymiar

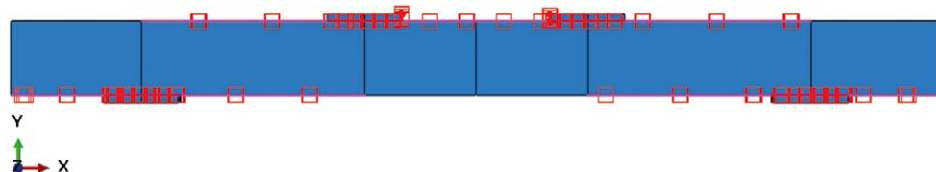
elementu skończonego wynosił 10 mm, a model belki składał się z 20 640 elementów skończonych typu C3D8R. Przyjęte warunki brzegowe oraz miejsca, w których odczytywano ugięcie i reakcję zostały przedstawione na rysunku 4. Obciążenie belki miało postać wymuszenia kinematycznego przyłożonego do blach stalowych znajdujących się na górnej powierzchni belki. Pomiędzy blachami a belką drewnianą zamodelowano kontakt typu *surface-to-surface hard contact* oraz tarcie (rys. 5), przyjmując współczynnika tarcia o wartości 0,3.

Założono, że belka jest zabezpieczona przed zwichrzeniem oraz, że pojawienie się opadającej gałęzi na ścieżce równowagi

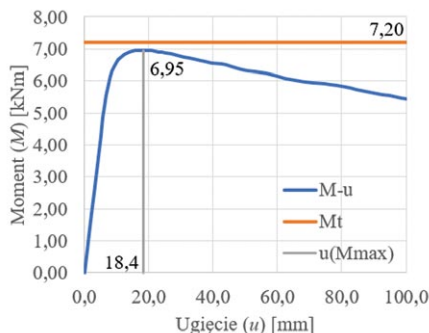


Rys. 4. Warunki brzegowe: 1 – wymuszenie kinematyczne, 2 – zablokowane przemieszczenia w trzech kierunkach dla blachy, 3 – miejsce odczytywania ugięcia, 4 – miejsce odczytywania reakcji o kierunku pionowym

Rys. 5. Kontakt typu surface-to-surface hard contact oraz tarcie pomiędzy blachami a belką drewnianą



Rys. 6. Ścieżka równowagi statycznej analizowanej belki z drewna świerkowego



statycznej odpowiada osiągnięciu przez belkę nośności. W analizie numerycznej wykorzystano kod metody elementów skończonych programu Abaqus/Standard, a w obliczeniach metodę przyrostową Newtona-Raphsona.

3. Wyniki analizy

Nośność teoretyczną belki ($M_t = W_t = 300,0 \cdot 2,4 = 720,0 \text{ kNm} = 7,2 \text{ kNm}$) wyznaczono, biorąc pod uwagę wskaźnik wytrzymałości na zginanie przekroju belki ($W = 300,0 \text{ cm}^3$) oraz wytrzymałość drewna świerkowego ($f = 24 \text{ MPa}$) podaną w pracy [17].

Podczas analizy numerycznej belki drewnianej zaobserwowano opadanie gałęzi na ścieżce równowagi statycznej (rys. 6), które było związane z osiągnięciem wytrzymałości drewna w znacznej części przekroju belki (rys. 7). Nośność zabezpieczonej przed zwichrzeniem belki drewnianej według analizy numerycznej (6,95 kNm) była o 3,5% mniejsza od nośności teoretycznej (7,2 kNm) wyznaczonej powyżej.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wstępną ocenę nośności belki na zginanie z drewna świerkowego, korzystając z przygotowanego modelu numerycznego. Nośność wyznaczona za pomocą analizy numerycznej była zbliżona do nośności teoretycznej. Planuje się dalszy rozwój tego modelu, jak i jego walidację po przeprowadzeniu badań laboratoryjnych belek drewnianych oraz analizę belek z klejonymi połączeniami ukośnymi. Dalszy rozwój tego modelu może przyczynić się do opracowania narzędzia służącego ocenie nośności elementów i połączeń, w których zastosowano drewno świerkowe.

Rys. 7. Miejsca, w których została osiągnięta wytrzymałość drewna (dla $M = 6,95 \text{ kNm}$)



BIBLIOGRAFIA

- [1] Pyrak S., Włodarczyk W., Posadowienie budowli, konstrukcje murowe i drewniane, WSiP, Warszawa, 2000
- [2] Marciniak P., Pawlak Z. M., Wyczalek I., The Use of Experimental Modal Analysis in Modeling the Complex Timber Structure of a Historical Building, *Applied Sciences* 14/2024, str. 8517
- [3] Czernik S., Forma strukturalna współczesnych wież i platform obserwacyjnych na przykładzie realizacji wieży widokowej w Krynicy Zdroju, *Przegląd Budowlany* 4/2019, str. 28–31
- [4] Zobel H., Thakaa A., Mosty drewniane, Wydawnictwo Komunikacji i łączności, Warszawa, 2007
- [5] Howis J., Wysokowski A., Konstruowanie kładek dla pieszych z drewna klejonego zgodnie z eurokodami, *Materiały Budowlane* 7/2009, str. 40–43
- [6] Włowiak-Postulak A., Świt G., Dziedzic-Jagocka I., Application of Composite Bars in Wooden, Full-Scale, Innovative Engineering Products – Experimental and Numerical Study, *Materials* 17/2024, str. 730
- [7] Chybiński M., Polus Ł., Szumigala M., Zastosowanie elementów drewnianych w belkach zespolonych, *Inżynieria i Budownictwo* 5–6/2021, str. 247–249
- [8] Ksit B., Szymczak-Graczyk A., Thomas M., Pilch R., Implementation of the Results of Experimental Studies with the Use of the Sclerometric Method of Plane Elements in Wooden Buildings, *Energies* 15/2022, str. 6660
- [9] Polus Ł., Chybiński M., Belki zespolone stalowo-drewniane – przegląd rozwiązań, *Przegląd Budowlany* 4/2024, str. 34–37
- [10] Chybiński M., Polus Ł., Belki zespolone aluminiowo-drewniane łączone za pomocą wkrętów lub śrub – podsumowanie i wnioski z badań własnych, *Przegląd Budowlany* 5–6/2023, str. 56–60
- [11] Strzelecka J., Polus Ł., Chybiński M., Theoretical and numerical analyses of steel-timber composite beams with LVL slabs, *Civil and Environmental Engineering Reports* 33(2)/2023, str. 64–84
- [12] Jasieńko J., Nowak T., Karolak A., Historyczne złącza ciesielskie, *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 40/2014, str. 58–82
- [13] Karolak A., Analiza pracy statycznej wybranych połączeń w drewnianych obiektach zabytkowych, praca doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2021
- [14] Rapp P., Fiszler S., Approximate numerical model for adhesive scarf joints in wooden beams, *Drewno* 58(194)2015, str. 5–21
- [15] Rapp P., Computational model of adhesive scarf joints in timber beams, *Drewno* 57(193)2014, str. 5–35
- [16] Lacki P., Derlatka A., Analiza numeryczna konstrukcji drewnianej jako struktury ortotropowej, *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej seria Budownictwo* 19(1)2013, str. 69–76
- [17] Sandhaas C., Van de Kuilen J. W. G., Material model for wood, *Heron* 58(2/3)/2013, str. 173–194
- [18] Kawecki B., Guidelines for FEM modelling of wood-CFRP beams using ABAQUS, *Archives of Civil Engineering* 67(4)2021, str. 175–191
- [19] Wood Handbook, Wood as an engineering material. Forest Products Society, Madison, 1999
- [20] Różyło P., Stateczność i stany graniczne ściskanych cienkościennych profili kompozytowych, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin, 2019

Projektowanie uniwersalne w odniesieniu do remontów i modernizacji budynków

Universal design for renovation and modernization of buildings

dr inż. Marcin Kanoniczak (ORCID: 0000-0001-8017-645X), dr inż. Monika Siewczyńska (ORCID: 0000-0003-3481-6748), dr inż. Marlena Kucz, prof. PP (ORCID: 0000-0003-0133-5171), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0975

Streszczenie: Sytuacja demograficzna Polski wskazuje na zwiększający się odsetek osób starszych. Coraz częściej będzie występował problem niedostosowania obiektów do potrzeb osób poruszających się na wózku. Kluczową rolę stanowi możliwość swobodnego przemieszczania się pomiędzy pomieszczeniami, miejsce na manewry zmiany kierunku jazdy oraz rozwiązania umożliwiające pokonanie różnic poziomów podłogi. W artykule omówiono zasady projektowania uniwersalnego w odniesieniu do budynków, a na podstawie przykładu budynku mieszkalnego wielorodzinnego wysokiego o konstrukcji żelbetowej prefabrykowanej przedstawiono rozwiązania umożliwiające dostęp dla osób o obniżonej sprawności ruchowej. Zaproponowano dwa warianty przebudowy mieszkania. Prezentowane przykłady mogą posłużyć jako inspiracja do projektów remontów budynków.

Słowa kluczowe: projektowanie uniwersalne, remont i modernizacja budynków.

Abstract: The demographic situation in Poland indicates an increasing proportion of elderly people. The issue of buildings being inadequately adapted to the needs of wheelchair users will become more frequent. A key aspect is the ability to move freely between rooms, space for maneuvering and changing direction, as well as solutions that enable overcoming floor level differences. This article discusses the principles of universal design in relation to buildings. Using the example of a high-rise, prefabricated reinforced concrete residential building, solutions enabling access for people with reduced mobility are presented. Two variants of apartment reconstruction have been proposed. The presented examples can serve as inspiration for building renovation projects.

Keywords: universal design, renovation and modernization of buildings.

1. Wprowadzenie

Zasady projektowania uniwersalnego z powodzeniem stosowane są przy planowaniu oraz realizacji remontów i modernizacji istniejących budynków różnego typu. W porównaniu z obiektami nowo projektowanymi budynki eksploatowane od kilku, kilkudziesięciu lub ponad stu lat obciążone są występowaniem szeregu charakterystycznych barier architektonicznych. Bariery te nie tylko skutecznie ograniczają możliwości swobodnego korzystania z obiektów przez osoby z ograniczoną sprawnością ruchową, ale niektóre z nich utrudniają także poruszanie się osobom sprawnym.

Właściwe planowanie i wykonywanie remontów i modernizacji budynków powinno uwzględniać wymagania zawarte w rozporządzeniu [1], ale także być oparte na zasadach projektowania uniwersalnego [2, 3]. Wówczas jesteśmy w stanie poprawić sytuację funkcjonalną użytkowników danego obiektu. Skala poprawy zależna jest od wielu czynników, m.in. od wieku obiektu, technologii wykonania, układu konstrukcyjnego, stosunków własnościowych, sytuacji finansowej właściciela lub właścicieli.

Aby zapewnić bezproblemowy dostęp do budynku wszystkim zainteresowanym, niezależnie od stopnia ich sprawności, konieczne jest dokonanie szeregu zmian w obiekcie. Sprawa jest skomplikowana, więc wymaga przeprowadzenia analizy możliwości wykonawczych poprawy sytuacji użytkowników [4].

2. Zastosowanie zasad projektowania uniwersalnego w celu poprawy sytuacji osób z ograniczoną sprawnością ruchową

Pierwszym, zasadniczym krokiem prowadzącym do poprawy sytuacji osób z ograniczoną sprawnością ruchową jest rozpoznanie rodzaju i miejsca występowania barier architektonicznych w obiekcie. Standardowo newralgiczną częścią budynku jest strefa wejścia. Aby swobodnie dostać się do wnętrza obiektu, bardzo często przychodzi zmierzyć się z przeszkodami w postaci stopni schodów występujących przed drzwiami wejściowymi (rys. 1), a także wąskich i nierzadko ciężkich drzwi. Są to bariery nie do pokonania dla części osób niepełnosprawnych, zwłaszcza tych, którzy



Rys. 1. Bariera architektoniczna w strefie wejścia do budynku w postaci stopni schodów zewnętrznych



Rys. 3. Poprawa dostępności w obiekcie dla osób z ograniczoną sprawnością ruchową na przykładzie wprowadzenia dźwigu osobowego w holu budynku Budownictwa Politechniki Poznańskiej

poruszają się na wózku. W celu pokonania problemowych różnic wysokości wprowadza się pochylnie (rys. 2). Jednak nie zawsze jest to możliwe, z uwagi na brak miejsca. Należy więc rozważyć montaż zewnętrznej platformy schodowej. Sam otwór drzwiowy trzeba poszerzyć, zapewniając wymiar w świetle ościeżnicy min. 90 cm.

Po dostaniu się do wnętrza budynku w wielu przypadkach napotykamy kolejną przeszkodę, tym razem schody prowadzące na poziom parteru. Sytuacja komplikuje się przy potrzebie dotarcia na wyższe kondygnacje w budynku niewyposażonym w dźwig. Najbardziej racjonalnym rozwiązaniem problemu wydaje się być dobudowanie dźwigu wewnątrz obiektu (rys. 3). Wymaga to jednak zapewnienia odpowiedniej przestrzeni i wykonania szeregu robót obejmujących ingerencję w elementy konstrukcyjne. Wygospodarowanie miejsca na to urządzenie niestety odbywa się kosztem przyległych pomieszczeń lub korytarzy i znacząco zmienia wygląd wnętrza budynku. W przypadku braku możliwości wprowadzenia dźwigu wewnętrznego należy rozważyć dobudowanie dźwigu zewnętrznego. W obiektach, w których nie da się tego wykonać, pozostaje zastosowanie wspomnianej już platformy schodowej (rys. 4) albo



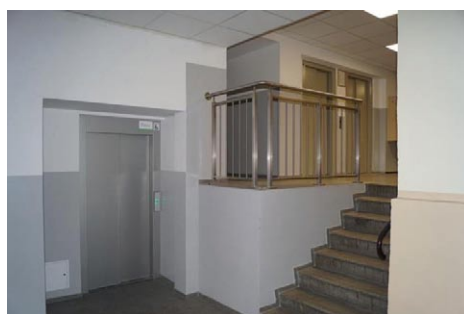
Rys. 2. Widok dobudowanej pochylni przed wejściem do budynku



Rys. 4. Platforma schodowa umożliwiająca dostęp na wyższy poziom w budynku osobom poruszającym się na wózku [5]

Niebezpieczne są śliskie posadzki i stopnie schodów, a także zbyt nisko zamocowane lub wystające elementy wyposażenia technicznego, w tym różnego typu instalacji. W zakresie remontu powinna znaleźć się wymiana posadzek zapewniających bezpieczne użytkowanie, z odpowiednim doбором rozwiązania materiałowego, zróżnicowaniem kolorystycznym w miejscach charakterystycznych, w tym na długości pochylni i na krawędziach stopni. Wszelkie instalacje należy poprowadzić tak, aby nie stwarzały zagrożenia dla użytkowników.

Dostęp do lokali mieszkalnych lub pomieszczeń biurowych, gabinetów lekarskich itd. bywa również utrudniony z uwagi na występujące wysokie progi lub wąskie otwory drzwiowe. Rozwiązaniem problemu jest likwidacja lub co najmniej obniżenie progów do wysokości maksimum 2 cm i poszerzenie drzwi.



Rys. 5. Dodatkowy dźwig wprowadzony w miejscu dawnej komory zsympowej, obsługujący poziom wejścia do budynku oraz poziom parteru, na którym znajdują się dźwigi umożliwiające dostanie się na wszystkie kondygnacje mieszkalne

krzesła schodowego, czyli urządzeń, których tor jazdy prosto lub krzywoliniowy mocowany jest do ściany lub do podłogi/stopni schodów.

Ciekawym sposobem na pokonanie różnicy poziomów pomiędzy wejściem do budynku a parterem jest wprowadzenie dźwigu w miejscu dawnej komory zsympowej (rys. 5). W obiektach, w których występują dźwigi od poziomu parteru, do którego konieczne jest dojście po schodach, rozwiązanie to zapewnia ciągłość dostępu na kondygnacje użytkowe już od samego wejścia do budynku.

Kolejne przeszkody spotyka się na korytarzach. Mają formy stopni, stromych krótkich pochylni lub wysokich progów w przejściach lub drzwiach rozdzielających ciągi komunikacyjne.

W samych mieszkaniach także bardzo często występują bariery w postaci zbyt wąskich drzwi (w starym budownictwie także z wysokimi progami) oraz niewielkie pomieszczenia, głównie sanitarne. Rozwiązaniem problemu jest przebudowa wnętrza, w tym częściowa lub całkowita rozbiora ścian działowych, poszerzenie drzwi, wykonanie nowego pomieszczenia łazienki, a także wyrównanie poziomu posadzek pomiędzy pomieszczeniami.

Swobodny dostęp do pomieszczeń w budynku, poza występującą odpowiednią szerokością korytarzy, przejść i drzwi, wiąże się z możliwością wykonania obrotu wózka. W tym celu musi zostać zapewniona przestrzeń wolna od przeszkód, opisana na rzucie o wymiarach 150x150 cm, która jest potrzebna do wykonania obrotu o 90°, a najlepiej 160x160 cm, co umożliwi pełne obrócenie wózka [2]. Niestety nie we wszystkich przypadkach obiektów jesteśmy w stanie dokonać kompleksowych zmian. Nie da się przecież poszerzyć korytarzy ograniczonych z obu stron ścianami nośnymi.

Pokoje, kuchnie i łazienki dla osób z niepełnosprawnościami powinny być odpowiednio duże i zostać wyposażone w specjalne przybory sanitarne, a także umożliwiające z nich korzystanie odpowiednie uchwyty i poręcze.

Dostosowanie obiektów zabytkowych do potrzeb osób ze szczególnymi potrzebami ruchowymi powinno uwzględniać specyfikę analizowanych budynków, jednocześnie podlegać ograniczeniom wynikającym z ochrony dziedzictwa kulturowego. Istotne jest znalezienie kompromisu pomiędzy uzyskaniem dostępności a zachowaniem wartości historycznej obiektu, co przekłada się na konieczność znalezienia indywidualnych rozwiązań i wymaga ścisłej współpracy z konserwatorem zabytków.

3. Studium przypadku

W celu weryfikacji możliwości dostosowania przestrzeni dla osób o ograniczonej sprawności wykonano symulację przebudowy małego mieszkania znajdującego się w budynku wielorodzinnym wykonanym w technologii prefabrykowanej wielkopłytowej.

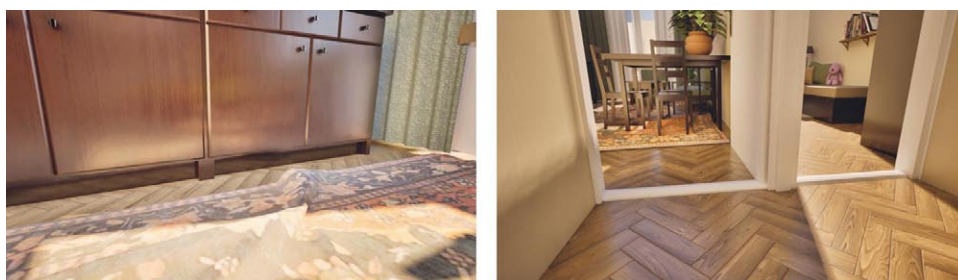
Na podstawie analizy archiwalnej dokumentacji projektowej i wykonanych szkiców oraz wizualizacjach (rys. 6) mieszkania stwierdzono, że:

- szerokość drzwi jest zbyt wąska: 80 cm wejściowe do mieszkania i do salonu, 70 cm do pokoju i kuchni i 60 cm do łazienki,
- w pokojach i przedpokoju jest zachowana przestrzeń manewrowa (150x150 cm), ale w kuchni i łazience – nie,
- zdarzają się wysokie progi w drzwiach wejściowych, listwy progowe wewnątrz oraz dywany w pomieszczeniach – elementy, o które można zahaczyć (rys. 7), utrudniające płynne poruszanie się.

Zaproponowano dwa warianty przebudowy mieszkania w celu dostosowania go do potrzeb osoby poruszającej się na wózku. W pierwszym wariantie zachowano podział na dwa pokoje, a w drugim jest pokój wielofunkcyjny (rys. 8). Powiększono łazienkę i przedpokój oraz przeniesiono kuchnię do aneksu w salonie.



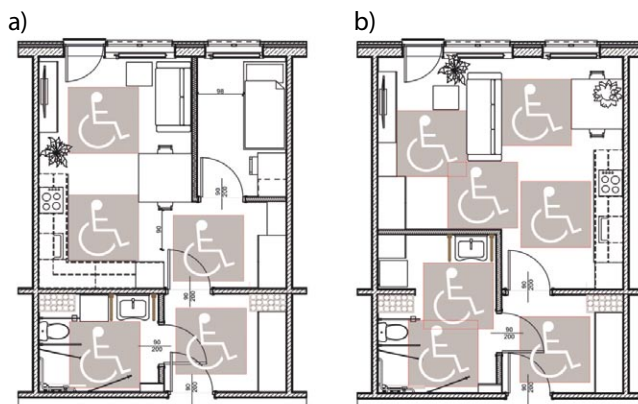
Rys. 6. Rzut i wizualizacja mieszkania



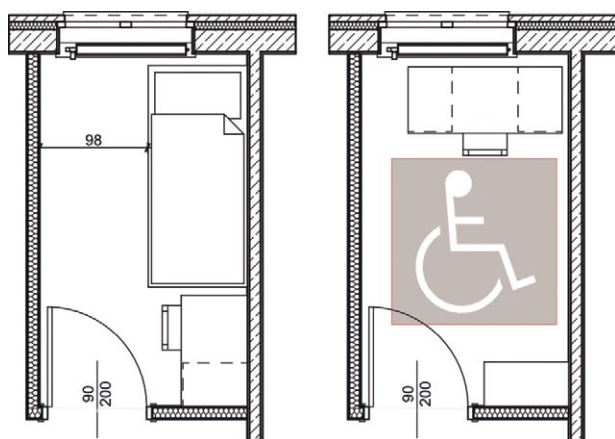
Rys. 7. Wizualizacja zbyt wąskich drzwi wraz z progiem i dywanu utrudniającego poruszanie się na wózku

Wariant 2 umożliwia podłączenie wentylacji kuchni i łazienki do aktualnie wykorzystywanych przewodów kominowych. Ściana poprzeczna przy kominach pełni funkcję nośną. Po usunięciu drzwi do pokoi należy powiększyć otwór okienny z kuchni do pokoju w celu uzyskania odpowiednio dużego pomieszczenia łazienki. Nowe ściany działowe można wykonać w systemie lekkich stelaży obudowanych płytą gipsowo-kartonową z wypełnieniem wełną mineralną w celu izolacji akustycznej. Należy wstawić nowe drzwi o szerokości w świetle 90 cm bez progów. Drzwi wejściowe do mieszkania należy poszerzyć do minimum 90 cm.

Kuchnia w obydwu wariantach ma zapewnioną przestrzeń manewrową. Pod fragment blatu zawierający zlew oraz płytę grzejną powinna być możliwość wjazdu wózkiem. Przy stole jadalni należy pozostawić miejsce dla osoby siedzącej na wózku.



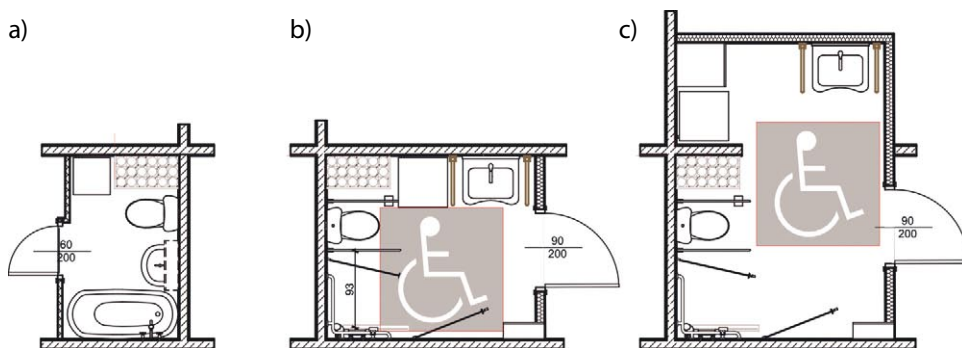
Rys. 8. Propozycje przebudowy: a) wariant 1, b) wariant 2



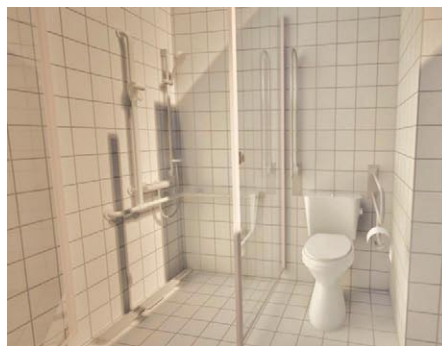
Rys. 9. Warianty wykorzystania małego pokoju

Kanapa w salonie ma funkcję spania i w wariantie 1 jest wysuwana do przodu, a w wariantie 2 rozkładana na bok. Sypialnia w wariantie 1 umożliwia wjazd do pokoju, ale bez możliwości obrotu, więc może być przeznaczona dla osoby sprawnej lub być wykorzystywana przez wszystkich jako pokój do pracy (rys. 9).

Najwięcej zmian zaproponowano w łazience. W pierwotnym układzie występowała wanna, szafka nad umywalką i nie było możliwości wykonania transferu bocznego na toaletę (rys. 10a). W zaproponowanej przebudowie (rys. 10b i c) przewidziano prysznic zredukowany do wpustu podłogowego i obudowy w formie przegród, które można złożyć na ścianę i dzięki temu obok toalety uzyska się wolną przestrzeń o szerokości 90 cm – miejsce na transfer boczny. W wariantie 1 pralka stoi obok umywalki, ale nie ma miejsca na szafkę,



Rys. 10. Propozycje przebudowy łazienki: a) istniejąca, b) wariant 1, c) wariant 2



Rys. 11. Wizualizacja łazienki w wariantie 2



Rys. 12. Wizualizacja proponowanego wariantu 2

dlatego w 2 wariantie łazienka jest powiększona i umożliwia swobodny dostęp na wózku do wszystkich urządzeń. Przy umywalce i prysznicu przewidziano montaż uchwyty stałych, a przy toalecie prawy uchwyt uchylny (rys. 11).

4. Podsumowanie

Ze względu na większą przestrzeń wygodniejszy do użytkowania dla osoby poruszającej się na wózku będzie wariant 2 (rys. 12). Redukcja drugiego pokoju powoduje, że mieszkanie będzie przewidziane dla jednej lub dwóch osób. Analiza przypadku pokazała, że projektowanie uniwersalne w odniesieniu do remontów i modernizacji budynków może istotnie przyczynić się do poprawy warunków funkcjonalno-użytkowych. Stopień możliwości wprowadzania zmian na obiektach jest różny, lecz działania te są niezbędne do zapewnienia dostępu do nich wszystkim potencjalnym użytkownikom.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r., nr 75, poz. 690, z późn. zm.)
- [2] Praca zbiorowa: Standardy dostępności budynków dla osób z niepełnosprawnościami uwzględniając koncepcję uniwersalnego projektowania – poradnik, Ministerstwo Rozwoju i Technologii, Warszawa, 2023
- [3] Kowalski K., Włócznik 2.0. Projektowanie bez barier, Warszawa, 2024
- [4] Kanoniczak M., W sprawie poprawy dostępności budynków mieszkalnych wielkopłytowych dla osób z ograniczoną sprawnością ruchową, Przegląd Budowlany 3-4/2023, str. 59-65
- [5] <https://lifts4u.pl/platformy-dla-niepełnosprawnych/platforma-przyschodowa-stratos/> (pobrano 20.03.2025)

Wady w robotach budowlanych – spojrzenie praktyczne w znaczeniu technicznym i prawnym

Defects in construction works – a practical view in the technical and legal sense

dr inż. Marcin Gajzler (ORCID: 0000-0001-5436-4342), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska, adw. Jakub Banach, Kancelaria Prawa budowlanego i kontraktów budowlanych Banach Sp.k.

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0976

Streszczenie: W artykule zaprezentowano problematykę występowania wad w robotach budowlanych, ich przyczyn, znaczenia i konsekwencji, a także wpływu na uczestników procesu budowlanego. Komentarz w artykule oparto na doświadczeniach z praktyki inżynierskiej, a także doświadczeniach w prawnej reprezentacji uczestników procesu budowlanego, w tym z związku z okolicznościami wystąpienia wad w robotach budowlanych.

Słowa kluczowe: wady robót budowlanych, jakość robót budowlanych, zagadnienia prawne.

Abstract: The article presents the issue of defects in construction works, their causes, significance and consequences, as well as the impact on the participants of the construction process. The commentary in the article is based on experience from engineering practice, as well as experience in the legal representation of participants in the construction process, including the circumstances of the occurrence of defects in construction works.

Keywords: construction defects, construction quality, legal issues.

1. Wprowadzenie

W ramach artykułu podjęto temat, z którym często spotykają się zarówno inżynierowie na budowie, jak i menadżerowie odpowiadający za złożone kontrakty. Wystąpienie wady w robotach budowlanych obecnie nie stanowi niestety okoliczności specjalnej. Okoliczność ta jest dość powszechna i wpisuje się poniekąd w sposób trwały w realizację przedsięwzięcia budowlanego. Zasadnym jest podejmowanie działań mających na celu redukcję wad, gdyż nie są one pożyteczne zarówno dla wykonawcy, jak i inwestora, z reguły powodują wzrost łącznych kosztów realizacji, zaburzenia ustalonego harmonogramu, a także przyczyniają się do obniżenia ogólnej oceny jakościowej wykonywanych prac.

W kontekście sztuki zarządzania projektami budowlanymi, łączącej kompetencje techniczne, zarządcze, ekonomiczne oraz znajomość reguł prawnych, dyskusja o wadach robót budowlanych sprowadza się do doskonalenia metod ich wczesnej diagnozy oraz ich eliminacji/naprawy z możliwie pełnym poszanowaniem interesów inwestora, projektanta, generalnego wykonawcy albo podwykonawcy, poszukując rozwiązania dogodnego dla możliwie szerokiego grona uczestników projektu. Specyfika zarządzania realizacją robót w szczególności przy dużych i złożonych projektach wykonawczych powoduje, że nie zawsze jest oczywiste dla uczestników procesu wykonawczego w jaki sposób działać by diagnozować wady możliwie wcześnie oraz jaką strategię wybrać dla eliminacji ujawnionych wad uwzględniając przy tym moment ich powstania i ujawnienia oraz wpływ tych decyzji na dobro projektu.

2. Pojęcie wady

Pojęcie wady można definiować z punktu widzenia praktycznego oraz z punktu widzenia prawnego [9]. Znaczenie praktyczne pojęcia wady nie jest standaryzowane i opiera się na określonych okolicznościach związanych z realizacją robót budowlanych, a po ich zakończeniu z ewentualnymi uciążliwościami i ograniczeniami w korzystaniu z obiektu [2, 6]. W trakcie wykonywania robót pojęcie wady w robotach budowlanych odwołuje się do [1, 3, 4, 8]:

- niepoprawnego sposobu ich wykonania, poprzez niezastosowanie się do reguł wiedzy i sztuki budowlanej, której reprezentantem są kanony spisane w podręcznikach czy opracowaniach branżowych. Ponadto niepoprawny sposób wykonania robót budowlanych jest utożsamiany z nieprzestrzeganiem tak ważnych w wielu procesach budowlanych reżimów technologicznych, co wobec często występującej presji czasowej powoduje istotne, negatywne konsekwencje;
 - wbudowania wadliwych materiałów i wyrobów, w szczególności posiadających braki, niezgodnych z przeznaczeniem, niespełniających wymagań im stawianym;
 - niezgodnego wykonania z zatwierdzoną dokumentacją projektową, w tym specyfikacjami wykonania i odbioru robót, poprzez stosowanie rozwiązań nieuprawnionych.
- Obok samego wykonania robót budowlanych wada może wynikać z przyjętych na etapie projektowania rozwiązań. Wprowadzie wskazano wcześniej, że wadą wykonania robót budowlanych będzie ogólnie ujmując wykonanie niezgodne

z dokumentacją projektową, to może zająć przypadek, w którym wykonanie w pełni zgodne z dokumentacją projektową będzie skutkowało wadliwością. Ma to miejsce w przypadku, gdy sama dokumentacja projektowa ma wady, w szczególności niepoprawne rozwiązania konstrukcyjne, materiałowe czy braki w opisie. Istnieje pewne prawdopodobieństwo, że przy doświadczonej kadrze pełniącej nadzór nad pracami wady dokumentacji projektowej zostaną zidentyfikowane i nastąpi ich usprawnienie jeszcze przed wykonaniem robót objętych tą dokumentacją.

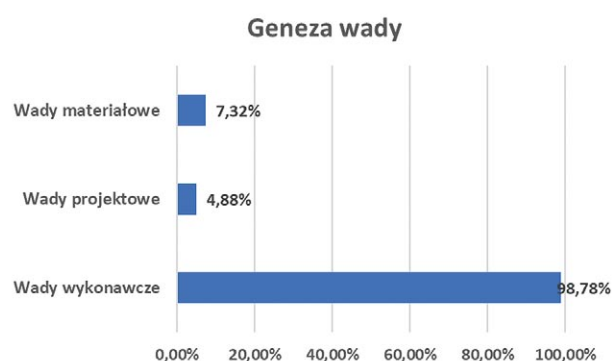
3. Kategorie wad w znaczeniu technicznym i ich konsekwencje

Wady w robotach budowlanych można klasyfikować w różny sposób. W jednej z częściej stosowanych klasyfikacji uwzględnia się:

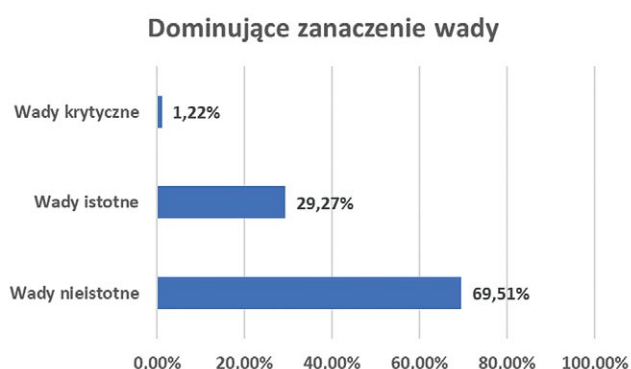
- genezę: wadę projektową, tj. wynikającą z niewłaściwego rozwiązania projektowego, wadę wykonawczą, tj. wynikającą z niewłaściwego wykonania robót budowlanych, materiałową, tj. wynikającą z wbudowania materiałów niewłaściwych, uszkodzonych lub niskiej jakości;
- możliwości usunięcia: wady naprawialne, gdzie możliwe jest wdrożenie prac usuwających wady, wady nienaprawialne, gdzie nie ma sposobów naprawy, a usunięcie wady wymaga wykonania rozbiórki i odtworzenia nowego elementu lub obiektu;
- znaczenie: wady istotne, które na etapie eksploatacji będą powodowały znaczne ograniczenia w możliwości zwykłego korzystania lub nawet takie korzystanie uniemożliwią (wady istotne – krytyczne), wady nieistotne, które na etapie eksploatacji nie powodują ograniczeń w korzystaniu jednak wpływają na cechy obiektu umniejszając jego wartości.

Z doświadczenia autorów przy ocenie stanu technicznego obiektów kubaturowych, tj. budynków mieszkalnych, użytkowych z lat 2022–2025 wynika, że praktycznie w każdym przypadku ocenianego budynku występowały wady, przy czym dominowały wady mające swoją genezę w procesach wykonawczych (rys. 1). Z analizowanej reprezentacji obejmującej 82 budynki w 98,78% przypadków występowały wady wykonawcze, w 4,88% przypadków występowały wady projektowe, a w 7,32% przypadków występowały wady materiałowe (dominującą genezą było wbudowanie materiałów niewłaściwie dobranych do zastosowania i warunków). Z tego wynika, że występują przypadki jednoczesnych wad o różnych genezach.

Jeśli przy ocenie uwzględnić znaczenie wady (rys. 2), w analizowanej reprezentacji rozkłada się to następująco: 69,51% przypadków stanowią wady nieistotne (aspekty estetyki zewnętrznej – spękania i odspojenia tynków zewnętrznych, estetyki wewnętrznej – przekroczenia dopuszczalnych poziomów odchyłek w pracach wykończeniowych), 29,27% przypadków stanowią wady istotne (zjawiska wilgotnościowe wynikające z nieprawidłowości wykonania hydroizolacji



Rys. 1. Częstość genezy wad budowlanych w ocenianych budynkach (opracowanie własne)



Rys. 2. Częstość istotności wad w ocenianych budynkach (opracowanie własne)

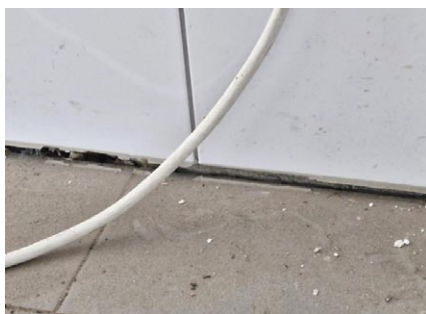
poziomych i pionowych, zjawiska osiadania warstw podłogowych aż do zniszczeń w związku z niedostatecznym zagęszczeniem warstw podsypkowych podłogi na gruncie). W jednym z analizowanych przypadków wystąpiły wady krytyczne związane z niewykonaniem kluczowych elementów konstrukcyjnych, co skutkowało wystąpieniem ryzyka katastrofy budowlanej całego budynku.

Rozpatrując możliwości usunięcia wad, praktycznie w każdym przypadku możliwości takie występowały. Jedynie w przypadku wystąpienia wady krytycznej możliwości usunięcia wad związane były z oceną opłacalności ekonomicznej wykonania naprawy wobec rozbiórki obiektu i wykonania go na nowo w sposób poprawny. Usunięcie wad generuje konieczność poniesienia różnych nakładów finansowych, ale również ograniczenia w korzystaniu związane z prowadzeniem prac naprawczych. Ciekawym spostrzeżeniem w wybranych przypadkach jest natomiast relacja ekonomiczna kosztów napraw do wartości związanych z genezą wystąpienia wady. Wartość związana z genezą wystąpienia wady, na etapie wykonania często mylnie i pozornie jest utożsamiana z możliwą oszczędnością. Zdrowy rozsądek nakazuje przyjąć, że geneza wystąpienia wady nie ma związku z poszukiwaniem oszczędności w wykonaniu robót, ale bardziej wynika z nieumyślnego działania.

Jako ciekawy przykład pokazujący relację kosztu naprawy do wartości związanej z genezą wady, gdzie ze względu

na brak faktycznej wiedzy przyjęto zaniechanie wykonawcze wynikające z pośpiechu w realizacji robót przedstawiono przypadek, w którym objaw wady polegał na osiadaniu warstw podłogowych oraz pęknięciach podłogi i ścianek w budynku inwentarskim związanym z hodowlą bydła mlecznego. Wada ujawniła się w okresie rocznej eksploatacji budynku w pomieszczeniach biurowych i technologicznych. Pierwsze objawy polegały na osiadaniu warstw podłogowych, co ujawniało się szczelinami na styku posadzki ze ścianą. W dalszej eksploatacji objawy intensyfikowały się poprzez dalsze osiadanie, pęknięcia posadzki oraz pęknięcia ścianek posadowionych na podbudowie betonowej (rys. 3, 4).

Rys. 3. Szczelina na styku podłogi i ścian zewnętrznych w pomieszczeniu technologicznym



Rys. 4. Pęknięcia ścianek działowych posadowionych na podbudowie betonowej



Przeprowadzone badania wykazały brak właściwego zagęszczenia warstw podsypkowych pod podbudową betonową. Pomimo potencjalnej przydatności zastosowanej warstwy podsypkowej pod podbudową betonową złożonej z piasków drobnych i średnich z domieszką żwiru ze względu na stan gruntu oraz określony sondą DPL stopień zagęszczenia ID w przedziale 0,33–0,40 (co pozwala przyjąć grunt średnio zagęszczony) oceniono ją jako wadliwie wykonaną.

Przechodząc do wniosków z analizowanego przypadku w związku ze stwierdzoną wadą, którą określono jako istotną, wyliczono koszt prac naprawczych na kwotę przekraczającą 250 000 zł netto, podczas gdy zaniechanie związane z zagęszczeniem warstw podsypki związane było z wartością prac około 1000 zł netto. Ponadto przeprowadzenie napraw w pomieszczeniach, gdzie występowały wady, związane było z innymi trudnościami niż techniczne wykonanie napraw, albowiem niezbędne było usunięcie linii technologicznej związanej z udojem bydła, co wobec konieczności jego prowadzenia wymuszało tymczasową przebudowę technologii.

Pomimo dość przykrego stwierdzenia, że wystąpienie wad w robotach budowlanych nie stanowi okoliczności specjalnej, każdorazowe ich wystąpienie wymusza podjęcie określonych prac naprawczych. Ich wykonanie wymaga z reguły wielokrotnionych nakładów względem wartości, jakie wystąpiłyby na etapie realizacyjnym, a ponadto wiąże się z innymi uciążliwościami, zwłaszcza gdy wada ujawnia się w okresie eksploatacji obiektu.

4. Wady robót budowlanych w znaczeniu prawnym

Z punktu widzenia reguł prawnych, podobnie jak z punktu widzenia techniki, wada stanowi niepożądaną cechę jakości obiektu lub procesu jego powstawania. Występowanie wad w robotach budowlanych albo wadliwe wykonywanie robót jest i będzie powszechne bowiem jest nierozdzielnie związane z aktywnością człowieka jako istoty niedoskonałej.

Występowanie wad przeważnie pociąga za sobą skutki polegające na ponoszeniu przez strony lub jedną ze stron umowy o roboty budowlane dodatkowych nieplanowanych kosztów naprawy poprzez staranie przywrócenia sprawom pożądanego biegu lub formy. Dostępne i opisane zasadami prawa środki usuwania wad polegają przede wszystkim na możliwości żądania przez osobę „uprawnioną” osiągnięcia przez osobę „obowiązaną” (najczęściej wykonawcę, ale nie zawsze) stanu rzeczy, w którym robota budowlana jest wolna od wady w szczególności poprzez: wprowadzenie poprawek, wykonanie robót ponownie, wykonanie w inny sposób, pozostawienie wad i dostosowanie ceny do niższej jakości robót poprzez jej obniżenie, a czasem nawet wykonania robót przez innego wykonawcę lub rezygnację z zamówienia robót.

Metody usuwania wad mogą być wybierane pojedynczo, a nierzadko również są łączone w zależności od typu wad i ich rozległości. Starania zmierzające do usuwania wad niosą ze sobą dodatkowe koszty i z tego powodu, że przeważnie każdy chce odsunąć od siebie ten obowiązek, dziedzinie, jaką jest prawo, przypisano rolę takiego wsparcia w opisie rzeczywistości, by w sposób logiczny rozwiązać tę kwestię i wspomóc w ustaleniu podziału odpowiedzialności za wadę oraz doborze środków zaradczych. Prawo stara się to czynić poprzez:

- udzielenie wytycznych dla potrzeb zrozumienia istoty rzeczy poprzez klasyfikację rodzajów wad – odpowiedź na pytanie na czym polega wada?
- udzielenie wytycznych dla potrzeby opisu skutków wystąpienia wad oraz możliwości i kosztów ich usunięcia,
- udzielenie wytycznych dla potrzeby ustalenia pierwotnej przyczyny wystąpienia wady i poprzez teorię „związku przyczynowo-skutkowego” oraz „winy” celem odpowiedzi na pytanie, jakie i czyje zachowanie (działanie albo zaniechanie)/ewentualnie, jakie zdarzenie stanowi przyczynę wystąpienia wady?

- określenia kręgu osób poszkodowanych tj. osoby/grupy osób, która doświadcza uszczerbku w swoim majątku na skutek tego, że wybrane roboty są wadliwe.
- określenie standardów w zakresie sposobów usuwania/naprawy wad – uwolnienia robót lub obiektu od cech niepożądanych.

Powyższa kolejność rozumowania pozwala przeprowadzić uczestników procesu wykonywania robót budowlanych przez proces analityczny i decyzyjny dotyczący wyboru metody usunięcia wady oraz przypisania uczestnikom procesu wykonawczego kosztów ewentualnej likwidacji wad oraz wyboru osoby zobowiązanej do usunięcia wady albo zrekompensowania utraty przez roboty pełnej wartości na skutek wystąpienia wady.

Wcześniejsza lista stanowi także propozycję dostępnej z punktu widzenia porządku prawnego klasyfikacji wad. Należy zastrzec, że różne systemy prawne mogą dostarczać różnych koncepcji systemowych dla strategii eliminacji wad.

Pamiętać także należy, że rzeczywistość kontraktu budowlanego tworzona jest przez normy płynące z przepisów prawa (ustaw i innych aktów), jak i umów łączących strony [5, 7]. Ostatecznie wynik decydowania o sposobie usuwania wad będzie wypadkową analiz tych dwóch źródeł norm wiążących uczestników procesu wykonawczego. Z perspektywy wyboru środków zaradczych dla robót budowlanych wykonywanych wadliwie nie bez znaczenia jest również to, w jakim momencie procesu wykonawczego wady są ujawniane.

W rozumieniu prawnym (ale także praktyki budowlanej) wadliwość robót budowlanych lub ukończonego obiektu należy rozumieć [7, 9, 10] jako ich nienależyte wykonywanie (proces ciągły) lub wykonanie (skutek) w szczególności poprzez:

- pozbawienie robót lub ukończonego obiektu budowlanego określonych właściwości, gdy roboty budowlane są zdadne do użytku, ale nie spełniają wszystkich wymagań technicznych określonych w umowie. Oznacza to, że można z nich korzystać, ale ich jakość, trwałość lub funkcjonalność odbiega od oczekiwań stron (np. nierówna posadzka magazynowa);
- niepełność/niekompletność robót lub ukończonego obiektu budowlanego, gdy obiekt lub jego część została wykonana, ale brakuje istotnych elementów, przez co nie można w pełni z niego korzystać. W odróżnieniu od nieprzydatności robót, problemem nie jest ich wadliwość, ale niewykonanie wszystkich prac (np. wykonanie budynku bez jednej z wymaganych instalacji, o którą można jednak budynek uzupełnić);
- nieprzydatność robót lub ukończonego obiektu budowlanego do określonego celu np. oznaczonego przez strony w umowie o roboty budowlane, co odnosi się do sytuacji, w której obiekt (lub jego część) nie nadaje się do użytku w sposób zgodny z przeznaczeniem. Jest to wada o charakterze kwalifikowanym – roboty budowlane w ogóle nie

mogą spełniać swojej funkcji, przez co zamawiający nie ma praktycznej możliwości ich wykorzystania (np. brak wymaganej wytrzymałości posadzki magazynowej i nieprzydatność magazynu do jego używania przez sprzęt o oznaczonej masie całkowitej).

Uzasadnione jest postawienie tezy, że typ wady i generowane przez nią skutki determinują logicznie właściwy (najbardziej optymalny) sposób usunięcia wady, który podpieryany jest normami płynącymi z przepisów prawa.

Rozwiązaniem oczekiwanym przez system prawny w aspekcie usuwania wad jest wybór metody skutecznej i stanowiącej kompromis pomiędzy stopniem uciążliwości wybranej metody usunięcia wady dla obowiązanego (możliwie niskim), a celem wykonania robót. Cel wykonania robót można rozumieć jako dobro projektu, tj. stopień osiągnięcia celu umowy wykonawcy i inwestora (wytyczenie m.in. takimi kryteriami jak: termin ukończenia robót, koszt robót, jakość robót, uzasadnione planowane optymalizacje etc.). Nierzadko jednak szczegółowa treść umowy o roboty budowlane znacząco zmienia porządek usuwania wad w stosunku do stanu optymalnego wynikającego z przepisów prawa i modyfikuje ten tryb w sposób neutralny dla stron umowy albo w sposób mniej korzystny (bardziej uciążliwy) dla stron.

Z punktu widzenia procesu wykonawczego ujawnienie wady może nastąpić przed ukończeniem przedmiotu umowy i odbiorem robót. Wówczas poza podstawowymi uprawnieniami zamawiającego polegającymi na możliwości wnioskowania o naprawę/usunięcie wady albo wykonanie robót ponownie zamawiającemu, po odpowiednim powiadomieniu wykonawcy, może przysługiwać uprawnienie do odstąpienia od umowy albo zlecenie robót wykonywanych wadliwie innemu podmiotowi na koszt i ryzyko wykonawcy wykonującemu roboty wadliwie. Umowa stron, zwłaszcza w zakresie trybu wzajemnej komunikacji stron oraz składania powiadomień umownych, może kształtować te uprawnienia w sposób odmienny.

W kontekście ustawowego obowiązku zamawiającego do odbioru robót wymogi procedury odbiorowej robót dostarczają dodatkowego kryterium rozróżnienia wad. W kontekście odbioru robót wady mogą być istotne, tj. takie, których istnienie wyklucza możliwość skutecznego odbioru robót oraz nieistotne, tj. takie, które nadal wymagają usunięcia, jednak ich istnienie nie obniża wartości użytkowych obiektu, nie wyłącza normalnego wykorzystania robót zgodnie z celem albo nie odbiera robotom cech zastrzeżonych w umowie, zmniejszając ich wartość.

To rozróżnienie w praktyce dostarczać może wielu trudności, a zdolność do oceny sytuacji jest istotna, bowiem od potencjalnej przeszkody odbiorowej zależy możliwość wymagalności i dochodzenia zapłaty wynagrodzenia oraz rozpoczęcie biegu gwarancji.

Ujawnienie wady robót po ich odbiorze w okresie biegu rękojmi sprzedaży oraz okresu gwarancyjnego powoduje

powstanie uprawnienia do dochodzenia przez zamawiającego albo użytkownika robót świadczeń naprawczych wykonawcy zgodnie z oświadczeniem gwarancyjnym wyrażonym w umowie o roboty budowlane albo na zasadach opisanych w ustawie (naprawa, zamiana, obniżenie ceny).

Niekoniecznie wybór najtańszej, najmniej uciążliwej dla wykonawcy metody usunięcia wady jest możliwym i dobrym rozwiązaniem z punktu widzenia interesu zamawiającego i celu umowy. Wybór metody usunięcia wady należy przeważnie do zamawiającego i jest zależny od szczegółowych postanowień umownych oraz zdolności zamawiającego do uzasadnienia swojej decyzji, która może być kwestionowana (np. na etapie sądowym), np. z uwagi na jej konsekwencje logistyczne lub finansowe dla osoby obowiązanej do wdrożenia polecenia naprawy.

Wykonywanie robót budowlanych w sposób wadliwy może pociągać za sobą ciąg zdarzeń o niekorzystnych skutkach dla uczestników procesu wykonawczego. Przykładem może być wystąpienie wad, które skutkują przeszkodą dla innych wykonawców w przystąpieniu do rozpoczęcia robót powiązanych bądź opóźniają odbiory robót.

Skala projektów budowlanych, kosztowność robót, a często i dynamika sytuacji sprawia, że stronie zainteresowanej usunięciem wady może zależeć na przerwaniu pogłębiających się skutków wystąpienia wad – i wówczas rozwiązania bardziej radykalne, np. zmiana technologii wykonywania robót (sposobu wykonywania robót) bądź zmiana wykonawcy w pełnym lub ograniczonym zakresie robót może być uzasadniona. W takich sytuacjach pamiętać należy o konieczności wykonania przez decydenta dostatecznie rzetelnej analizy by móc uzasadnić celowość i proporcjonalność własnego wyboru.

Nie zawsze wada jest następstwem zachowania wykonawcy i nie zawsze na wykonawcy spoczywa odpowiedzialność za wystąpienie wady i dalej ponoszenie kosztu jej usunięcia. Każda wada powinna być przeanalizowana pod kątem przyczyny jej powstania oraz podmiotu odpowiedzialnego za koszt jej usunięcia. Zasadą prawa jest odpowiadanie za następstwa zdarzeń, za które ponosi się odpowiedzialność oraz zachowania osób, którym powierza się wykonanie własnych obowiązków umownych. Postanowienia umowne mogą modyfikować zakres tej odpowiedzialności, np. poprzez poszerzenie kręgu podmiotów, których szkodliwe zachowanie może skutkować odpowiedzialnością wykonawcy na zasadzie ryzyka. Standardowo wykonawca jest obowiązany usunąć wadę we własnych robotach choćby nie było możliwe przypisanie jego odpowiedzialności za powstanie takiej wady, bowiem to na wykonawcy spoczywa obowiązek umowny ukończenia robót i usunięcia wad. W takim przypadku do uzgodnień stron umowy o roboty budowlane należy ustalenie sposobu zapłaty wykonawcy za usunięcie wad od niego niezależnych. W przypadku braku porozumienia obowiązek ukończenia robót spoczywa na wykonawcy, a wykonawca swoje roszczenie o zapłatę

za usuwanie wad może skierować do rozstrzygnięcia przez właściwy sąd, ustalając obowiązane do naprawy szkody wykonawcy poniesionej na skutek usunięcia wady. Nawet jeśli wykonawca odpowiada za usunięcie wad, których nie spowodował, a koszt usuwania wad obciąża podmiot, który przyczynił się do powstania wady, wykonawca nie może odpowiadać za skutki spowodowanego tym nienależytego wykonania umowy, chyba że inaczej zadeklarował w umowie z zamawiającym. Przykładem są wady wynikające z wadliwości wykorzystanych materiałów dostarczonych przez zamawiającego, jeśli wykonawca nie miał możliwości dostrzeżenia ich wadliwości.

5. Podsumowanie

Bezsporne jest stwierdzenie, że wady robót budowlanych nie stanowią okoliczności specjalnej, jak również że celowe jest ich unikanie, gdyż są niepożądane z punktu widzenia wszystkich uczestników procesu budowlanego. Rozpatrując wady w znaczeniu techniki budowlanej, istotne jest określenie ich przyczyn, sposobu ich eliminacji i przywrócenia stanu właściwego. Doświadczenia wskazują, że w znakomitej większości przypadków możliwe jest wdrożenie prac naprawczych – o różnym zakresie i poziomie skomplikowania. Wady w znaczeniu prawnym stanowią zagadnienie bardziej złożone, gdyż jak wykazano, pociągają za sobą dodatkowe okoliczności m.in. związane z ustaleniem odpowiedzialności, czy ewentualnych roszczeń. Jak wynika z doświadczeń praktycznych zagadnienia techniczne i prawne łączą się w procesie związanym z wystąpieniem wad, stąd zasadne jest pojęcie zagadnień zarówno inżynierskich, jak i prawnych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Baryła A., Obolewicz J., Czynniki wpływające na jakość robót budowlanych, *Builder* 2/2023, str. 9–11
- [2] Chrabczyński G., Heine A., Dobra praktyka inżynierska w odniesieniu do wad, *Inżynier Budownictwa* 10/2006, str. 28–31
- [3] Czarnecki L., Uszkodzenia i naprawy posadzek przemysłowych, *Materiały Budowlane* 9/2008, str. 20–24, 26–27
- [4] Czupajłło J., *Usterki w pracach budowlanych i wykończeniowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2017
- [5] Jówko A., Kruska L., Więclaw-Bator L., Umowy o roboty budowlane i usługi związane z realizacją przedsięwzięć budowlanych. Wykaz najczęściej spotykanych nieprawidłowości i uchybień, Wolters Kluwer, Warszawa, 2021
- [6] Kuchta K., Tylek I., Rawska-Skotniczny A., Przyczyny i metody zapobiegania błędom ludzkim w inżynierskiej działalności budowlanej, *Przegląd Budowlany* 5/2017, str. 17–23
- [7] Oleksińska-Dąbrowska P., Onopiuk A., Zadykowicz-Sokół K., *Klauzule umowne w robotach budowlanych w Kodeksie cywilnym i Prawie zamówień publicznych. Komentarz praktyczny z orzecnictwem*, C.H. Beck, Warszawa, 2024
- [8] Plebankiewicz E., Zima K., Malara J., Biel S., Analiza statystyczna usterek w budynkach mieszkalnych, *Materiały Budowlane* 10/2018, str. 43–46
- [9] Więclaw-Bator L., Wady wykonywanych robót budowlanych – analiza orzecznictwa, *Budownictwo i Prawo* 1/2019, str. 32–36
- [10] Ustawa z dnia 23 kwietnia 1964 r. Kodeks cywilny

Ocena planowania i nadzoru nad działaniami operacyjnymi w świetle Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem ISO 45001 w przedsiębiorstwach budowlanych w Polsce

Evaluation of planning and supervision over operational activities in the light of the ISO 45001 Safety Management System in construction companies in Poland

dr inż. Piotr Nowotarski (ORCID: 0000-0002-6782-7147), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0977

Streszczenie: Standard ISO 45001 stanowi rozpoznawalny znak uznawany na całej arenie międzynarodowej związany z utrzymaniem systemu zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy w przedsiębiorstwach działających na globalnym rynku zarówno produktów, jak i usług. W artykule przedstawiono sposób, w jaki dokonuje się oceny punktu 8.1 normy, tj. procesów planowania i nadzoru nad działaniami operacyjnymi. Przybliżono praktyczne podejście do oceny kryteriów normowych poprzez wskazanie przykładowych dowodów na spełnienie wymagań, które weryfikowane są na etapie przeprowadzenia audytów w przedsiębiorstwach. Dodatkowo wskazano najczęściej podnoszone wady oraz zalety wykonania certyfikacji w ramach systemu zarządzania BHP wśród przedsiębiorstw budowlanych sektora MŚP w Polsce, w oparciu o badania własne autora, które to wyniki wskazują na liczne korzyści płynące z posiadania certyfikowanego systemu ISO 45001.

Słowa kluczowe: Systemy zarządzania bezpieczeństwem ISO 45001:2015, przedsiębiorstwa budowlane, certyfikacja ISO.

Abstract: The ISO 45001 standard is a recognizable sign recognized throughout the international arena related to maintaining the occupational health and safety management system in enterprises operating on the global market of both products and services. The article presents the method of assessing point 8.1 of the standard: planning and supervision processes over operational activities. The practical approach to the assessment of standard criteria was presented by indicating examples of evidence that are verified at the stage of audits in enterprises. In addition, the most frequently raised disadvantages and advantages of certification under the OHS management system among construction companies in the SME sector in Poland were indicated, based on the author's own research, which results indicate numerous benefits of having a certified ISO 45001 system.

Keywords: Health and Safety Management Systems ISO 45001: 2015, construction companies, ISO certification.

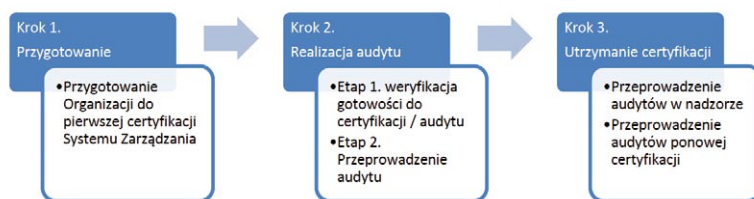
1. Wprowadzenie

ISO 45001 to standard wprowadzony w marcu 2018 roku przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną. Norma charakteryzuje wymagania odnoszące się do systemu zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Swoim zakresem obejmuje ona zarówno praktyczne podejście, które przekłada się na bezpieczeństwo osób zatrudnionych w przedsiębiorstwach zwracając uwagę na kwestie monitorowania i optymalizowania obszarów związanych z BHP. Dzięki działaniom zapewnającym i podnoszącym bezpieczeństwo w miejscach pracy, przedsiębiorstwa zwiększają swoją konkurencyjność na rynku oraz poprawiają swój wizerunek, a przede wszystkim zmniejszają ryzyko wystąpienia wypadków i zdarzeń potencjalnie wypadkowych poprzez stałe zobowiązanie do doskonalenia procesów [1, 2, 3], co jest szczególnie istotne w aspekcie poziomu wypadkowości branży budowlanej [4, 5].

Do norm, które były powszechnie stosowane, szeroko rozpoznawalne i określały zasady i wymagania dotyczące systemu BHP zanim opublikowano standard ISO 45001, zaliczyć należy:

- BS OHSAS 18001 [6] – standard opublikowany przez British Standards Institution w roku 1999 oraz aktualizowany i ponownie wydany w roku 2007. Opisany w normie OHSAS 18001 System Zarządzania Bezpieczeństwem i Higieną Pracy oparty był na klasycznej dla zarządzania jakością filozofii ciągłego doskonalenia zgodnie z kołem Deminga;
- PN-N 18001:2004 [7] – polski standard opublikowany przez Polski Komitet Normalizacyjny (PKN) po raz pierwszy w roku 1999, później w roku 2004 nowelizowany i w znacznej mierze podobny do wspomnianego BS OHSAS 18001, także oparty na filozofii ciągłego doskonalenia. Obie normy były prawnie identyczne, dlatego traktowane były równorzędnie. Zmiany w zakresie dostępnych systemów

Rys. 1. Schemat procesu wdrożenia i utrzymania certyfikacji systemu zarządzania [8]



zarządzania nastąpiły 12 marca 2018 roku. Została wtedy wydana zharmonizowana norma dotycząca Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem i Higieną Pracy – ISO 45001:2018, która zastąpiła poprzednie standardy. Od oficjalnej daty publikacji normy liczony był okres przejściowy, w którym można było dostosować się do nowych wymagań. Z założenia wszystkie przedsiębiorstwa, które posiadały certyfikat systemu zarządzania BHP wg wymagań BS OHSAS 18001 oraz PN-N 18001 i chciały zachować jego ważność, zobligowane były poddać dotychczas funkcjonujący system procesowi aktualizacji do standardu ISO 45001, co miało nastąpić do dnia 30 września 2021 roku.

Aktualnie przedsiębiorstwo chcąc uzyskać certyfikat systemu zarządzania, zobligowane jest do przeprowadzenia procedury certyfikującej zgodnej ze standardem ISO 45001. Procedura wdrożenia certyfikacji i jego utrzymania jest zbieżna z powszechnie stosowaną w ramach certyfikacji pozostałych popularnych systemów zarządzania (rys. 1), w tym także ISO 9001, który to standard odnosi się typowo do zagadnień produkcyjno-operacyjnych w aspekcie jakości i zadowolenia klienta [8].

2. Ocena planowania i nadzoru nad działaniami operacyjnymi w świetle Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem ISO 45001

Proces wdrożenia i utrzymania certyfikacji ISO 45001 wymaga spełnienia wymagań normy. Podczas audytów sprawdzenie czy organizacja prowadzi działania zgodnie ze standardem, którego dotyczy certyfikacja sprowadza się do weryfikacji czy wymagania wskazane w normie są spełnione. W tym celu w toku działań audytowych dokonuje się weryfikacji poszczególnych kryteriów normowych poszukując dowodów na ich spełnienie [9]. Dowody, w zależności od rodzaju działalności podejmowanej przez organizację, oraz miejsca audytu (np. plac budowy czy biuro projektowe) mogą być odmienne z uwagi na charakter prowadzonych prac i czynności.

Planowanie i nadzór nad działaniami operacyjnymi stanowią punkt 8.1 normy ISO 45001. W ramach ich oceny kluczowe jest zweryfikowanie czy działalność organizacji w sposób praktyczny uwzględnia stawiane w normie wymagania, co w przypadku firm budowlanych stanowi wyzwanie związane ze specyfiką procesu budowlanego oraz możliwych do podjęcia w toku realizacji procesu inwestycyjnych działań. Przykłady dokumentów, jakich można użyć w celu dokonania pozytywnej oceny działań operacyjnych, zgodnie z zakreślonym w normie podziałem na podrozdziały pod kątem spełnienia wymagań normowych

zestawiono w tabeli 1. Przykłady sformułowano pod kątem branży budowlanej w oparciu o badania autora realizowane przy okazji odbywania audytów certyfikujących oraz audytów w nadzorze w organizacjach budowlanych w latach 2021–2024.

Podane w tabeli 1 przykłady służą potwierdzeniu, że audytowana organizacja spełnia wymagania w zakresie punktu 8.1 Planowanie i nadzór nad działaniami operacyjnymi stanowią normy ISO 45001. W toku oceny nie zawsze pojawiają się wszystkie wskazane w tabeli dokumenty, które wynikać będą ze specyfiki danego procesu poddanego procesowi weryfikacji. Istnieje możliwość, że pojawią się inne dokumenty i okoliczności, zastępujące wskazane wcześniej, równorzędnie potwierdzające zapewnienie konkretnych wymagań. Każdorazowo niezbędne jest ocenę przez audytora przedstawionych dowodów w kontekście rodzaju procesu i sposobu jego nadzoru przez organizację.

3. Wady i zalety certyfikacji systemu zarządzania zgodnego z ISO 45001

W ramach prac badawczych związanych z certyfikacją systemów zarządzania zgodnych z ISO 45001 w przedsiębiorstwach sektora budowlanego wykonano w latach 2021–2024 badania ankietowe pośrednie zmierzające do dokonania oceny efektów wdrożenia i utrzymania systemu zarządzania. Badania prowadzono na grupie 31 przedsiębiorstw z sektora MŚP. Wśród badanych firm 3 były na etapie wdrożenia systemu, pozostałe 28 utrzymywały system powyżej 1 roku (posiadały doświadczenie w utrzymaniu systemu zarządzania według ISO 45001). Wszystkie badane organizacje swoje prace wykonywały w charakterze podwykonawców, a audytowane procesy (zakresy certyfikacji) dotyczyły bezpośrednio plac zleconych przez podmioty zewnętrzne. W toku przeprowadzonych badań w organizacjach wskazywano wady i zalety wdrożenia i utrzymania systemu zarządzania według ISO 45001 (rys. 2).

Z powyższego zestawienia wynika, że z perspektywy przedsiębiorstw, system zarządzania ISO 45001 w sposób istotny przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa w organizacji w toku realizowanych procesów. Jest to szczególnie ważne w branży budowlanej z uwagi na relatywnie wysoki poziom wypadkowości odnotowywany w Polsce [10–12] w porównaniu do innych sektorów gospodarki. W zestawieniu wad zwraca uwagę kwestia związana z możliwością utrzymania i pozyskania nowych klientów, co wskazuje na ogólnie obserwowany w branży wzrost wymagań i poziomu BHP wyrażony

Tabela 1. Przykłady dokumentów służących potwierdzeniu spełnienia wymagań punktu 8.1 normy ISO 45001

Wymaganie normowe pkt. 8.1 normy ISO 45001:2008 – planowanie i nadzór nad działaniami operacyjnymi	Dowody służące potwierdzeniu spełnienia wymagania normowego
8.1.1 Postanowienia ogólne Organizacja powinna zaplanować, wdrożyć, nadzorować i utrzymywać procesy potrzebne do spełnienia wymagań systemu zarządzania BHP oraz wdrożyć działania określone w Rozdziale 6, przez: a) ustalenie kryteriów dla procesów; b) wdrożenie nadzoru nad procesami zgodnie z kryteriami; c) utrzymywanie i przechowywanie udokumentowanych informacji w zakresie niezbędnym do uzyskania pewności, że procesy zostały zrealizowane tak, jak to zaplanowano; d) dostosowywanie pracy do pracowników. W miejscach pracy, w których prowadzą działalność inni pracodawcy, organizacja powinna koordynować odpowiednie części systemu zarządzania BHP z tymi Organizacjami.	• Instrukcja BHP pracy na konkretnym stanowisku pracy. • Karta charakterystyki i/lub karta bezpieczeństwa chemicznego konkretnej substancji wykorzystywanej podczas prac w Organizacji. • Potwierdzenie sprawności wykorzystywanych maszyn, urządzeń, sprzętów np.: – karta kontroli konkretnej maszyny, urządzenia, pojazdu, wyposażenia (np. wiertnica, szlifierka, drukarka, samochód, regał itp.) – tabliczka informacyjna i potwierdzenie dokonania przeglądu rusztowania. • Raporty z wykonania pomiarów środowiska pracy, np. hałas, oświetlenie, stan powietrza. • Dokument dotyczący zlecenia wykonania pracy, np. Pozwolenie/polecenie – zgodnie z odrębnymi przepisami.
8.1.2 Eliminowanie zagrożeń i ograniczanie ryzyk dotyczących BHP Organizacja powinna ustanowić, wdrożyć i utrzymywać proces(-y) eliminowania zagrożeń oraz ograniczania ryzyk dotyczących BHP z użyciem środków ograniczających te ryzyka według następującej hierarchii: a) eliminowanie zagrożenia; b) zastępowanie mniej niebezpiecznymi procesami, działaniami operacyjnymi, materiałami lub mniej niebezpiecznym wyposażeniem; c) stosowanie technicznych i organizacyjnych środków ograniczających ryzyko; d) stosowanie administracyjnych środków ograniczających ryzyko, w tym szkoleń; e) stosowanie odpowiednich środków ochrony indywidualnej.	• Ocena ryzyka zawodowego na konkretnym stanowisku pracy dotyczący zakresu audytu. • Instrukcji Bezpiecznego Wykonywania Robót dla procesów będących przedmiotem certyfikacji. • Plan Bezpieczeństwa i Ochrony Zdrowia dla budowy/robót budowlanych, których dotyczy oceniany proces. • Zarządzenie/procedura dotycząca działań w sytuacji wystąpienia zagrożenia lub ryzyka BHP. • Potwierdzenia pogadek/szkoleń/narad dotyczących ocenianego procesu w zakresie zagrożeń i ryzyk BHP • Notatki z obserwacji poczynionych przez audytora podczas wizyty w Organizacji dotyczące kwestii zagrożeń i ryzyk BHP np.: – przykład stosowanie środków ochrony zbiorowej/indywidualnej zgodnie z przyjętymi standardami, – przykład realizacji robót w sposób zgodny z dokumentacją procesu (w szczególności BIOZ/IBWR).
8.1.3 Zarządzanie zmianą Organizacja powinna ustanowić proces(-y) wprowadzania i nadzorowania planowanych tymczasowych i stałych zmian, które wpływają na efekty działania w zakresie BHP, obejmujące: a) nowe wyroby, usługi i procesy lub zmiany w istniejących wyrobach, usługach i procesach, obejmujące: – lokalizację miejsca pracy i jego otoczenia; – organizację pracy; – warunki pracy; – wyposażenie; – siłę roboczą; b) zmiany wymagań prawnych i innych wymagań; c) zmiany w wiedzy lub informacjach o zagrożeniach i ryzykach dotyczących BHP; d) rozwój wiedzy i technologii. Organizacja powinna dokonywać przeglądu konsekwencji niezamierzonych zmian, podejmując, w razie potrzeby, działania w celu ograniczenia niepożądanych skutków.	• Zarządzenie/procedura dotycząca planowania i nadzoru nad działaniami operacyjnymi. • Raport/protokół z posiedzenia komisji BHP. • Zarządzenie/przydział dotyczący odzieży i środków ochrony indywidualnej. • Ocena ryzyk i szans w związku ze zmianą sposobu wykonywania czynności w danym procesie. • Potwierdzenia konkretnych działań operacyjnych w zakresie zarządzania w aspekcie BHP np.: – mail/notatka/protokół w sprawie zmiany lokalizacji, organizacji warunków, niezbędnego wyposażenia przy realizacji danej pracy, – mail/notatka/protokół w sprawie zmian/aktualizacji wymagań prawnych lub innych, – mail/notatka/protokół w sprawie zmian/opracowania instrukcji eksploatacji maszyn/urządzeń/innych, – mail/notatka/protokół w sprawie potencjalnych konsekwencji niezamierzonych zmian oraz analiza potencjalnych skutków organizacji procesu audytowanego.
8.1.4 Zakupy 8.1.4.1 Postanowienia ogólne Organizacja powinna ustanowić, wdrożyć i utrzymywać proces(-y) nadzorowania zakupów wyrobów i usług, aby zapewnić ich zgodność z systemem zarządzania BHP.	• Rejestr dostawców i/lub podwykonawców dostarczających produkty/usługi na rzecz audytowanej organizacji. • Przykładowa karta oceny dostawcy i/lub podwykonawcy dostarczającego usługi w zakresie BHP.
8.1.4.2 Wykonawcy Organizacja powinna koordynować swoje proces(-y) zakupów ze swoimi wykonawcami w celu identyfikowania zagrożeń oraz oceny i nadzorowania ryzyk dotyczących BHP, wynikających z: a) działań i operacji wykonawców, które mają wpływ na organizację; b) działań i operacji organizacji, które mają wpływ na pracowników wykonawców; c) działań i operacji wykonawców, które mają wpływ na inne strony zainteresowane występujące w miejscu pracy. Organizacja powinna zapewnić, że wymagania jej systemu zarządzania BHP są spełnione przez wykonawców i ich pracowników. W procesie(-ach) zakupów realizowanym(-ych) w organizacji należy definiować i stosować kryteria bezpieczeństwa i higieny pracy do wyboru wykonawców.	• Procedura systemowa/zarządzenie dotyczące sposobu dokonywania zakupów i zamówień związanych z audytowanym procesem. • Procedura systemowa/zarządzenie określające sposób oraz kryteria dokonywanej oceny wykonawców i/lub podwykonawców. • Procedura systemowa/zarządzenie określające zakres nadzoru nad zleceniami zewnętrznymi. • Umowa zawarta z wykonawcą i/lub podwykonawcą w zakresie kwestii dotyczących BHP. • Oświadczenie dostawcy i/lub podwykonawcy w zakresie stosowania się do wymagań normy ISO 45001 i/lub wymagań systemowych Organizacji poddanej procesowi audytu. • Faktura zakupu środków ochrony indywidualnej od dostawcy, którego kartę oceny weryfikowano. • Pozwolenie na pracę dotyczące procesu poddanego certyfikacji. • Potwierdzenia konkretnych działań w zakresie zarządzania zakupami, zleceniami na zewnątrz oraz podwykonawcami w aspekcie BHP np.: – mail/notatka/protokół w zakresie ustalenia sposobu wykonania prac na konkretnej budowie, w aspekcie kwestii BHP, – notatka z narady dostawcy/podwykonawcy w aspekcie kwestii BHP.
8.1.4.3 Zlecenie na zewnątrz Organizacja powinna zapewnić, że zlecane na zewnątrz funkcje i procesy są nadzorowane. Organizacja powinna zapewnić, że ustalenia dotyczące zlecenia na zewnątrz są spójne z wymaganiami prawnymi i innymi wymaganiami oraz z osiąganiem zamierzonych wyników systemu zarządzania BHP. Rodzaj oraz zakres nadzoru, jakie należy zastosować do tych funkcji i procesów, powinny być zdefiniowane w systemie zarządzania BHP.	

przez konieczność okazania certyfikatu ISO 45001. W zakresie wad uwagę zwraca wzrost biurokracji i obciążenia pracą, co związane jest z koniecznością odpowiedniego

dokumentowania czynności realizowanych w organizacji w aspekcie BHP w celu ich późniejszej weryfikacji na etapie audytów certyfikacji czy nadzoru. W przypadku większych

Rys. 2. Wyniki ankiety dotyczącej wpływu systemu BHP – zalety i wady (opracowanie własne)

przedsiębiorstw wymaga to niejednokrotnie zatrudnienia dodatkowych osób, lub nawiązania współpracy z organizacjami wspierającymi wdrożenie i utrzymanie systemu, co także podnosi koszty samej certyfikacji i jej utrzymania.

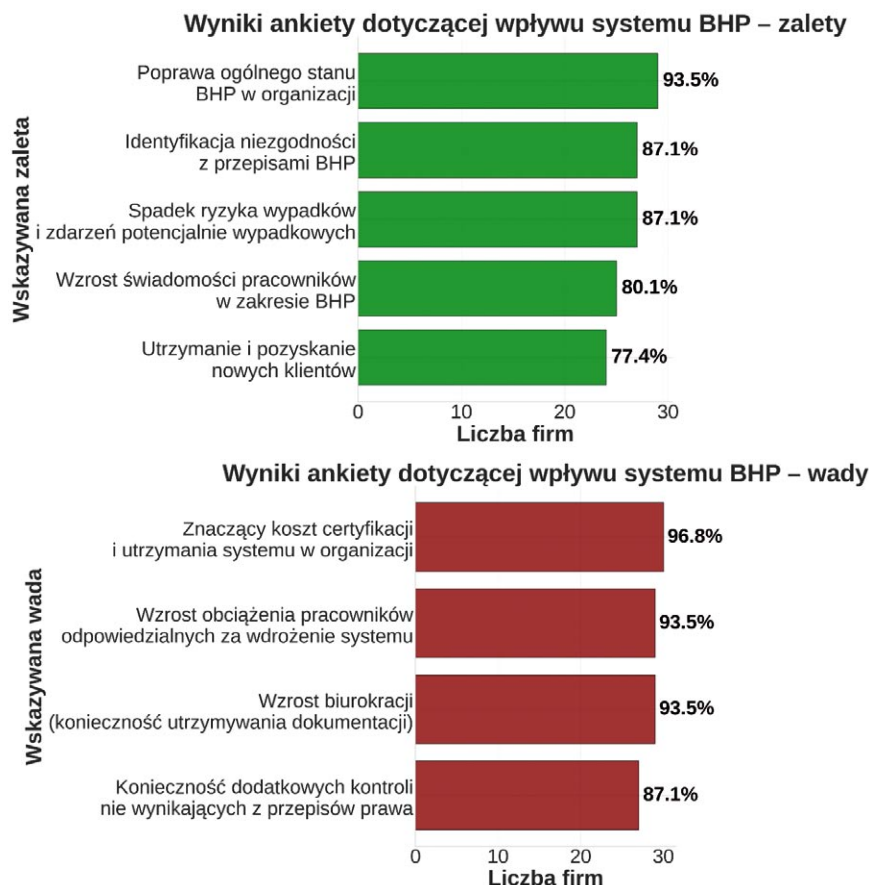
Niezależnie od wskazanych wad ogólna ocena możliwości jakie daje system ISO 45001 przez przedsiębiorstwa budowlane jest pozytywna, co daje nadzieje na ogólną poprawę stanu BHP w branży oraz daje nadzieje na coraz mniejszy poziom wypadkowości, zwłaszcza w organizacjach, które wdrażają i utrzymują omawiany system.

4. Podsumowanie

Certyfikacja oraz utrzymanie systemu zarządzania zgodnego z normą ISO 45001 wymaga spełnienia kryteriów określonych precyzyjnie w normie. W zakresie punktu dotyczącego planowania i nadzoru nad działaniami operacyjnymi dowody dotyczą dokumentów instrukcji procedur bezpośrednio powiązanych z wykonywanymi czynnościami w procesach, których dotyczy certyfikacja. Dodatkowo istotne jest, aby zachowywać na potrzeby audytu notatki i korespondencję powiązaną z kwestiami BHP, które to pozwalają na pozytywną weryfikację wymagań normowych.

Pomimo wskazywanego przez przedsiębiorstwa budowlane wzrostu liczby dokumentów związanych z wdrożeniem i utrzymaniem systemu przeprowadzone badania wskazują na wyraźnie zauważalny pozytywny efekt powiązany z wdrożeniem systemu opartego na ISO 45001 w postaci przede wszystkim poprawy ogólnego stanu BHP w organizacji, wzrostu świadomości pracowników, co bezpośrednio przekłada się na redukcję ryzyka wystąpienia wypadków przy pracy i zdarzeń potencjalnie wypadkowych.

Autor, w ramach prowadzonych badań dotyczących możliwości, jakie daje stosowanie Systemów Zarządzania w zakresie jakości (ISO 9001), BHP (ISO 45001) i środowiska (ISO 14001), podejmuje wysiłki, aby umożliwić spełnienie wymagań normowych przez firmy budowlane sektora MŚP poprzez zdefiniowanie i spełnienie kryteriów minimalnych, przy których wdrożenie systemu jest możliwe, opłacalne, a obserwowane zalety są wyraźne, co w konsekwencji przyczyni się do popularyzacji wdrożenia i utrzymania systemów zarządzania w sektorze MŚP budowlanych.



BIBLIOGRAFIA

- [1] Górny A., Guidelines and Needs for the Implementation of the ISO 45001 Requirements for Shaping of Safety in Industry 4.0. In International Scientific-Technical Conference Manufacturing, Cham: Springer Nature Switzerland, marzec 2024, str. 107–123
- [2] Karanikas N., Weber D., Bruschi K., Brown S., Identification of systems thinking aspects in ISO 45001: 2018 on Occupational Health & Safety Management, Safety Science 148, 2022, str. 105671, doi: 10.1016/j.ssci.2022.105671
- [3] Šolc M., Blaško P., Girmanová L., Kliment J., The Development Trend of the Occupational Health and Safety in the Context of ISO 45001: 2018, Standards 2(3)2022, str. 294–305, doi: 10.3390/standards2030021
- [4] Nowobilski T., Hoła B., Methodology based on causes of accidents for forecasting the effects of falls from scaffoldings using the construction industry in Poland as an example, Safety Science 157, 2023, str. 105945, doi: 10.1016/j.ssci.2022.105945
- [5] Woźniak Z., Hoła B., Zdarzenia potencjalnie wypadkowe jako prekursory wypadków przy pracy w budownictwie, Materiały Budowlane 1/2022, str. 72–74, doi: 10.15199/33.2022.01.10
- [6] BS 18001 OHSAS:2017: Occupational Health and Safety Assessment Series
- [7] PN-N-18001:2004: Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy – Wymagania
- [8] Nowotarski P., Certyfikacja systemów zarządzania jakością w przedsiębiorstwach budowlanych, Materiały Budowlane 12/2022, str. 104–106, doi: 10.15199/33.2022.12.28
- [9] Implementation of a methodology for the integration of management systems based on NTC-ISO 14001:2015 and NTC-ISO 45001:2018: A case study in the construction sector 2023r. DOI: 10.4067/S0718-33052022000400769
- [10] Wypadki przy pracy w 2023 r. – dane wstępne, GUS 11.04.2024
- [11] Smolarz A., Analysis of Accidents in Construction in 2015–2017. Civil and Environmental Engineering Reports 29(4)2019, str. 149–156, doi: 10.2478/ceer-2019-0051
- [12] Hoła B., Szóstak M., An occupational profile of people injured in accidents at work in the Polish construction industry, Procedia Engineering 208, 2017, str. 43–51, doi: 10.1016/j.proeng.2017.11.019

System doradczy przy betonowaniu w obniżonej temperaturze

Advisory system for concreting at low temperature

dr inż. Andrzej Karłowski (ORCID: 0000-0002-7846-6105), dr hab. inż. Jerzy Paślawski, prof. PP (ORCID: 000-0002-5570-2363), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0978

Streszczenie: W artykule przedstawiono system COLCON oparty o monitoring temperatury we wczesnej fazie dojrzewania mieszanki betonowej z zastosowaniem wielopoziomowego podejmowania decyzji na 3 zasadniczych poziomach (i w wielu etapach): planowaniu opartym na współczynnikach sezonowości, eliminacji efektów zakłóceń z wykorzystaniem elastyczności biernej (odporności) poprzez zastosowanie odpowiednich modyfikacji mieszanki betonowej oraz elastyczności czynnej (adaptacyjności) – uwzględniając możliwości sterowania nagrzewem elementu w oparciu o monitoring, prognozę pogody i symulację procesu narastania wytrzymałości betonu w przypadku zaistnienia scenariusza pesymistycznego. Opracowany system został wykorzystany podczas badań laboratoryjnych i na budowie, a zebrane dane posłużyły do generowania reguł decyzyjnych w oparciu o uczenie się z przykładów z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania RapidMiner z zastosowaniem algorytmów Decision Tree oraz Random Forest.

Słowa kluczowe: elastyczność, monitoring, symulacja, RapidMiner, Decision Tree, Random Forest.

Abstract: The article presents the COLCON system, which is based on temperature monitoring during the early stage of concrete mix curing, using multi-level decision-making on three fundamental levels (and in multiple stages): planning based on seasonality coefficients, eliminating disturbance effects through the use of passive flexibility (resilience) by applying appropriate modifications to the concrete mix, and active flexibility (adaptability) – taking into account the possibility of controlling the heating of the element based on monitoring, weather forecasting, and simulation of the concrete strength development process in the event of a pessimistic scenario. The developed system was used in laboratory tests and on a construction site, and the collected data served to generate decision rules based on learning from examples using specialized RapidMiner software, employing Decision Tree and Random Forest algorithms.

Keywords: flexibility, monitoring, simulation, RapidMiner, Decision Tree, Random Forest.

1. Wprowadzenie

Współczesne systemy doradcze powinny opierać się na elastyczności i podejściu proaktywnym. Tradycyjne rozwiązania (PM 1.0) bazowały na jednoetapowym podejmowaniu decyzji [1, 2], natomiast podejście PM 2.0 umożliwia elastyczne zarządzanie dzięki monitoringowi parametrów otoczenia i temperatury dojrzewającej mieszanki betonowej.

System COLCON wspiera adaptacyjne decyzje menedżerskie w zmiennych warunkach, szczególnie podczas betonowania w niskiej temperaturze. Jego kluczowe elementy to:

- podejście elastyczne,
- monitoring otoczenia i procesów w czasie rzeczywistym,
- analiza termodynamiczna dojrzewającego betonu,
- wpływ warunków atmosferycznych na realizację robót budowlanych,
- wykorzystanie uczenia maszynowego (RapidMiner).

Zmieniające się warunki rynkowe i technologiczne wymagają elastycznego zarządzania. Tradycyjne strategie – podejście deterministyczne, nie zapewniają już przewagi konkurencyjnej. Przedsiębiorstwa powinny wdrażać standardy Industry 4.0/5.0 i BIM, by zwiększyć efektywność i ograniczyć ryzyko wynikające z realizacji robót w zmiennym otoczeniu. Elastyczność, zarówno wewnętrzna (dostosowanie procesów) jak i zewnętrzna (redukcja wpływu niepewności), ma kluczowe znaczenie. Szczególnie ważne jest

łączenie elastyczności czynnej (adaptacyjność) i biernej (odporność) przy zarządzaniu betonowaniem w zmiennych warunkach. Monitoring procesów umożliwia bieżącą kontrolę temperatury i symulację warunków atmosferycznych. System COLCON, wykorzystując dane z czujników, pozwala na szybką reakcję i dostosowanie składu mieszanki do przewidywanych warunków otoczenia. Praktyczne wdrożenia (np. projekty Witakowskiego [3, 4], Wilde [5]) pokazują, że kontrola temperatury w czasie rzeczywistym pozwala na optymalizację procesów i poprawę jakości betonu. System COLCON wykorzystuje zarówno bierną elastyczność (modyfikacja mieszanki betonowej), jak i czynną (adaptacja parametrów procesu w trakcie realizacji), co zapewnia efektywność oraz stabilność jakości w zmiennych warunkach. Nowoczesne budownictwo wymaga systematycznego doskonalenia procesów w oparciu o uczenie się z przykładów. COLCON, wspierany przez RapidMiner, umożliwia gromadzenie doświadczeń i wspomaganie decyzji menedżerskich przy realizacji robót w warunkach ryzyka nagłego spadku temperatury.

2. Idea systemu COLCON

System COLCON minimalizuje ryzyko układania mieszanki betonowej na zewnątrz w warunkach nagłego obniżenia temperatury (poniżej 0°C). Jest przeznaczony do sytuacji, gdy temperatura otoczenia początkowo spełnia wymagania, ale istnieje ryzyko gwałtownego spadku, co jest typowe dla okresów: jesienno-zimowego



Rys. 1. Idea wieloetapowego procesu decyzyjnego w systemie COLCON

i zimowo-wiosennego. System działa na trzech poziomach zarządzania, podejmując coraz bardziej szczegółowe decyzje dotyczące procesu betonowania:

- poziom I – planowanie inwestycji (np. wybór okresu realizacji procesu betonowania),
- poziom II – proces betonowania (dobór receptury mieszanki i metod pielęgnacji),
- poziom III – operacja pielęgnacji (monitoring i reakcja na zmiany warunków).

Decyzje są podejmowane w kilku etapach, a poziom III może być wielokrotnie powtarzany w celu dostosowania procesu do warunków otoczenia. Ostateczna decyzja zapada, gdy beton osiągnie wymaganą wytrzymałość i odporność mrozową. Schemat ideowy wieloetapowego procesu decyzyjnego pokazano na rysunku 1.

System COLCON wykorzystuje elastyczność technologiczną:

- czynną (adaptacyjną) – reakcja na bieżące warunki (np. uruchomienie nagrzewania),
- bierną (odporność) – modyfikacja mieszanki betonowej (np. domieszki, dodatki PCM).

Dzięki monitoringowi temperatury otoczenia i dojrzewania betonu można na bieżąco reagować na zagrożenia (np. uruchomienie elektronagrzewu w razie nagłego spadku temperatury).

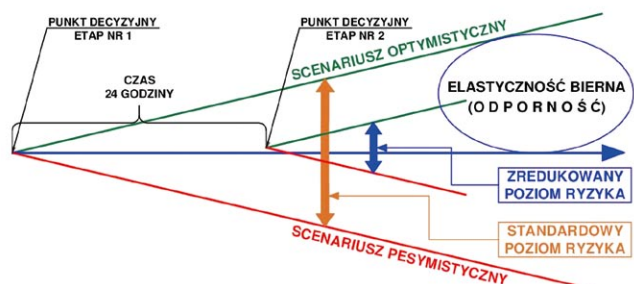
Tradycyjnym rozwiązaniem jest wstrzymanie robót w okresie zimowym, ale ze względu na presję inwestorów oraz rozwój technologii coraz częściej realizuje się betonowanie przy niskich temperaturach oraz często w sprzyjających warunkach do betonowania w okresie uznawanym tradycyjnie za niekorzystny (grudzień-luty).

COLCON wspiera menedżerów w podejmowaniu decyzji w przypadku nagłego spadku temperatury, pomagając dobrać odpowiednie technologie i strategie działania.

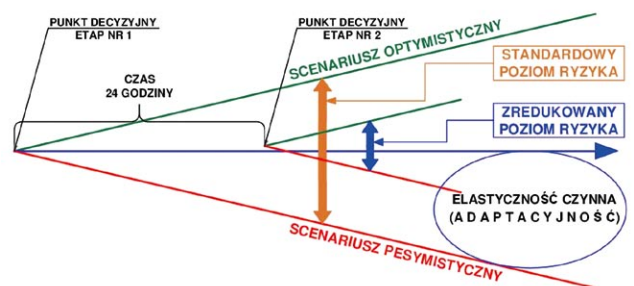
W celu zbierania danych z wcześniejszych realizacji i optymalizacji decyzji technologicznych system COLCON wykorzystuje RapidMiner, co pozwala na analizę i zapewnienie jakości betonu w zmieniających się warunkach.

3. Wielopoziomowe podejmowanie decyzji przy zastosowaniu systemu COLCON

Wykorzystanie teorii wieloetapowych procesów decyzyjnych wraz z analizą drzew decyzyjnych oraz algorytmu Random Forest pozwala na odpowiednie zaplanowanie oraz wykonanie procesu betonowania, mając za zadanie zapewnienie jakości tego procesu przy nagłym spadku temperatury otoczenia. Prawdopodobieństwo zaistnienia poszczególnych stanów oszacowano przede wszystkim na podstawie wyników badań laboratoryjnych i terenowych. Wieloetapowe podejmowanie decyzji umożliwia ograniczenie ryzyka



Rys. 2. Redukcja ryzyka technologicznego przy betonowaniu dzięki zastosowaniu elastyczności biernej (pasywnej)



Rys. 3. Redukcja ryzyka technologicznego przy betonowaniu przez zastosowanie elastyczności czynnej (adaptacyjności)

przy wykonaniu procesu betonowania w dynamicznie zmieniającym otoczeniu. Zapewnienie prawidłowego przebiegu procesu betonowania opiera się o monitoring on-line, symulację procesów z uwzględnieniem sytuacji aktualnej oraz prognozy pogody, a także korekty decyzji w trakcie realizacji. Ideę wykorzystania elastyczności czynnej i biernej w systemie COLCON przedstawiono na rysunkach 2 i 3, a przykładową tablicę wspomagającą podejmowanie decyzji przedstawiono w tabeli 1.

Ze względu na zmiany klimatyczne modele prognozowania pogody wymagają aktualizacji. Wzrost średniej globalnej temperatury powierzchni Ziemi wpływa na częstsze i gwałtowniejsze zmiany pogodowe, co zwiększa konieczność stosowania systemów, takich jak COLCON.

Przeprowadzone badania wskazują, że metoda COLCON znajduje największe zastosowanie w okresie od listopada do kwietnia. W tych okresach betonowanie jest możliwe w ciągu dnia, ale w nocy występuje duże ryzyko nagłego ochłodzenia.

System COLCON stanowi kompleksowe wsparcie dla menedżerów budowy, pozwalając na skuteczne zarządzanie ryzykiem w zmieniających warunkach atmosferycznych.

Ponadto istotnym elementem dla realizacji robót w obniżonej temperaturze jest bieżąca aktualizacja prognozy pogody oraz monitoring temperatury wewnątrz twardniejącej mieszanki betonowej i jej otoczenia – te decyzje zapadają na poziomie operacyjnym – poziom III.

4. Przykłady zastosowania systemu COLCON

4.1. Przypadek A

System COLCON został wykorzystany do monitorowania betonowania masywnej konstrukcji z barybetonu na potrzeby budowy

Tabela 1. Przykładowa tablica decyzyjna – do wspomagania decyzji z pomocą programu RapidMiner

		TEMPERATURA PROGNOZOWANA 24/48 h [°C]											
		OPCJE ELASTYCZNOŚCI BIERNEJ			OPCJE ELASTYCZNOŚCI BIERNEJ			OPCJE ELASTYCZNOŚCI BIERNEJ			OPCJE ELASTYCZNOŚCI BIERNEJ		
TEMPERATURA TERAZ	OPCJE ELASTYCZNOŚCI CZYNNEJ	CM MCD	CM PCM	CM MCD+PCM	CM MCD	CM PCM	CM MCD+PCM	CM MCD	CM PCM	CM MCD+PCM	CM MCD	CM PCM	CM MCD+PCM
		[5 + 10°C]			[0 + 4,9°C]			[-5 + 0,1°C]			[-10 + -5,1°C]		
[5 + 10°C]	NO	TAK	TAK	TAK	NIE	TAK	TAK	NIE	TAK	TAK	NIE	NIE	NIE
	FC	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	NIE	TAK	TAK	NIE	NIE	NIE
	HT	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
	HF	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
[0 + 4,9°C]	NO	NIE	TAK	TAK	NIE	TAK	TAK	NIE	NIE	TAK	NIE	NIE	NIE
	FC	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	NIE	NIE	TAK	NIE	NIE	NIE
	HT	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	NIE	TAK	TAK
	HF	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK

W tabeli użyto następujących oznaczeń opcji elastyczności czynnej: NO – brak zastosowania opcji elastyczności czynnej, FC – okrycie folią, HT – ogrzewane deskowanie, HF – elektronagrzew

Budynku Radioterapii w Poznaniu. Betonowanie płyty stropowej (12×27 m, grubość 1,9 m) podzielono na dwa etapy, a każdy trwał około 20 godzin. Temperatury mieszanki wynosiły 9–16°C, a temperatura otoczenia wahała się od –6 do +2°C.

Kluczowe kryteria procesu:

- zapewnienie jakości betonu barytowego w elemencie masowym,
- prawidłowe układanie i zagęszczanie mieszanki,
- minimalizacja ryzyka zarysowania betonu,
- szybkie uzyskanie wymaganej wytrzymałości (warunki zimowe),
- zachowanie odpowiednich właściwości betonu (mrozoodporność, wodoprzepuszczalność),
- optymalizacja kosztów procesu.

Monitorowanie gradientu temperatury w konstrukcji pozwoliło na szybkie wykrycie przekroczenia wartości alarmowej w jednym punkcie (37,36°C zamiast dopuszczalnych 35°C). W odpowiedzi uruchomiono dogrzewanie górnej powierzchni płyty, co w ciągu 9 godzin obniżyło temperaturę do bezpiecznego poziomu. Zastosowanie mat izolacyjnych oraz ogrzewania powierzchni zewnętrznej przez szachty instalacyjne ograniczyło wymianę ciepła z otoczeniem. Dodatkowo w składzie mieszanki użyto cementu CEM III, co zmniejszyło wydzielanie ciepła podczas dojrzewania betonu. Dzięki systemowi COLCON zapewniono wysoką jakość betonowania i uniknięto uszkodzeń spowodowanych nieprężeniami termicznymi.

4.2. Przypadek B

Celem badania było określenie efektów zastosowania materiałów zmienno-fazowych (PCM) – jako elastyczności biernej (pasywnej) w betonie cementowym we wczesnej fazie dojrzewania oraz ocena skuteczności deskowania z nagrzewem elektrycznym (mata grzejna 150 W/m²) w zapobieganiu destrukcji mrozowej. PCM, dzięki wysokiemu ciepłu przemiany fazowej, ograniczają negatywny wpływ temperatur ekstremalnych na beton.

Badania przeprowadzono w komorze klimatycznej w trzech wariantach elementów ściennych poddanych cyklicznym spadkom temperatury:

- ściana 20 cm bez modyfikacji,
- ściana 20 cm z dodatkiem PCM,
- ściana 20 cm w podgrzewanej formie-symulującej ogrzewane deskowanie.

Czujniki temperatury rozmieszczono w każdym elemencie na czterech poziomach (dół, środek, górna powierzchnia i nad elementem). W przypadku elementu z ogrzewanymi bokami dodatkowo umieszczono czujniki na każdej stronie ściany.

Badanie pozwoliło na analizę wpływu PCM oraz ogrzewanego deskowania na stabilizację temperatury betonu i jego odporność na niskie temperatury.

Zaprezentowane przykłady pokazują dwa sposoby zastosowania elastyczności w betonowaniu w niskich temperaturach: biernej (odporności) i czynnej (adaptacyjności).

5. Podsumowanie

Przedstawiony opis systemu COLCON wraz z przykładami pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

- elastyczne i proaktywne podejście pozwala skutecznie realizować betonowanie w zmiennych warunkach,
- monitoring w czasie rzeczywistym umożliwia korektę decyzji na kolejnych etapach procesu,
- wykorzystanie RapidMiner do budowy tablicy decyzyjnej zapewnia rozwój możliwości systemu dzięki uczeniu maszynowemu.

System doradczy pomaga zarządzać procesami budowlanymi, szczególnie w przypadku nagłych spadków temperatury otoczenia. Wieloetapowe podejmowanie decyzji i analiza otoczenia pozwalają na wczesne wykrycie zagrożeń prawidłowego przebiegu procesu i ich eliminację.

Implementacja elastyczności może mieć formę pasywną (domieszki, odpowiedni cement) lub aktywną (nagrzewanie, podgrzewane deskowanie).

Przedstawione przykłady ilustrują różne możliwości zastosowania elastyczności przy betonowaniu.

Pasywna (bierna) elastyczność jest preferowaną strategią, jednak w dynamicznych warunkach może wymagać uzupełnienia o elastyczność czynną, zwłaszcza w przypadku zaistnienia scenariusza pesymistycznego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kerzner H., Future of Project Management, Dubai International Project Management Forum, Keynote presentation, International Institute of Learning, 2014
- [2] Kerzner H., Project Management 2.0: Leveraging Tools, Distributed Collaboration, and Metrics for Project Success, Wiley, 2015, str. 316
- [3] Witakowski P., Technologia betonowania i pielęgnacja betonu na budowie Mostu Świętokrzyskiego w Warszawie, prace Instytutu Techniki Budowlanej, 2003
- [4] Witakowski P., Bezprzewodowe zarządzanie procesem budowlanym: system kompleksowego zarządzania jakością w budownictwie, Wydawnictwa AGH, 2011
- [5] Wilde K., Mariak A., Kurpińska M., Meronk B., Miśkiewicz M., Chróścielewski J., Sabik A., Groth M., 2017, Monitoring dojrzewania betonu skrzynki mostu MS3/B DK-16 – sekcja S3.18P. 1–20.
- [6] Karłowski A., Hierarchiczny system podejmowania decyzji przy betonowaniu w obniżonej temperaturze. Podejście elastyczne, rozprawa doktorska (WILiT), prom. Jerzy Paślowski (WILiT), rec. Anna Sobotka, Jacek Gołaszewski, Poznań, 2024, 334 str.

Preferencje pasażerów dotyczące planowania przystanków kolei aglomeracyjnych w świetle badań ankietowych

Passengers' preferences regarding planning of agglomeration railway stops based on survey research

mgr inż. Krzysztof Karol Kotecki (ORCID: 0009-0009-5360-3896), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0979

Streszczenie: Rozwój ośrodków wielkomiejskich pociąga za sobą konieczność wykorzystania kolei jako środka transportu wewnątrz aglomeracji miejskiej. W celu uzyskania wiarygodnego spojrzenia na oczekiwania pasażerów względem nowo powstających i modernizowanych przystanków przeprowadzono badanie ankietowe. Do analizy wyników tego badania wykorzystano metodę AHP w celu wyznaczenia wag poszczególnych badanych kryteriów. Artykuł zawiera szczegóły dotyczące samej ankiety oraz opis metody pozyskiwania wartości wag kryteriów. Rezultaty wskazują zdecydowanie, że kryterium, które ma dla pasażerów najwyższą wagę jest częstota kursowania pociągów, która okazała się dla nich ponad dwukrotnie istotniejsza niż bliskość przystanku czy możliwość przesiadki do innego środka transportu. Ankietowani nie przypisali dużej wagi do wyposażenia przystanku, konieczności ingerencji w istniejącą zabudowę czy też aspekty środowiskowe. Kryterium, które uzyskało nieoczywiste wyniki jest kwestia kosztów inwestycji kolejowej.

Słowa kluczowe: kolej aglomeracyjna, AHP, badania ankietowe, preferencje pasażerów.

Abstract: Development of metropolitan areas entails a need to use railways as a significant mode of transport within urban agglomerations. In order to obtain a reliable view of passengers' expectations regarding the newly established and modernized stops, a survey was conducted. The AHP method was used to analyse the results of this study to determine the weights of the individual criteria examined. The article contains details about the survey itself and a description of the method for obtaining the weight values of the criteria. The results clearly indicate that the criterion of the highest importance to passengers is the frequency of trains, which turned out to be more than twice as important to them as the proximity of the stop or the possibility of changing to another mode of transport. The respondents did not attribute much importance to the equipment of the stop, the need to interfere with the existing development or environmental aspects. The criterion that obtained unclear results is the issue of the costs of the railway investment.

Keywords: agglomeration railway, AHP, surveys, passenger preferences.

1. Wprowadzenie

Silnie rozwijające się ośrodki wielkomiejskie w Polsce coraz częściej wspierane są w kwestii transportu przez lokalne kolejowe sieci połączeń aglomeracyjnych. Rozwiązania takie widać np. w Poznaniu, Gdańsku czy Szczecinie [1]. Połączenia kolejowe są często wybierane jako codzienny sposób dojazdu do pracy lub szkoły ze względu na szybkość, niezawodność i bezpieczeństwo [2], a ich znaczenie jako istotnego elementu transportu aglomeracyjnego zostało potwierdzone w licznych publikacjach naukowych [3, 4]. Porównanie istniejących sieci aglomeracyjnych [1] wskazuje na znaczną przewagę rozwiązań, które zostały w prawidłowy sposób zaprojektowane z myślą o funkcji, jaką mają pełnić w komunikacji metropolitalnej. Biorąc to pod uwagę, a także rozpatrując aspekty podróży pociągiem, które sami pasażerowie uważają za wymagające poprawy (częstotliwość połączeń, możliwość przesiadki do innego środka transportu [5, 6]), rodzi się pytanie o to, które kryteria związane z rozwojem sieci przystanków kolei aglomeracyjnych

są najistotniejsze, jednak nie dla inwestorów, a dla użytkowników końcowych, czyli samych pasażerów.

Chcąc uzyskać odpowiedź na tak postawione pytanie, zdecydowano się pozyskać dane ankietowe wśród pasażerów kolei aglomeracyjnych i wykorzystać narzędzia analizy wielokryterialnej, co pozwoli na poznanie rzeczywistych preferencji użytkowników.

2. Badanie ankietowe

W celu poznania preferencji pasażerów w odniesieniu do różnych aspektów projektowych i inwestycyjnych przeprowadzono w obrębie aglomeracji poznańskiej badanie ankietowe. Odpowiedzi udzielali pasażerowie kolei metropolitalnej, którzy regularnie korzystają z transportu kolejowego. Ankietowani mieli za zadanie wskazać które z pary kryteriów jest dla nich istotniejsze i jak bardzo. W celu umożliwienia dalszej pracy nad wynikami siłę preferencji podano w skali 1–9, zgodnie z przykładem z tabeli 1.

Tabela 1. Przykład pary kryteriów z badania ankietowego

Które kryterium jest dla Pani/Pana ważniejsze i o ile?																
Kryterium 1							Kryterium 2									
9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Badanym wskazano, że wybór wartości „1” oznacza neutralny stosunek jednego kryterium do drugiego, a im wyższa wybrana wartość po stronie któregoś kryterium, tym wyższa jego preferencja nad drugim.

Pasażerowie porównywali pomiędzy sobą parami wszystkie kombinacje par poniższych siedmiu kryteriów:

- koszt inwestycji (budowy/modernizacji przystanku kolejowego) (KOSZT),
- częstość kursowania pociągów (CZĘSTOŚĆ),
- wyposażenie przystanku (toalety, wiaty, inne udogodnienia) (WYPOSAŻENIE),
- możliwość przesiadki do innego środka transportu (intermodalność) (PRZESIADKI),
- bliskość przystanku od miejsca zamieszkania/pracy (LOKALIZACJA),
- minimalizacja ingerencji w istniejącą zabudowę (w tym mieszkalną), konieczność wyburzeń itp. (INGERENCJA),
- samowystarczalność energetyczna przystanku (ENERGIA).

W ten sposób każdy ankietowany wykonywał łącznie 21 różnych porównań. Następnie dla każdej pary dwóch kryteriów obliczono trzy parametry statystyczne: średnią arytmetyczną, medianę oraz dominantę.

3. Wyznaczenie wag kryteriów według Pasażera

Zdobyte w badaniu ankietowym dane posłużyły do wyznaczenia wag poszczególnych kryteriów. Wagi obliczono przy pomocy znanej i szeroko stosowanej metody AHP (*Analytic Hierarchy Proces*), a dokładniej części tej metody. Metoda AHP sprawdza się bardzo dobrze w ustalaniu wag kryteriów i była już wykorzystywana z powodzeniem w innych badaniach [7–9]. Sporządzono macierz porównań KR – w metodzie AHP jest ona tworzona poprzez porównanie parami wszystkich kryteriów i przypisaniu tym porównaniom wartości liczbowych. Wartości te mieszczą się w przedziale od 1 do 9, przy czym im bardziej preferowane jest jedno kryterium nad drugie, tym wyższą uzyskuje wartość liczbowa. Porównanie kryteriów uważanych za tak samo istotne przyjmuje wartość 1.

Macierz porównań jest macierzą kwadratową o tej właściwości, że wartość wagi kryterium j -tego względem kryterium i -tego musi spełniać warunek:

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (1)$$

czyli stanowić odwrotność wagi kryterium i -tego względem kryterium j -tego.

Następnym krokiem jest normalizacja każdego elementu macierzy poprzez podzielenie go przez sumę wartości w danej kolumnie, tworząc macierz znormalizowaną NKR:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

Na samym końcu tego etapu uzyskuje się wektor wag kryteriów WKR. Poszczególne elementy tego wektora powstają jako średnie arytmetyczne wierszy macierzy znormalizowanej NKR:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad (3)$$

Przyjęcie wartości do macierzy porównań charakteryzuje się znaczną subiektywnością, co może prowadzić do niespójności wynikających z nieprzechodności preferencji (sytuacja w której uznanie A za istotniejsze od B oraz B istotniejsze od C nie prowadziłyby do założenia, że A jest istotniejsze od C). W celu uniknięcia takiej sytuacji oblicza się za pomocą poniższego wzoru wskaźnik spójności CR:

$$CR = \frac{\lambda_{\max} - n}{r \cdot (n - 1)} \quad (4)$$

We wzorze tym n oznacza ilość analizowanych kryteriów, r oznacza średnią wartość indeksów spójności losowych porównań (wartość zależna od wielkości n), a $\lambda_{\max}$ to maksymalna wartość własna tej macierzy.

Przyjmuje się, że macierz preferencji spełnia warunek spójności, jeśli wartość $CR < 0,1$.

4. Analiza uzyskanych wyników

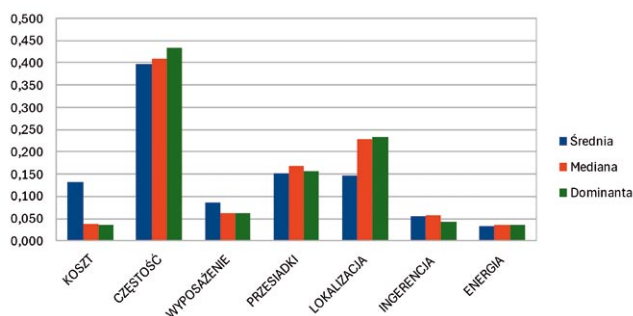
Przepytano 112 osób, a ich odpowiedzi posłużyły do sporządzenia trzech zestawów statystycznych – używając odpowiednio średnich arytmetycznych, median oraz dominant uzyskanych odpowiedzi stworzono trzy różne zestawy statystycznych odpowiedzi.

Zebrane dane charakteryzowały się mieszanymi skośnościami. Część porównań charakteryzowała się skośnością ujemną, a część dodatnią.

Wszystkie trzy zestawy spełniły wymóg wskaźnika spójności $CR < 0,1$. Na tym polu najlepszy wynik uzyskał statystyczny odczyt wykorzystujący średnie arytmetyczne ($CR = 0,0631$). Na drugim miejscu znalazła się mediana ($CR = 0,0686$), bliżej granicy natomiast uplasował się zestaw oparty na dominantach ($CR = 0,0878$).

Obliczone z zastosowaniem metody AHP wektory wag zostały zilustrowane na wykresie (rys. 1).

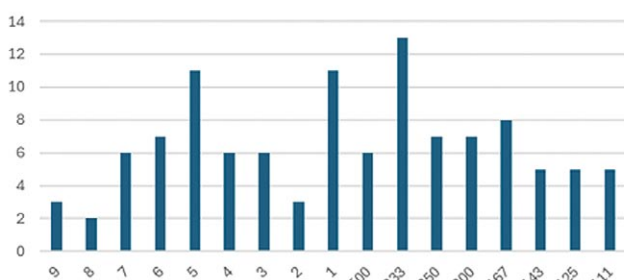
Widoczna jest duża zbieżność wyników uzyskanych przy zastosowaniu median oraz dominant, na ich tle wyróżnia się wektor wag powstały na podstawie średnich arytmetycznych.



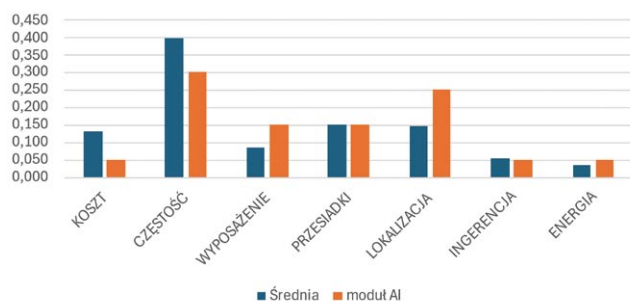
Rys. 1. Zestawienie uzyskanych wag kryteriów wg metody AHP (opracowanie własne)

Cechą wspólną wszystkich wektorów wag jest zdecydowana przewaga kryterium częstości połączeń kolejowych w opinii pasażerów. W przypadku wykorzystania zarówno średniej arytmetycznej, jak i mediany kryterium te uzyskało około 40% wagi całkowitej.

Największa różnica pojawia się w odniesieniu do kryterium ekonomicznego, któremu to wagi wykorzystujące średnią arytmetyczną przypisują ponad trzykrotnie większą istotność niż wagi oparte na medianach i dominancie – dla wektora opartego na średnich kryterium to znajduje się pośrodku uwagi pasażerów. Szukając przyczyn tego zjawiska można dostrzec, że średnie wartości porównań parami uwzględniające kryterium kosztowe znacznie różnią się, a wręcz w kilku przypadkach mają przeciwny kierunek niż w porównaniu wykorzystującym medianę lub dominancję. Przykładem może być porównanie pary koszt inwestycji – wyposażenie przystanków (KOSZT-WYPOSAŻENIE) (rys. 2).



Rys. 2. Rozkład odpowiedzi dla porównania kryteriów KOSZT i WYPOSAŻENIE (opracowanie własne)



Rys. 3. Porównanie wag kryteriów opartych na średnich z zasymulowanymi odpowiedziami (moduł AI) (opracowanie własne)

Wykres prezentujący rozkład odpowiedzi ukazuje znaczną różnorodność opinii wśród ankietowanych. O ile kryterium ekonomiczne zyskuje znacznie przy wykorzystaniu średnich arytmetycznych, to zauważalny spadek istotności notuje kryterium związane z bliskością przystanku do miejsca zamieszkania lub pracy/szkoły.

Uzyskane wektory wag zaskakują w kilku aspektach. Z tej przyczyny zdecydowano się na próbę zasymulowania podejścia Pasażera wykorzystując narzędzie AI (moduł ChatGPT-4 Turbo firmy Open AI Inc.). Wykorzystanie modułów sztucznej inteligencji jako narzędzi dodatkowych przy korzystaniu z metody AHP było już skutecznie przeprowadzone w odniesieniu do innych branż [10]. Zasymulowane w ten sposób odpowiedzi znacznie różnią się od pozyskanych w wyniku badań ankietowych (rys. 3).

5. Wnioski

- Zdecydowanie najważniejszym aspektem przy projektowaniu przystanków kolejowych jest dla obecnych pasażerów częstość kursowania pociągów. Wśród ankietowanych osób to kryterium uzyskało wynik około dwukrotnie wyższy od kryterium znajdującego się na miejscu drugim pod względem wagi. Płynący z tego wniosek wskazuje, że pasażerowie będą woleli pokonać większą odległość z domu/pracy na przystanek, jeśli uzyskają dostęp do częstszych połączeń kolejowych.
- Pasażerowie zwracają znaczną uwagę na aspekt ekonomiczny inwestycji kolejowych. Kryterium finansowe nie jest dla nich najważniejsze, ale nie jest ono też traktowane jako nieistotne. Może to oznaczać wzrost świadomości społecznej dotyczącej realiów inwestycyjnych.
- Najniższy wynik uzyskało kryterium proekologiczne – ankietowani nie przykładali wagi do aspektu środowiskowego.
- Stosunkowo niski wynik uzyskało wyposażenie przystanków, co może wskazywać na dość dużą elastyczność pasażerów jeśli chodzi o wygodę na peronie. Łącząc ten wniosek z wynikami innych badań [11] można dojść do konkluzji, że pasażerom nie przeszkadza brak bogatego wyposażenia, o ile tylko przystanek zapewnia podstawowe potrzeby.
- Wbrew możliwym oczekiwaniom bardzo niski wynik odnotowała próba unikania ingerencji w istniejącą zabudowę, w tym mieszkalną. Ankietowani nie przypisali temu problemowi dużej wagi, co może być mylące, biorąc pod uwagę liczne protesty związane z planowaniem np. linii CPK [12]. Wyjaśnieniem tego paradoksu może być nieprzypisywanie wagi przez pasażerów do tego problemu, o ile nie dotyczy on ich osobiście.
- Zasymulowane przez moduł sztucznej inteligencji odpowiedzi Pasażera, zakładające stereotypowe podejście użytkowników kolei do analizowanych kryteriów znacznie różni się od obliczonych na podstawie pozyskanych danych wyników. Wskazuje to na potrzebę bardziej szczegółowego podejścia do opinii pasażerów w procesie inwestycyjnym.

6. Podsumowanie

Analiza wyników badania ankietowego przyniosła nieoczywiste wnioski. W opinii ankietowanych zdecydowanie najistotniejszym aspektem planowanych przystanków kolejowych jest częstość kursowania pociągów, dalej w kolejności zależy im na bliskości przystanku od miejsca zamieszkania czy też pracy oraz możliwość przesiadki. Ankietowani nie przykładali za to wagi do wyposażenia przystanków, konieczności ingerencji w istniejącą zabudowę czy też aspektów związanych z zapotrzebowaniem przystanku na energię. W zależności od przyjętego parametru statystycznego zmienia się znacznie spojrzenie na kwestie ekonomiczne. Przyjmując za wiodący parametr średnie arytmetyczne, waga tego kryterium osiąga wartości niemal porównywalne z odległością przystanku lub intermodalnością.

Wartości uzyskane dzięki badaniu ankietowemu i metodzie AHP znacznie różniły się od zasymulowanej opinii pasażera, wykonanej z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Istotnym jest zwiększanie świadomości inwestorów odnośnie rzeczywistych oczekiwań osób, dla których inwestycje kolejowe mają być realizowane. Już na etapie wstępnym, takim jak studium wykonalności, ważne jest, by prawidłowo ocenić punkt widzenia pasażerów, w czym znacznie mogą posłużyć się badania ankietowe.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kotecki K., Paślowski J. O., Poznań Metropolitan Railway – Development Opportunities Based on Comparative Analysis, Sustainability 17, 2025, str. 1986, <https://doi.org/10.3390/su17051986>
- [2] Balińska A., Olejniczak W., Pasażerski transport kolejowy w ocenie jego użytkowników. Turystyka i Rozwój Regionalny 10/2018, str. 5–11, <https://doi.org/10.22630/TIRR.2018.10.15>
- [3] Tomaszewski J., Pazder D., Kolej metropolitalna jako wyzwanie inwestycyjne i szansa dla region, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej Architektura, Urbanistyka, Architektura Wnętrz 15, 2023, str. 141–159
- [4] Bul R., Poznańska Kolej Metropolitalna jako odpowiedź na zmiany przestrzenne i demograficzne zachodzące na obszarze Poznania i jego strefy podmiejskiej, Transport Miejski i Regionalny 9/2016
- [5] NIK o Łódzkiej Kolei Aglomeracyjnej, <https://www.nik.gov.pl/najnowsze-informacje-o-wynikach-kontroli/nik-o-lodzkiej-kolei-aglomeracyjnej.html> (dostęp: 18.03.2025r.)
- [6] Jak Polacy oceniają polską kolej? Raport Kolejowy, <https://raportkolejowy.pl/jak-polacy-oceniaja-polska-kolej/> (dostęp 18.03.2025r.)
- [7] Kotecki K., Dziadosz A., Aplikacyjność i wrażliwość wybranych metod wielokryterialnych przy wyborze sposobu realizacji Szczecińskiej Kolei Metropolitalnej, Przegląd Budowlany 4/2024, str. 72–77, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.6388>
- [8] Stević Ž., Supplier Selection Using AHP and Copras Method, maj 2016, https://www.researchgate.net/publication/303462041_SUPPLIER_SELECTION_USING_AHP_AND_COPRAS_METHOD (dostęp 25.02.2025r.)
- [9] De F. S. M. Russo R., Roberto Camanho R., Criteria in AHP: A Systematic Review of Literature; Procedia Computer Science 55, 2015, str. 1123–1132, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.081>
- [10] Vusić M., Šlibar B., Advantages of decision-making using ai-ahp: a case in the banking sector/Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process: the 18th ISAHP conference/García Melón, Mónica; Gonzalez-Urango, Hannia (ur.). Pittsburgh (PA): Creative Decision Foundation, 2024, str. 63–63, doi: 10.13033/isahp.y2024.008
- [11] Grabarczyk A., Paślowski J., Opinie użytkowników Poznańskiej Kolei Metropolitalnej w świetle badań ankietowych, Inżynieria i Budownictwo LXXIX 11–12/2023, str. 684–693, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.1391>
- [12] Protesty mieszkańców przeciwko CPK: głos społeczności; NaKolei.pl, 24.02.2024r., <https://www.nakolei.pl/protest-mieszkancow-przeciwko-cpk-glos-spolesznosci/> (dostęp: 18.03.2025r.)



Zaproszenie do udziału w

V Konferencji Naukowo-Technicznej Bezpieczeństwo Pożarowe Obiektów Budowlanych, która odbędzie się w 2026 roku w Poznaniu podczas Międzynarodowych Targów Budownictwa i Architektury BUDMA 2026.

Organizatorami konferencji są

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Pożarnictwa Oddział Wielkopolski,
Instytut Analizy Konstrukcji oraz Instytut Budownictwa Politechniki Poznańskiej.

Konferencja stanowi forum do dyskusji i wymiany doświadczeń dla projektantów, wykonawców, inżynierów budownictwa, konstruktorów, architektów, strażaków PSP, rzeczoznawców do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych, rzeczoznawców budowlanych, specjalistów i inspektorów ochrony przeciwpożarowej, pracowników naukowych, ubezpieczycieli oraz firm związanych z bezpieczeństwem pożarowym obiektów budowlanych.

Więcej informacji na stronie:
<https://poznan.sitp.org.pl>



Modelowanie przedsięwzięcia budowlanego w ujęciu BIM i klasyfikacji komponentów w aspekcie kompromisów konstrukcyjno-montażowych

Modelling a construction project in terms of BIM and components classification in aspect of structural and assembly trade-offs

dr inż. Tomasz Wiatr (ORCID: 0000-0002-8352-0508), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0980

Streszczenie: Artykuł dotyczy przedsięwzięcia badawczo-dydaktycznego w ujęciu BIM realizowanego pod kierunkiem autora. Modele 3D BIM budynków wykonano do złożonych analiz 4D/5D BIM z klasyfikacją typowych i nietypowych komponentów w systemie uprzemysłowionego budownictwa betonowego. Szczegółowy model osiedla w chmurze BIM stanowi tu podstawę ogólniejszego sformułowania problemu montażowego. Żurawie budowlane są tu traktowane jako maszyny montażowe oraz narzędzia optymalizacji i oceny technologiczności. Sednem publikacji jest raport z badań i rozwiązanie bazowe jako podstawa projektowania elastycznego z użyciem komponentów projektowo-wykonawczych oraz ich klasyfikacji alfanumerycznej.

Słowa kluczowe: modelowanie informacji o budynku, planowanie budowlane 3D/4D BIM, klasyfikacja komponentów projektowo-wykonawczych, optymalizacja montażowa budynków.

Abstract: The article deals with a research and teaching project in terms of BIM carried out under the direction of the author. 3D BIM models of buildings were made for complex 4D/5D BIM analyses with classification of typical and atypical in industrialized concrete building system. Detailed district's model placed in the BIM cloud is here the basis for the more general formulation of the assembly problem. Construction cranes are treated here as assembly machines and tools for optimisation and constructability assessment. The core of the publication is the research report and base solution as a basis for flexible design with design and construction components and their alphanumeric classification.

Keywords: building information modelling, 3D/4D BIM construction planning, design-build components classification, optimization of buildings assembly.

1. Wprowadzenie

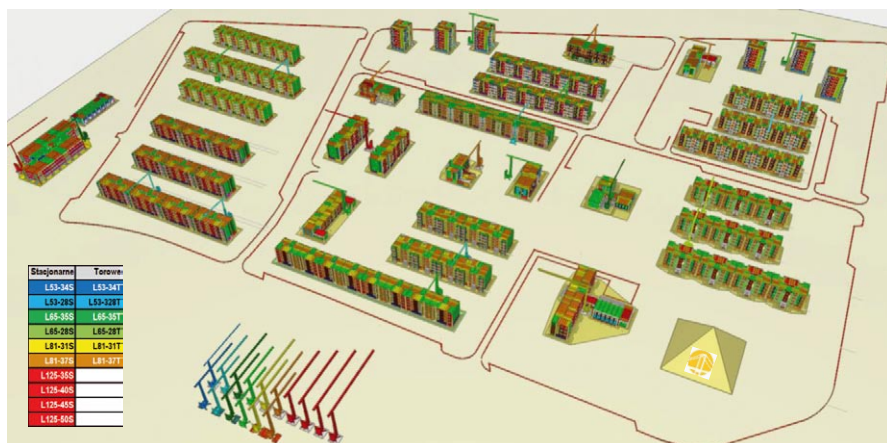
W budownictwie uprzemysłowionym [1, 5, 8, 10] budynki można postrzegać jako złożone kompleksy komponentów, gdzie zarówno sam budynek, jak i jego komponenty podlegają projektowaniu metodami naukowymi inżynierii budowlanej. Podstawą rozważań są budynki i ich zespoły w kontekście 3D BIM ukierunkowanym na analizy czasoprzestrzenno-kosztowe 4D/5D BIM [12] prowadzące do optymalizacji kompleksowej przedsięwzięcia wieloobiektowego. Komponenty nazywane projektowo-wykonawczymi [11, 12] stanowią umowne części budynku harmonizujące z modelem analitycznym konstrukcji (statyczno-wytrzymałościowym i akustyczno-termicznym) i podstawę podziału obiektu na działki robocze jako zbiory komponentów wbudowywanych w jednostce czasoprzestrzennej 4D.

Podstawę badań stanowi duże osiedle obejmujące 50 budynków, w tym 10 budynków mieszkalnych powtarzalnych, 10 niemieszkalnych [11] lokalizowane w ramach pracy grupowej

w chmurze BIM (rys. 1) Trimble Connect. Budynki modelowano w technologii budownictwa betonowego w systemie własnym, a każdy z nich projektowano w sposób elastyczny, mając na względzie wariantowanie i polioptymalizację. Badany zbiór budynków i ich modeli stanowi kompleks ustrojów nośnych w układzie podłużnym, poprzecznym i mieszanym, zarówno ścianowych, jak i uszkieletowionych, operujących setkami typorozmiarów komponentów nośnych, samonośnych i nienośnych oraz wieloma tysiącami ich wystąpień w ramach osiedla (rys. 1).

W literaturze światowej nie odnotowano faktu modelowania szczegółowego na taką skalę. Same analizy montażowe w literaturze zagranicznej ograniczone są do problemu doboru żurawia bez rozważania optymalizacji obiektu podlegającego budowie, choć w BIM problem dostrzeżono ostatnio w programie Allplan 2023 firmy Nemetschek, wspomagając optymalne konfigurowanie prefabrykatów w fazie projektowania budynku, natomiast sam dobór żurawia jest dostępny od wersji 2022, a w programie Tekla Structures od wersji 2021.

Artykuł stanowi raport z wieloletnich badań [11] jako poligonu inżynierii przedsięwzięć budowlanych. W ich omawianym aspekcie problem ogólny żuraw jest traktowany jako narzędzie optymalizacji, a nawet jej kryterium, jeśli wziąć pod uwagę dostępny typoszerzeg maszyn montażowych danego rodzaju, co można uznać za pewną nową miarę oceny technologiczności w rozumieniu [5, 9].



danym o procesach, natomiast człony O-Z danym produk-
towym w uzupełnieniu klas BIM w sensie IFC 2x3 i właści-
wości IfcPropertySets.

3. Konstrukcja i komponenty

Stropy w części nadziemnej w systemie SPB-EN-2011 jako nowelizacji SPB-2002 [2] produkowane w wielu wytwórniach na licencji (869 elementów podstawowych) oznaczono w projekcie w składni S-720x150_L-022x160_q100, gdzie 720 to długość modułarna ze zbioru <180–720>, 150 to szerokość modułarna ze zbioru <090–180> i wycięcie (na końcach L, P, C i z boku 2, 1, 0), tu o szerokości 22 cm w lewym narożu. Obciążenie znamionowe q ze zbioru <045; 060; 075; 100> daN/m² dotyczy dwustronnego utwierdzenia (bazowego w SPB-2002), które analizowano, tworząc przypadki analityczne w nawiązaniu do stopnia utwierdzenia (w sąsiednich przęsłach 2U, 1U, 0U lub przez kondygnacje powyżej w liczbie ponad 2), proporcji przekrywanej przestrzeni, współpracy poprzecznej płyt i obciążeń liniowych dwóch rodzajów. Wieńce modelowano poleceniem Belka (klasa IfcBeam), co jest standardem BIM, mimo iż wieńiec nie pracuje, jak belka. Stosowano wieńce o szerokościach ze zbioru <009–036> w module 003 (tab. 2), w tym U-024 w przypadku ścian stanowiących oparcie dwustronne dla stropów i U-030 dla stropów równoległych do ściany, co rozwiązało także systemowo

Otwory # oraz pomieszczenia	Kominy W i fundamenty U	Ściany monolityczne	Ściany prefabrykowane	Słupy T i podciągi U	Stropy Filigran i kanałowe SPB
R-HxB/O-BxL	W-Hxn	Y-HxB_#_q	W-HxB_#_q	T-HxB_#_q	V-LxB_#_q
R-LxBxH	U-LxBxH	X-HxB_#_q	Z-HxB_#_q	U-H_q, U-BxH_q	S-LxB_#_q

Bx1 [cm]	030	060	090	110	150	180	210	240	270	300
U-B [cm]	009	012	015	018	021	024	027	030	033	036

Tabela 3. Obciążenia stropów, schodów (kN/m^2), ścian i belek, ciężar ścian działowych (kN/mb)

q [kN/mb]	050	100	150	200	250	300	350	400	450	500
q [kN/m^2]	1	2	3	≥ 3	3,5	4,5	6	7,5	10	

problem modelowania przyściennych wypełnień stropu. W systemie przewidziano też płyty stropowo-balkonowe (klasa $q060$) z łącznikiem izolacyjnym, modelując je rozdzielczo. Podobnie stropy zespolone typu Filigran systemu Vector [3] (elementy typizowane produkowane w wielu wytwórniach na licencji Konbet-Poznań) w wersji rozbudowanej w projekcie o szerokości 180 i 240 cm (analogicznie do systemu PSJ-K-S firmy ZEK) to, np. V-720x240_P-024x150_q060. W pełnym zakresie rozpiętości 180–720 cm możliwy okazał się dobór jednolitej odmiany 24s [3] dla typizowanych w przedsięwzięciu obciążeń dopełniających klas <045; 060> (poza tym 080) w odróżnieniu od systemu PSKJ-S, gdzie należałoby operować klasami <045; 075>. Szerokość płyt ze zbioru <060–240> w module 60 cm zakłada docinanie płyt w myśl [3] w razie potrzebnych szerokości innych niż uprzywilejowane uzupełnienia ze zbioru <012; 020; 030; 040>. Wieńce stropów Filigran modelowano jednolicie jako U-024.

W przypadku ścian (typ lfcWallStandardCase) nadziemia stosowano prefabrykaty warstwowe kanałowe do szerokości 180 cm (przez analogię do stropów), np. wewnętrzne W-290x180 ze zbioru szerokości <090–180> dla wysokości kondygnacji 290 cm, z otworami (R), np. W-290x180_R-205x100 obejmując prefabrykaty ze zbioru <030–300>, w szczególności ścian zewnętrznych, np. Z-290x300_R-150x180 każdorazowo o grubości 240 mm. Co do ścian monolitycznych stanów zerowych oznaczenia o podobnej składni pozwalają w analizach rozróżniać ściany wewnętrzne Y – i zewnętrzne X – o długościach ze zbioru <030–990> (tab. 2) w nawiązaniu do zbrojenia konstrukcji i występowania izolacji XPS. Częścią systemu są węzły łączące ściany i z uwagi na węzły wkłęsłe (krzyżowe – X, teowe – T i narożne – L) izolacja ograniczona jest do grubości 17 cm, co przy zastosowaniu grafitowego EPS pozwala uzyskać $U_c = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, a dla PIR (użytego w Prefabet-Poznań już w latach 90') nawet $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Prefabrykacji poddano ściany attykowe stropodachu, wykorzystując w tym celu kształtki z ABK scalone w elementy o wysokościach 50 cm, 75 i 100 cm o długościach modularnych ze zbioru <060–300>. Bloki kominowe kodowano w ramach składni W-290x4, gdzie druga liczba dotyczy kanałów, a pierwsza to wysokość, także dla półbloków, np. W-145x4 dla stropodachu.

Prefabrykowane belki spocznikowe schodów modelowano poleceniem przeznaczonym dla stropu (typ lfcSlab) jako że są częścią płyty stropowej, choć w klasyfikacji indywidualnej przypisano im kod U-300_q060, jak dla belek, gdzie parametr wiodący to rozpiętość modułowa, tu 300 cm, a q to klasa obciążeń dotycząca klatki schodowej. W podobny sposób na spocznik międzypiętrowy stosowano prefabrykaty

stropowe kanałowe instalacyjne, np. S-300x150_2-018x010_q060, aby 2 wycięcia wyeliminowały kolizję z elementem węzłowym ścian L lub T. Biegi modelowano poleceniem Schody (typ lfcStairs) z oznaczeniem U-145x128_q060, gdzie parametrem wiodącym jest wysokość biegu, tu 145 cm, a dodatkowym szerokość, tu 128 cm i klasa obciążeń znamionowych, tu 60 daN/m^2 (zakres w tabeli 3).

W systemie występują liczne odmiany słupów (T) oraz podciągów (U) i pokrewnych, operując jedną zmienną w przypadku belek podestowych schodów, dwiema w przypadku belek o szerokości domyślnej oraz biegów schodowych i trzema dla innych belek, podobnie jak w przypadku fundamentów U (ław, stóp i płyt). Stolarkę otworową klasyfikowano jako R-HxB w oparciu o wymiary modułowe otworu ze zbioru wymiarów standardowych stolarki, operując zbiorami wysokości <040; 060; 090; 120; 150; 170> i niestandardowych <210; 240> oraz szerokości <060–210> i <240>, przy czym 40 cm dotyczy jedynie okien piwnicznych.

4. Technologia i komponenty

Wśród żurawi wieżowych na szczególną uwagę zasługują samomontujące żurawie szybkomontujące, jeśli dostępne są w wersji torowej zwiększającej elastyczność planowania. W tym zakresie przeprowadzona analiza wskazuje na żurawie tylko dwóch marek, a więc Liebherr K1 i Potain Igo T. Modele tych dwóch wiodących producentów żurawi postraktowano jako podstawę rodziny funkcji nieliniowych opisujących charakterystyki montażowe, w tym w szczególności udźwig $Q(p)$ ze zmienną odległości, w ogólności pozycji jako zmiennej decyzyjnej. Z każdym komponentem stowarzyszony jest ciężar montażowy Q i lokalizacja p .

W tym sensie poszczególne modele w typoszeregu żurawi stanowią przedziały finalnej optymalizacji technologicznej, której pole całkowite wyznacza zakres typoszeregu, np. dla Liebherr K1 w zbiorze <34; 42*; 53; 65; 81; 125>, a dla Potain Igo T w zbiorze <70; 85; 99; 130>, przy czym model 42*, a więc Liebherr 42 K1, oferowany jest jedynie jako stacjonarny. Przypadek 34, a więc model Liebherr 34 K1 pomijano, gdyż wymagałby stosowania metody montażu dwustronnego, warto jednak podkreślić, że w Polsce produkowano podobny żuraw ŻB-30.1 nowoczesnością wyprzedzający swoje czasy w większym stopniu niż ŻBW-75/100.

W przypadku budynków o zwartym kształcie powierzchni zabudowy lub dogodnie zlokalizowanych możliwe jest rozważanie stosowania wersji stacjonarnych i kilkanaście firm europejskich oferuje takie, ale dla zidentyfikowania zależności kosztowych wyłącznie technicznie uwarunkowanych, porzeczano na maszynach jednej marki, a więc (opcja a)

Tabela 4. Klasy ciężarów montażowych i udźwigów żurawi w przedsięwzięciu (tony)

Q [t]	3,00	3,25	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Rys. 2. Widok selektywny budynku z żurawiem L81-31T (opis w tekście)

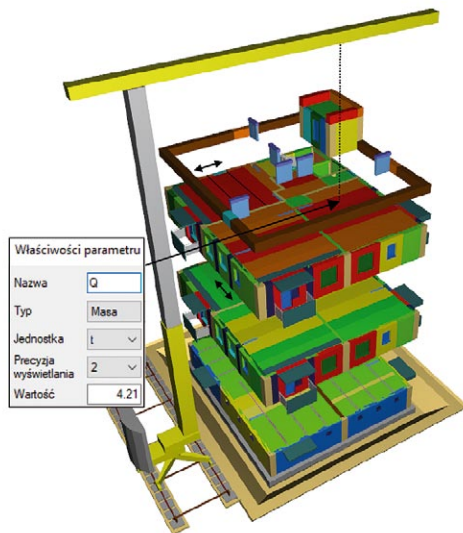
Liebherr K1 (rys. 1 i 2), traktując Potain Igo T jako alternatywę i podstawę wniosków opartych na innej próbie (opcja b), każdorazowo uwzględniając poza symbolem maszyn wybrane konfiguracje ich wieży i wysięgnika oraz przeciwwagi związanej także ze skrajną żurawia.

Żurawie analizowane stanowią przykład maszyn o dużym stopniu mobilności, ale opcją c jest stosowanie żurawi stacjonarnych, choć generują koszty stałe i przerwy w pracy, mogą jednak stanowić podstawę suboptymalizacji jako typoszereg. W tym celu ujęto w analizie polskie żurawie produkowane przez przedsiębiorstwo Krupński Cranes [6], którego żuraw górnoobrotowy KR 90 dostępny jest już w UE, jak i najnowsze modele KR w typoszeregu, a więc 96 i wdrażany 160, a niebawem 220 i 320, niestety wyłącznie w wersjach stacjonarnych, podobnie jak w przypadku Zakładu Budowy Urządzeń Dźwigowych (ZBUD) produkującego pierwszy model żurawia wieżowego ETC 6520 [15], a nieco wcześniej jezdniowy REX-25.

Udźwigi maksymalne samomontujących wieżowych żurawi szybko montujących w zakresie ze zbioru <4; 6; 8>, dla Liebherr K1 dodatkowo <4,2; 4,5>, dla KR <4; 5; 6; 8; 10>, a dla ETC <6; 8; 10> są użyteczne, choć udźwigi do 5 ton eliminują możliwość stosowania płyty stropowej S-720x180_q100 (przypadek płyty z wyeliminowanym kanałem istotnej w pewnych ustrojach), natomiast udźwig 4 tony eliminuje płyty stropowe S-600x150 i dłuższe, w tym istotne dla systemu płyty instalacyjne. Ponadto przykładowo w budynku średniowysokim (rys. 2) nie zastosowano ciężkiego prefabrykatu Z-290x300_O-120x120 (potencjalnie jedyne na kondygnacji) ani dwóch płyt stropowych S-720x180, co nie wydłużyło cyklu budowy (8 działek montażowych na kondygnacji) mimo zwiększenia liczby prefabrykatów o 3 sztuki na każdej kondygnacji, redukując jednak koszt we wszystkich trzech wariantach żurawi.

5. Podsumowanie

Omówione podejście prowadzi do podziału suboptymalnego na komponenty w modelu budynku, a w dalszej kolejności do podziału suboptymalnego na działki robocze przy ich uwzględnieniu lub do optymalizacji całościowej



uwzględniającej oba etapy łącznie. W tym sensie podział na komponenty projektowo-wykonawcze 3D BIM mógłby stać się stałą częścią projektowania budowlanego, harmonizując z analizą konstrukcji nośnych. Jeśli podział dokonany jest też wobec elementów traktowanych tradycyjnie jako niepodzielne, w tym monolityczne, możliwe jest prowadzenie wielu analiz technologiczno-konstrukcyjnych już we wstępnej fazie projektowania, czyniąc je elastycznym z uwagi na potencjał wariantowania. Podejście wdrożone w systemie ArCADia wymagało zdefiniowania komponentów i ich sklasyfikowania w formie

reprezentowalnej w eksportowanym pliku IFC, jako podstawie podejścia Open BIM, doprowadzono przy tym do uznania przez producenta zasadności modelowania zbrojenia wprost w modelu budynku, a nie tylko w wydzielonych elementach, jak dotychczas. W projekcie modele poddawane są analizom 4D/5D BIM w programie BIMestMate firmy Datacomp, który oferując poza funkcjonalnością kosztorysu moduł harmonogramu sieciowego jest w projekcie preferowany, zwłaszcza że na kanwie projektu producent programu uwzględni proponowane funkcje istotne z punktu widzenia 4D/5D BIM.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Biliński T., Gaczek W., Systemy uprzemysłowionego budownictwa ogólnego, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1982
- [2] Chojnacki J., Hyla R., Starosolski W., Stropy z płyt prefabrykowanych SPB-2002. Poradnik projektanta, Unidom, Katowice, 2003
- [3] Drobiec Ł., Stropy Vector. Koncepcja, kształtowanie, obliczanie, wykonawstwo, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2018
- [4] Jaszcak J., Technologie budowlane II. Politechnika Poznańska, IKB Alma Mater, Poznań, 2003
- [5] Jaworski K. M., Metodologia projektowania realizacji budowy, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2009
- [6] Krupński Cranes. Tower cranes. Gdańsk, 2023
- [7] Mielczarek Z., Nowoczesne konstrukcje w budownictwie ogólnym, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 2005
- [8] Rydlewski M., Budownictwo ogólne uprzemysłowione, Politechnika Krakowska, Kraków, 1996
- [9] Sadowski Z., Technologiczność prefabrykowanych konstrukcji żelbetonowych, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1983
- [10] Starosolski W., Elementy budownictwa uprzemysłowionego, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1976
- [11] Wiatr T., Studium przedsięwzięcia badawczo-dydaktycznego w ujęciu Open BIM PL – problemy i metody, Przegląd Budowlany 2/2021, str. 25–36
- [12] Wiatr T., Modelowanie przedsięwzięć budowlanych w ujęciu 4D/5D BIM i komponentów z klasami LOD, Przegląd Budowlany 11–12/2022, str. 90–93
- [13] Wiatr T., Modelowanie przedsięwzięć budowlanych w ujęciu harmonogramów 4D BIM z retrospektywą, Przegląd Budowlany 2/2023, str. 88–95
- [14] Wiatr T., Modelowanie przedsięwzięć budowlanych w ujęciu BIM z kontekstem planowania BLOZ, Przegląd Budowlany 7/2024, str. 104–108
- [15] Wilk A., Nowy żuraw wieżowy na rynku: ETC 6520. ZBUD, Dąbrowa Tarnowska, 2023

Efekt „białego słonia” w infrastrukturze sportowej – wyzwania i konsekwencje

The „white elephant” effect in sports infrastructure – challenges and consequences

dr inż. Maria Kośmiejka (ORCID: 0000-0001-6878-9595), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0981

Streszczenie: Artykuł podejmuje temat zjawiska „białego słonia” w kontekście infrastruktury sportowej, czyli kosztownych obiektów, które po zakończeniu wydarzeń masowych tracą swoje funkcje użytkowe i stają się obciążeniem ekonomicznym. Celem pracy jest analiza przyczyn tego zjawiska oraz identyfikacja czynników umożliwiających skuteczne planowanie i zarządzanie obiektami sportowymi. W artykule przedstawiono studia przypadków stadionów w Grecji, Brazylii i Rosji, które stały się przykładami nieefektywnych inwestycji, oraz obiektów olimpijskich w Londynie, które zostały pozytywnie przekształcone na potrzeby lokalnych społeczności. Na podstawie analizy sformułowano rekomendacje dotyczące zintegrowanego planowania, elastyczności projektowej oraz podejścia opartego na zrównoważonym rozwoju. Wskazano także, że wczesne uwzględnienie przyszłego użytkowania stadionów pozwala uniknąć ich degradacji oraz zapewnia trwałość inwestycji.

Słowa kluczowe: infrastruktura sportowa, „biały słon”, efektywność ekonomiczna, elastyczność.

Abstract: The article discusses the „white elephant” phenomenon in sports infrastructure-expensive venues that lose their function and become economic burdens after large-scale events. The aim of the study is to analyze the underlying causes of this phenomenon and identify factors that support effective planning and management of sports facilities. The paper presents case studies of stadiums in Greece, Brazil, and Russia, which illustrate failed investments, as well as London’s 2012 Olympic venues as an example of successful long-term planning. Based on the analysis, the article outlines recommendations emphasizing integrated urban planning, design flexibility, and sustainable development. The findings highlight that early consideration of future use ensures the long-term viability of sports infrastructure and prevents functional and financial decline.

Keywords: sports infrastructure, white elephant, economic efficiency, flexibility.

1. Wprowadzenie

Pojęcie efektu „białego słonia” zostało użyte już w 1973 roku w New York Times, który opublikował artykuł zatytułowany „Białe słonie”. Otwarto go słowami: „Kiedy syjamski despota ma pretensje do któregoś ze swoich poddanych i zamierza go zrujnować, nie konfiskuje mu własności. Przeciwnie – robi mu prezent. Posyła pięknego i zdrowego białego słonia. Nieszczęsny obdarowany od razu wie, że jego los jest przesądzony. Wie, że bestia zeżre wszystko, co tylko znajdzie. Nie może sprzedać ani oddać tego fatalnego prezentu, bo nikt go nie weźmie, a próba pozbycia się słonia będzie traktowana jako zdrada i świętokradztwo. Siada więc zrezygnowany i czeka na to, co nieuchronnie nastąpi, a słon pożera wszystko wokół” [1].

Opowieść ta zyskała dużą popularność, a w literaturze ekonomicznej termin „białe słonie” odnosi się do ogromnych, spektakularnych, lecz całkowicie nietrafionych inwestycji budowlanych. Takie przedsięwzięcia, zamiast przynosić korzyści społeczeństwu, generują straty i pochłaniają publiczne środki. Dlatego też efekt „białego słonia” to zjawisko, które stanowi bardzo duże wyzwanie dla współczesnych realizacji na całym świecie, w szczególności inwestycji na potrzeby dużych imprez

sportowych. Wiele z nich po zakończeniu wydarzeń tracą swoje znaczenie i stają się bardzo dużym obciążeniem finansowym dla właścicieli. Stadiony, centra kongresowe, porty lotnicze czy hotele, które początkowo miały służyć dużym wydarzeniom, często nie znajdują później praktycznego zastosowania i generują bardzo wysokie koszty utrzymania.

2. Przyczyny powstania efektu „białego słonia”

Decyzje o realizacji projektu nowego obiektu sportowego często są podejmowane pod wpływem emocji, chęci zwiększenia prestiżu czy przyciągnięcia inwestorów. Ponadto posiadanie takich obiektów bywa postrzegane jako symbol sukcesu, ponieważ budowa stadionu czy hali sportowej traktowana jest jako inwestycja w „wizerunek” danego regionu, który pokazuje się jako dobrze rozwinięty i gotowy do organizowania wydarzeń na najwyższym poziomie. Niestety, w wyniku tego często ignorowane są długoterminowe koszty związane z eksploatacją tych obiektów [2].

Wiele nowoczesnych obiektów sportowych jest budowanych lub modernizowanych na potrzeby organizacji jednorazowych, wielkich imprez sportowych, takich jak Mistrzostwa Świata czy

Igrzyska Olimpijskie. Po zakończeniu tych wydarzeń obiekty te często nie mają stałego, codziennego wykorzystania i utrzymują się z organizacji drobnych eventów, koncertów czy mniejszych imprez sportowych. W większości przypadków mają służyć jako centra rozrywki i turystyczne atrakcje.

3. Przykłady efektu „białego słonia” w sporcie

W infrastrukturze sportowej analiza konkretnych przypadków realizacji projektów pozwala na pełniejsze zrozumienie skali problemu oraz jego konsekwencji. Poniższe obiekty powstały na potrzeby międzynarodowych imprez sportowych, jednak po ich zakończeniu stały się nierentownymi inwestycjami. Niektóre z nich przekształciły się w symbole nieefektywnego zarządzania środkami publicznymi, a nawet błędnego projektowania infrastruktury eksploatowanej w zmiennym otoczeniu. Przedstawione przypadki mają na celu ukazanie różnych przyczyn oraz skutków powstania nieużytecznych lub niedostosowanych do lokalnych potrzeb obiektów.

Stadiony olimpijskie w Atenach (2004 r.)

Podczas przygotowań do XXVIII Letnich Igrzysk Olimpijskich w 2004 roku Ateny zdecydowały się na rozbudowę i modernizację istniejących obiektów oraz budowę nowych aren, aby sprostać wymaganiom międzynarodowych standardów tej rangi imprezy. Jednym z kluczowych elementów tych przygotowań była przebudowa Stadionu Olimpijskiego im. Spyrosa Louisa (koszt tej modernizacji wyniósł około 265 mln euro, co odpowiada około 405 mln euro w przeliczeniu na rok 2023), który został wyposażony w nowoczesny dach zaprojektowany przez hiszpańskiego architekta Santiaga Calatravę [3]. Całkowity koszt organizacji Igrzysk Olimpijskich wyniósł w przybliżeniu 8,5 mld euro, jednakże należy podkreślić, że były to koszty nie tylko wydane na obiekty sportowe, a również na organizację [3].

Pomimo początkowego optymizmu wiele z tych obiektów po zakończeniu igrzysk nie znalazło ponownego zastosowania. Przyczyn tego stanu było wiele, jednak do głównych należały [2]: brak długoterminowego planu użytkowania obiektów, znaczne problemy finansowe Grecji, która borykała się z rosnącym długiem publicznym ograniczającym możliwości



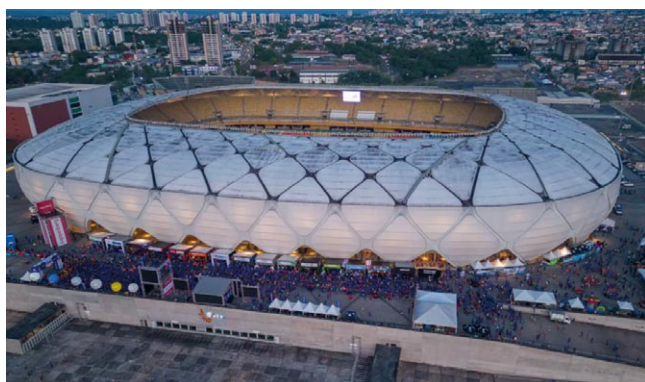
Rys. 1. Stadion Olimpijski im. Spyrosa Louisa [3]

finansowania adaptacji obiektów do nowych celów, oraz niedostosowanie obiektów do lokalnych potrzeb społeczności, co skutkowało ich niskim wykorzystaniem.

Konsekwencją tych zaniedbań była degradacja infrastruktury i w konsekwencji trwałe zamknięcie wielu obiektów. Dodatkowo wysokie obciążenie finansowe wynikające z kosztów utrzymania stadionów i hal pogłębiało już istniejący kryzys finansowy Grecji. Opuszczone i zaniedbane obiekty wpłynęły negatywnie na wizerunek kraju, gdyż stały się symbolem błędnego zarządzania środkami publicznymi.

Arena da Amazônia (Manaus, Brazylia 2014 r.)

Arena da Amazônia została wybudowana w miejscu starego Estádio Vivaldo Lima na Mistrzostwa Świata w Piłce Nożnej w 2014 roku. Koszt budowy wyniósł około 300 mln dolarów [4]. Niestety, już wkrótce po zakończeniu turnieju pojawiły się trudności związane z utrzymaniem stadionu. Jednym z głównych powodów była lokalizacja – Manaus nie jest piłkarskim centrum Brazylii, a lokalne kluby piłkarskie nie są na tyle duże by regularnie zapełniać tak duży obiekt sportowy. Koszty utrzymania obiektu są bardzo wysokie, wynika to zwłaszcza z wymagającego klimatu tropikalnego, który tam panuje. Ponadto, ze względu na swoje położenie, stadion nie ma zbyt wielu alternatywnych sposobów wykorzystania – w tym rejonie nie są organizowane duże wydarzenia kulturalne czy sportowe.



Rys. 2. Arena da Amazônia [4]

Współcześnie obiekt pełni jedynie ograniczoną funkcję, służąc sporadycznie jako miejsce organizacji koncertów, wydarzeń religijnych i imprez masowych. Uznawany jest za jeden z najmniej użytkowanych stadionów powstałych na Mistrzostwa Świata 2014 r.

Fisht Olympic Stadium (Soczi, Rosja 2014 r.)

Stadion został wybudowany jako główny obiekt Zimowych Igrzysk Olimpijskich 2014 r. w Soczi, gdzie odbyły się ceremonie otwarcia i zamknięcia. Po igrzyskach przeszedł przebudowę, w wyniku której jego pojemność zwiększono z 40 000 miejsc na 47 659 miejsc, aby mogły się na nim odbywać mecze Pucharu Konfederacji FIFA 2017 oraz Mistrzostwa Świata FIFA 2018 [5]. Jednak modernizacja nie uchroniła obiektu przed problemem braku regularnych wydarzeń sportowych i kulturalnych,



Rys. 3. Fisht Olympic Stadium [5]

co doprowadziło do wysokich kosztów utrzymania. W celu poprawy sytuacji finansowej zarząd stadionu wynajął obiekt klubowi PFC Soczi, jednak frekwencja na meczach tego zespołu pozostaje niska, przez co stadion nadal boryka się z problemem rentowności.

4. Konsekwencje ekonomiczne i społeczne

Podczas analizowania „efektu białego słonia” możemy wyróżnić dwa rodzaje konsekwencji, a mianowicie: ekonomiczne i społeczne.

Konsekwencje ekonomiczne wyrażane są przede wszystkim poprzez ogromne nakłady finansowe przeznaczone na inwestycje w infrastrukturę sportową na potrzeby wielkich wydarzeń. Koszt budowy stadionów, aren i infrastruktury towarzyszącej (drogi, hotele, transport) często przekracza początkowe założenia budżetowe, co prowadzi do wzrostu długu publicznego państwa – gospodarza [2]. Jednym z głównych powodów jest brak późniejszego wykorzystania obiektów po zakończeniu imprezy. W wielu przypadkach lokalne społeczności nie mają potrzeby korzystania z tak dużej infrastruktury sportowej, co sprawia, że stadiony generują jedynie wysokie koszty utrzymania, przynosząc minimalne zyski. Dobrym przykładem może być Estádio Mané Garrincha w Brazylii, który po Mistrzostwach Świata 2014 r. został przekształcony w parking dla autobusów, ponieważ nie było dla niego innego zastosowania [6]. Dodatkowo nadmierne wydatkowanie środków publicznych na infrastrukturę sportową może wywoływać niezadowolenie społeczne, zwłaszcza gdy fundusze te mogłyby zostać przeznaczone na bardziej potrzebne sektory, takie jak edukacja czy opieka zdrowotna.

Inwestycje sportowe niosą również daleko idące skutki społeczne. W niektórych przypadkach, podczas budowy infrastruktury sportowej były konieczne przesiedlenia tysięcy

ludzi, którzy zamieszkiwali tereny przeznaczone pod inwestycje. Takie sytuacje miały miejsca m.in. w Pekin (2008 r.), Rio de Janeiro (2016 r.) i Katarze (2022 r.), gdzie tysiące mieszkańców zostało przymusowo wysiedlonych, aby zrobić miejsce na nowe obiekty sportowe [1]. Ponadto po zakończeniu wydarzeń międzynarodowych wiele obiektów sportowych staje się niedostępnych dla lokalnej społeczności z powodu wysokich kosztów utrzymania, co jeszcze mocniej pogłębia problem zarządzania środkami publicznymi i ogranicza ich funkcjonalność.

5. Prawidłowe zarządzanie infrastrukturą sportową na przykładzie Londynu 2012 r.

Londyn, przygotowując się do Igrzysk Olimpijskich w 2012 roku, przyjął strategię trwałego dziedzictwa sportowego (Olympic Legacy Strategy), której celem było zagospodarowanie obiektów po zakończeniu zawodów [7]. Już podczas projektowania stadionów, hal czy aren uwzględniono ich przyszłe użytkowanie, co pozwoliło na uniknięcie marnotrawienia przestrzeni i środków publicznych.

Najbardziej udanym przykładem adaptacji obiektu sportowego do nowej funkcji jest Queen Elizabeth Olympic Park, czyli teren byłej wioski olimpijskiej. Został on przekształcony w przestrzeń wielofunkcyjną, która obejmuje mieszkania, biura, tereny rekreacyjne czy mniejsze obiekty sportowe dostępne dla lokalnej społeczności Londynu.

6. Podsumowanie

Zjawisko „efektu białego słonia” w infrastrukturze sportowej jest globalnym problemem, który wynika z nieprzemyślanego planowania, nadmiernych ambicji organizatorów i braku długoterminowej strategii wykorzystania obiektów po zakończeniu imprezy. Konsekwencje takich inwestycji obciążają budżety państwowe, generują straty ekonomiczne i mogą prowadzić do negatywnych skutków społecznych. Dlatego przed podjęciem decyzji o organizacji międzynarodowych wydarzeń sportowych niezbędne jest przeprowadzenie rzetelnej analizy ekonomicznej i społecznej, aby uniknąć powielania błędów przeszłości.

Prawidłowe planowanie i elastyczność infrastruktury mogą sprawić, że obiekty sportowe projektowane na wielkie wydarzenie nie staną się „białymi słoniami”. Zaprezentowana poniższa piramida przedstawia kluczowe aspekty, które należy uwzględnić

podczas projektowania stadionów, aby zapewnić jego funkcjonalność, rentowność i długoterminową użyteczność. Kluczowe aspekty to:

- projektowanie długoterminowe – podstawą prawidłowego projektu obiektu sportowego jest podjęcie kluczowych decyzji dotyczących jego funkcjonowania przez wiele lat;
- adaptowalność i elastyczność – powinno się projektować modułowo i wielofunkcyjnie, co pozwala na łatwe dostosowanie obiektu do różnych



Rys. 4. Centrum Sportów Wodnych w 2012 roku – Igrzyska Olimpijskie (lewa strona) i obecnie (prawa strona) [8]



Rys. 5. Piramida prawidłowego projektowania obiektów sportowych (opracowanie własne)

wydarzeń – od zawodów sportowych, przez koncerty, targi czy imprezy lokalne;

- lokalizacja i integralność lokalna – obiekty sportowe powinny być dobrze skomunikowane oraz odpowiadać na potrzeby mieszkańców. Muszą służyć społeczności dodatkowo jako miejsce do rekreacji czy wydarzeń kulturalnych;
- efektywność ekonomiczna – podczas projektowania powinien być wprowadzony taki moduł biznesowy, który zapewni źródła dochodu obejmujące: wynajem przestrzeni, organizacji wydarzeń, w tym współpracę z sektorem prywatnym;
- obiekt zrównoważony – finalnie należy dążyć do stworzenia obiektu, który będzie trwały, ekologiczny i rentowny.

Stosowanie powyższych zasad w praktyce pozwoli na zaprojektowanie stadionów, które nie tylko spełnią swoją pierwotną funkcję podczas imprezy masowej, ale także na długie lata staną się wartościową częścią przestrzeni miejskiej. Współczesne podejście do projektowania infrastruktury sportowej wymaga myślenia zarówno strategicznego, jak i elastycznego. Tylko w ten sposób możliwe jest uniknięcie „efektu białego słonia” i przekształcenie obiektów sportowych w trwałe inwestycje, które realnie służą społeczeństwu oraz generują korzyści ekonomiczne.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gadowski W., Nim nas zadepczą Białe Słonie, Forum Obywatelskiego Rozwoju 5/2018
- [2] Kozak M., Wielkie imprezy sportowe: sport, kultura czy biznes? [w:] B. Włodarczyk, B. Koprowiak (red.), Kultura i turystyka – wspólne korzenie, Regionalna Organizacja Turystyczna, Łódź, 2012
- [3] <https://www.money.pl/gospodarka/wydali-miliardy-na-organizacje-igrzysk-olimpijskich-teraz-obiekty-popadaja-w-ruine-7053936753375776a.html> (dostęp: 11.03.2025)
- [4] <https://modeoneventos.com.br/arena-da-amazonia-excelente-escolha-para-eventos-em-manaus/> (dostęp: 07.03.2025).
- [5] https://stadiumdb.com/news/2014/02/sochi_whats_next_for_fisht_not_much_sadly (dostęp: 07.03.2025)
- [6] https://stadiumdb.com/news/2015/03/brasilia_estadio_nacional_serves_as_office_and_parking (dostęp: 06.03.2025)
- [7] Kośmiejka M., Paślawski J., Elastyczne podejście do projektowania obiektów sportowych na podstawie Miasteczka Olimpijskiego w Londynie, Przegląd Budowlany 1/2021, str. 26–28
- [8] <https://www.construction21.org/case-studies/h/london-aquatic-center.html> (dostęp: 20.03.2025)



POLITECHNIKA POZNAŃSKA



INSTYTUT
BUDOWNICTWA

OFERTA INSTYTUTU BUDOWNICTWA POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ

BADANIA

Niszczące i nieniszczące materiałów budowlanych
Chemiczne i fizyczne materiałów
Mikrostruktury materiałów
Konstrukcji murowych, żelbetowych, stalowych i drewnianych
Ciepłno-wilgotnościowe przegród budowlanych

OPRACOWANIA NAUKOWO-TECHNICZNE

Ocena stanu technicznego obiektów budowlanych
Badania stanu i nośności elementów konstrukcji
Badania mykologiczne

SZKOLENIA

Organizacja specjalistycznych szkoleń
(np. w zakresie nowej edycji Eurokodów)

DORADZTWO

Wielokryterialna analiza w planowaniu inwestycji
Komputerowe wspomaganie organizacji budowy
Projektowanie napraw i wzmocnień konstrukcji
Zarządzanie i wycena nieruchomości
Kosztorysowanie (branża budowlana)
Doradztwo techniczne w sprawach technologii, materiałów, rozliczeń
Doradztwo inwestycyjne
Doradztwo menedżerskie

STRONA INTERNETOWA



KONTAKT

e-mail: office_se@put.poznan.pl
tel. +48 61 665 2457

Wieloletnia kontrola geodezyjna mostu wiszącego Garbary w Poznaniu

Long-term surveying control of the Garbary suspension bridge in Poznań

inż. Tomasz Berliński, Veolia Energia Poznań S.A., techn. Jerzy Jabłoński, dr inż. Janusz Karlikowski, inż. Robert Nowak, dr hab. inż. Wojciech Siekierski (ORCID: 0000-0002-1363-3574), Politechnika Poznańska, inż. Marek Przybyła, Veolia Energia Poznań S.A., dr hab. inż. Ireneusz Wyczałek (ORCID: 0000-0003-3963-8186), Politechnika Bydgoska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0982

Streszczenie: W przypadku mostów wiszących z pomostem wiotkim stabilny stan konstrukcji zapewnia równowaga sił wywołanych naciągiem cięgien nośnych i napinających. Postępujące w czasie zmiany usytuowania cięgien, zwłaszcza jeśli przekraczają efekty oddziaływań termicznych i regularnej eksploatacji, mogą zapowiadać awarię. Z tego powodu pomiary przemieszczeń cięgien nośnych i pylonów są jednym z podstawowych badań kontrolnych stanu technicznego mostów wiszących. W artykule przedstawiono wyniki, i płynące z nich wnioski, wieloletnich pomiarów geodezyjnych przemieszczeń cięgien nośnych i pylonów mostu wiszącego Garbary przez rzekę Wartę w Poznaniu, wybudowanego na użytek miejskiej sieci ciepłowniczej.

Słowa kluczowe: most wiszący, stan techniczny, deformacje, pomiary geodezyjne.

Abstract: In the case of suspension bridges with a flexible deck, the stable condition of the structure is ensured by the equilibrium of the forces induced by the tension of the main and auxiliary tendons. Progressive changes in their location over time, especially if they exceed the effects of thermal effects and regular operation, may be the sign of failure. For this reason, the control of the displacements of main tendons and pylons is one of the basic checks for suspension bridges. The paper gives the results and conclusions of long-term surveying control of displacements of main tendons and pylons of the Garbary suspension bridge over the Warta River in Poznań, built for the municipal district heating network.

Keywords: suspension bridge, technical condition, deformations, surveying.

1. Wprowadzenie

Mosty wiszące to konstrukcje, w których głównymi elementami niosącymi obciążenia są ciężna (liny) nośne [1]. Pomosty wczesnych mostów wiszących były wiotkie – zawieszone swobodnie na ciężnach nośnych miały sztywność giętą w płaszczyźnie pionowej powiązaną z rozstawem wieszaków. Deformacje cięgien, pod obciążeniem przekazywanym z pomostu, utrudniały użytkowanie, a swobodne zawieszenie pomostu na ciężnach nośnych czyniło go wrażliwym na efekty oddziaływań bocznych (wiatr). Współcześnie budowane mosty wiszące mają pomosty sztywne. Dlatego ten element określa się obecnie często mianem dźwigara usztywniającego – jego sztywność giętą w płaszczyźnie pionowej jest znacznie większa od tej, jakiej wymaga rozstaw wieszaków, a odpowiednio większa sztywność w płaszczyźnie poziomej (często też aerodynamiczny kształt przekroju poprzecznego) ogranicza niekorzystne skutki oddziaływań bocznych. Jest także grupa mostów wiszących, w których ograniczenie deformacji w płaszczyźnie pionowej i poziomej zapewnia system dodatkowych cięgien napinających. Do tej grupy należy wiele tzw. mostów rurociągowych [2]. Stabilny stan konstrukcji zapewnia równowaga sił wywołanych naciągiem

cięgien nośnych i napinających. Powoduje to określony, przewidziany w projekcie konstrukcji, rozkład sił wewnętrznych w samych ciężnach, a także w wieszakach i elementach pomostu. Postępujące zmiany wzajemnego usytuowania cięgien i pomostu, szczególnie jeśli przekraczają efekty oddziaływań termicznych i regularnej eksploatacji, mogą zapowiadać awarię. W związku z tym pomiary przemieszczeń cięgien nośnych i pylonów oraz pomostu są jednym z podstawowych badań kontrolnych stanu technicznego mostów wiszących.

Zagadnieniom pomiarów deformacji cięgien nośnych i pylonów mostów wiszących poświęcono w literaturze należną im uwagę. Wśród metod pomiarowych dominują te wykorzystujące globalne systemy nawigacji satelitarnej (GNSS), zwłaszcza oparte na globalnym systemie pozycjonowania (GPS) [3–6]. Rzadziej stosowane są techniki radarowe [7] i skanowanie laserowe [8]. Zakres zastosowań pomiarów przemieszczeń jest szeroki. Opisano system ciągłego monitorowania GPS do określania krótkotrwałych deformacji cięgien nośnych i pylonów mostu podwieszonego oraz przeanalizowano wpływ lokalizacji punktów pomiarowych na powtarzalność wyników pomiarów [5]. Przedstawiono zintegrowany system monitorowania przemieszczeń cięgien nośnych składający się z odbiorników GPS, z których jeden był zsynchronizowany z trójosiowym

Rys. 1. Widok ogólny z brzegu

akcelerometrem, co umożliwiło identyfikację częstotliwości drgań własnych monitorowanej konstrukcji za pomocą systemu hybrydowego [9]. Zaprezentowano globalny system pozycjonowania (GPS) w czasie rzeczywistym (RTK) do pomiaru i monitorowania drgań o niskiej częstotliwości cięgien nośnych mostu wiszącego średniej rozpiętości, w odpowiedzi na obciążenia środowiskowe [6]. Opisano system monitorowania wpływu wiatru i taboru na zachowanie mostów wiszących, w tym deformacje cięgien nośnych, wykorzystując dane geodezyjne, dynamiczne czujniki wiatru oraz zdalne wykrywanie optyczne [10]. Podjęto próbę identyfikacji czynników wpływających na przemieszczenia pionowe pylonów mostu wiszącego na podstawie wyników wielomiesięcznych pomiarów w oparciu o technologię GNSS oraz dane meteorologiczne [3]. Przedstawiono metody korekty długości wieszaków oraz pozycji zacisków kablowych na mostach wiszących w oparciu o wyniki pomiarów geodezyjnych [11]. Zaprezentowano zastosowanie niskokosztowego sprzętu GNSS do monitorowania przemieszczeń wierzchołków pylonów i cięgien nośnych w czasie rzeczywistym podczas procesu przeciągania cięgna przez siodło, przy czym, mimo uproszczenia modułu monitorującego, zachowano dokładność pomiarów podobną do oferowanej przez regularny sprzęt GNSS [4]. Przedstawiono pomiary deformacji cięgien nośnych wiszącego mostu autostradowego o dużej rozpiętości, jako weryfikację metody skanowania laserowego 3D, obejmującej planowanie trasy skanowania, wstępne przetwarzanie danych chmury punktów i wyodrębnianie wskaźników deformacji [8]. Omówiono metody kontroli deformacji oraz analizy kabli głównych w krótkich mostach wiszących, formułując związek między zmianami długości cięgna i zwisem w połowie rozpiętości i dostarczając wskazówek dotyczących regulacji cięgien [12]. Przedstawiono wyniki pomiarów tachimetrycznych mostu wiszącego i wykazano, że uzyskana dokładność pomiarów umożliwia wiarygodną ocenę stanu geometrycznego takiej konstrukcji [13].

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki, i płynące z nich wnioski, wieloletnich pomiarów geodezyjnych przemieszczeń cięgien nośnych i pylonów mostu wiszącego Garbary przez Wartę w Poznaniu, wybudowanego na użytek miejskiej sieci ciepłociągów.

Rys. 2. Widok fragmentu przęsła środkowego od strony dolnej wody

2. Charakterystyka konstrukcji mostu

Most Garbary przez rzekę Wartę w Poznaniu jest mostem wiszącym z wiotkim pomostem, wybudowanym w 1968 roku [14] – rysunki 1, 2. Pomost składa się z trzech przęseł: skrajnych o rozpiętości 18,00 m oraz środkowego o rozpiętości w osi pylonów 72,00 m (rys. 3). Do cięgien nośnych podwieszone jest tylko przęsło środkowe (nurtowe).

Głównymi elementami nośnymi są dwie pary stalowych cięgien 61Ø5mm. Cięgna w przęśle środkowym poprowadzone są po krzywej przestrzennej zbliżonej do paraboli drugiego stopnia i są kotwione w wierzchołkach pylonów – rysunki 2 i 3. W przęsłach skrajnych cięgna pracują jako odciągi, kotwione w pylonach i w masywach brzegowych. Odciągi są nachylone do płaszczyzny pylonów pod kątem 60°. Dzięki odchyleniu płaszczyzn cięgien nośnych od pionu o 30° oraz zastosowaniu dwóch cięgien 37Ø5 mm napinających pomost, zakotwionych w masywach brzegowych, uzyskano zwiększenie sztywności ustroju. Cięgna nośne i napinające wykonano ze stali o wytrzymałości $R_t = 1650$ MPa.

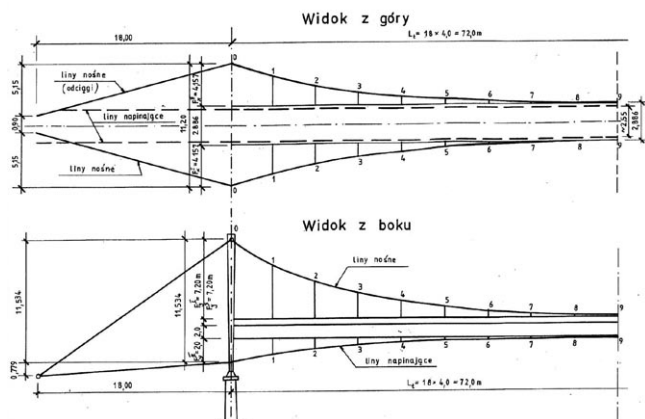
W celu zachowania poziomych, zmiennych na długości przęsła środkowego, odległości między odcinkami krzywoliniowymi cięgien, połączono je poziomymi ściągniętymi z prętów stalowych o średnicy Ø20 mm. W miejscach przymocowania ściągniętych do cięgien dołączono także stalowe wieszaki z prętów Ø30 mm, które utrzymują konstrukcję pomostu.

Pylony mają formę stalowych ram portalowych o kształcie trapezu (rys. 2) i są oparte na żelbetowych filarach. W przekroju podłużnym mostu oparcie ram na filarach jest przegubowe (przeguby sworzniowe). Słupy o spawanym przekroju krzyżowym są zbieżne ku dołowi. Rygle wykonano z dwuteowego przekroju spawanego połączonego na śruby ze słupami. Zastosowano stal konstrukcyjną St3S [15]. Rozstaw osiowy łóżysk na filarze wynosi 5,50 m, rozstaw osiowy słupów w poziomie osi górnego rygla jest równy 10,84 m, a wysokość od osi przegubu łóżyska do osi górnego rygla wynosi 11,60 m.

Żelbetowe filary, na których opierają się stalowe pylony, są posadowione na palach żelbetowych. Filary, o całkowitej szerokości 7,45 m, mają formę tarczy z pilastrami w rozstawie 5,50 m. Grubość tarczy między pilastrami wynosi 0,30 m. Filary wykonano z betonu marki $R_w = 20$ MPa wg [16] (około C14/18 wg [17]),

a pale z betonu marki $R_w = 25$ MPa (około C18/22,5). Zastosowano stal zbrojeniową St3SY o granicy plastyczności $R_e = 250$ MPa.

Masywy brzegowe są wykonane w postaci studni żelbetowych zagłębionych około 9,0 m poniżej terenu, wypełnionych kamieniami i betonem. Studnie mają poziomy przekrój kwadratowy 5,0x5,0 m i płaszczyznę o grubości 0,6 m. Wierzchnie studni zamknięty jest płytą żelbetową o grubości 1,2 m. Na płytach znajdują się żelbetowe bloki kotwiące, w których zamocowano spawane



Rys. 3. Schemat ustroju mostu Garbary w widoku z góry i z boku

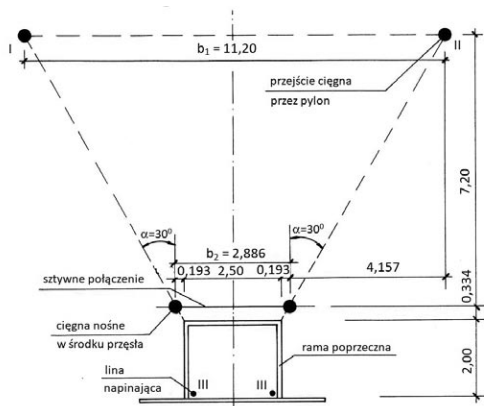
uchwyty głowic cięgien nośnych i napinających. Studnie wykonano z betonu marki $R_w = 17$ MPa (około C12/15), zbrojonego stalą St3SY ($R_e = 250$ MPa).

Konstrukcję pomostu stanowią sztywne, zamknięte ramy poprzeczne (rys. 4), rozmieszczone co 4,0 m w części podwieszanej, a poza pylonami w odległości 10,5 m od osi pylonów. Ramy mają rygle i słupy wykonane z par ceowników. Na dolnych ryglach ram poprzecznych, w rozstawie 2,20 m opierają się dwa ciężna napinające.

Do ram poprzecznych podwieszane są dwa ciepłociągi $\varnothing 500$ mm, w rozstawie 1,35 m, symetrycznie względem osi podłużnej konstrukcji.

3. Charakterystyka, zakres i wyniki pomiarów geodezyjnych

Położenie punktów pomiarowych na moście określano metodą trygonometryczną za pomocą dwóch tachimetrów elektronicznych firmy Leica i Trimble, z dokładnością pomiaru kąta $5''$ ($0,0005^\circ$) i dokładnością pomiaru odległości 2 mm dla celowych do 1 km. Wykorzystano dwa stanowiska instrumentów, zlokalizowane po obu stronach rzeki Warty. Pomiary prowadzono w nawiązaniu do widocznych trzech punktów pomiarowych na wierzchołkach pylonów, a ponadto do trzech punktów odniesienia poza mostem. Pomiarów dokonano w okresie 26 lat – w latach: 1997, 2007, 2013, 2018 i 2023. Punkty pomiarowe usytuowane



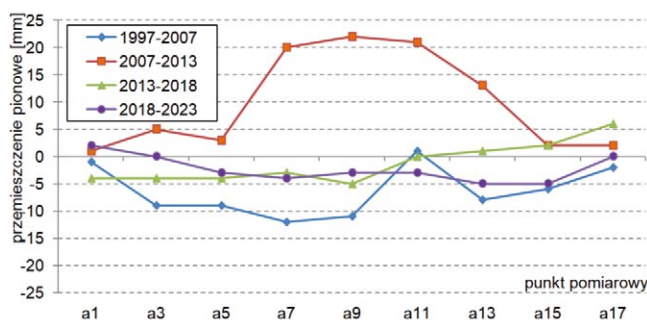
Rys. 4. Schemat przekroju poprzecznego przęsła nurtowego

były na ciężnach nośnych, w miejscach mocowania wieszaków, oraz na wierzchołkach słupów stalowych ram pylonów.

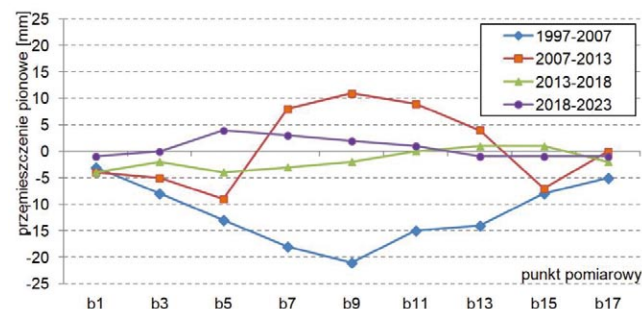
Przemieszczenia pionowe cięgien nośnych w okresach 1997–2007, 2007–2013, 2013–2018, 2018–2023 przedstawiono na rysunkach 5 i 6. Punkty pomiarowe oznaczone „aN” i „bN” usytuowane są na ciężnach, odpowiednio, po stronie wody górnej i dolnej. Numeracja punktów pomiarowych ($N = 1–17$) odpowiada numeracji ram pomostu – podano ją na rysunku 3. Pomierzone przemieszczenia pionowe w kolejnych okresach pięcioletnich mieściły się w przedziale od -21 mm do $+22$ mm. W analogicznych okresach przemieszczenia poziome poprzeczne tych punktów mieściły się w przedziale od -8 mm do $+8$ mm.

Wykazane na rysunkach 5 i 6 zaburzenia rozkładu przemieszczeń pionowych (rzędu kilku milimetrów), np. w okresie 2007–2013 w punktach a5, b5 i b15, mają charakter losowy – mogły być spowodowane przyczynami technicznymi lub błędami interpretacyjnymi wynikającymi z braku sygnalizacji punktów (pomiar na szczegóły obiektu). Potwierdzają to wyniki kolejnych pomiarów, które nie wykazały powtarzalnej lokalizacji zaburzeń.

Całkowite przemieszczenia pionowe i poziome poprzeczne cięgien nośnych w okresie 1997–2023 pokazano na rysunkach 7 i 8. Całkowite przemieszczenia pionowe mieściły się w przedziale od -14 mm do $+10$ mm w przypadku ciężna po stronie wody górnej oraz od -21 mm do -5 mm w przypadku ciężna po stronie wody dolnej. Całkowite przemieszczenia poziome poprzeczne w analogicznym okresie mieściły się w przedziale od -7 mm do $+16$ mm w przypadku ciężna po stronie wody górnej oraz od -1 mm do $+11$ mm w przypadku ciężna po stronie wody dolnej.



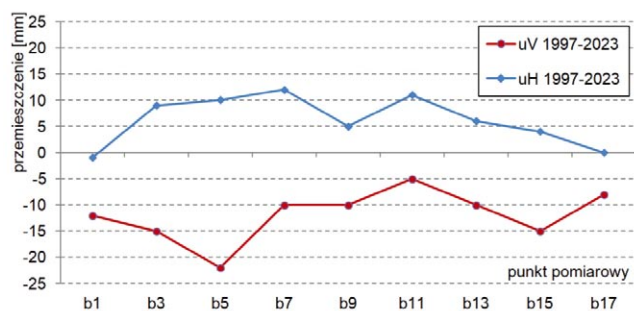
Rys. 5. Przemieszczenia pionowe ciężna nośnego po stronie górnej wody



Rys. 6. Przemieszczenia pionowe ciężna nośnego po stronie dolnej wody



Rys. 7. Przeszaczenia pionowe (u_V) i poziome poprzeczne (u_H) cięćna nośnego po stronie górnej wody w okresie 1997–2023



Rys. 8. Przeszaczenia pionowe (u_V) i poziome poprzeczne (u_H) cięćna nośnego po stronie dolnej wody w okresie 1997–2023

Tabela 1. Przeszaczenia wierzchołków pylonów

Punkt pomiarowy	Przeszaczenie [mm] w poprzek mostu		Przeszaczenie [mm] wzdłuż mostu		Przeszaczenie [mm] w kierunku pionowym	
	2013–2018	2018–2023	2013–2018	2018–2023	2013–2018	2018–2023
a0	16	-7	-2	10	30	-25
a18	–	–	–	–	–	–
b0	-5	12	-4	11	19	-8
b18	6	11	11	-10	-5	-12

Pomiary przeszaczeń wierzchołków pylonów zestawiono w tabeli 1. Punkty pomiarowe a0 i a18 usytuowane były na wierzchołkach pylonów po stronie górnej wody (punkt pomiarowy a18 nie był widoczny), a punkty pomiarowe b0 i b18 – na wierzchołkach pylonów po stronie wody dolnej. Tabela 1 pokazuje, że pomierzone przeszaczenia wierzchołków pylonów w kolejnych okresach pięcioletnich mieszczą się w przedziale od -25 mm do +30 mm.

4. Podsumowanie

W ramach współpracy Politechniki Poznańskiej z Veolią Energią Poznań przeprowadzono pomiary geodezyjne przeszaczeń mostu wiszącego spowodowanych opróżnieniem jednego z dwóch ciepłociągów [18]. Zanotowano maksymalne przeszaczenia pionowe cięćen nośnych 128 mm. Po ponownym napełnieniu ciepłociągu zmiany usytuowania cięćen nośnych, względem stanu przed opróżnieniem, nie przekroczyły 8 mm. W tym świetle można uznać, że przeszaczenia cięćen nośnych i pylonów mostu wiszącego Garbary, rejestrowane podczas kolejnych pomiarów kontrolnych w okresie 1997–2023, są efektem naturalnej pracy konstrukcji podczas jej regularnej eksploatacji.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gazzola F., Brief History of Suspension Bridges, [w]: Mathematical Models for Suspension Bridges, Springer, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-15434-3_1
- [2] Prokopowicz D., Bryja D., Wiszące mosty rurociągowo historya i przegląd stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych, Przegląd Budowlany 9/2015, str. 30–37
- [3] Chen Q., Jiang W., Meng X. et al., Vertical Deformation Monitoring of the Suspension Bridge Tower using GNSS: A Case Study of the Forth Road Bridge in the UK, Remote Sensing, 10(3)2018, doi: 10.3390/rs10030364

- [4] Zhao L., Yang Y., Xiang Z. et al., A Novel Low-Cost GNSS Solution for the Real-Time Deformation Monitoring of Cable Saddle Pushing: A Case Study of Guojia-tuo Suspension Bridge, Remote Sensing 14(20)2022, doi: 10.3390/rs14205174
- [5] Wieser A., Brunner F. K., Analysis of Bridge Deformations using Continuous GPS Measurements, Proceedings of 2nd Conference of Engineering Surveying, INGEO2002, Kopáček A. and Kyrinovič P. (eds), Bratislava, November 2002, str. 45–52

- [6] Li H. N., Yi T. H., Gu M., Full-Scale Measurements of Dynamic Response of Suspension Bridge Subjected to Environmental Loads using GPS Technology, Science China Technological Sciences 53(2)2002, str. 469–479, doi: 10.1007/s11431-010-0051-2
- [7] Zhou Y., Hao G., Qin X., Yi F., & Tan, Z., A Refined Ds-Insar Technique for Long-Term Deformation Monitoring of Low-Coherence Bridge Groups, SSRN, 2024, doi: 10.2139/ssrn.5079099
- [8] Feng D., Wang H., Wu G., Pan Y., Lu J., Geometrical morphology and deformation measurement of long-span suspension bridge based on terrestrial laser scanning, Structure and Infrastructure Engineering 16(1)2024, doi: 10.1080/15732479.2024.2403583
- [9] Roberts G. W., Meng X., Dodson A. H., Integrating a Global Positioning System and Accelerometers to Monitor the Deflection of Bridges, Journal of Surveying Engineering, 130(2)2004, str. 65–72, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9453(2004)130:2(65)
- [10] Snæbjörnsson J. T., Jakobsen J. B., Full-Scale Monitoring of Wind and Suspension Bridge Response, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, doi:10.1088/1757-899X/276/1/012007
- [11] Zhang W., Shi L., Li L., Liu Z., Methods to Correct Unstrained Hanger Lengths and Cable Clamps' Installation Positions in Suspension Bridges, Engineering Structures 171, 15/2018, str. 202–213, doi: 10.1016/j.eng-struct.2017.12.004
- [12] Shah Y. I., Hu Z., Huang J., Main cable structure analysis and construction control of short span suspension bridge within three-tower, Structures 69/2024, doi: 10.1016/j.istruc.2024.015698
- [13] Cybulski P., Wyczałek I., Metoda trygonometryczna w pomiarach przeszaczeń mostowej przeprawy miejskiej sieci ciepłowniczej, Archives of Institute of Civil Engineering 27/2018
- [14] Przegląd okresowy pięcioletni mostu wiszącego Garbary w Poznaniu, opracowanie Instytutu Inżynierii Łądowej (IIL) Politechniki Poznańskiej, październik 2023
- [15] WP-DP7. Wytyczne projektowania stalowych mostów drogowych. Załącznik do zarządzenia Ministra Komunikacji i Ministra Gospodarki Komunalnej z dnia 20 lutego 1963 r.
- [16] PN-58/B-03261: Betonowe i żelbetowe konstrukcje mostowe. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [17] PN-EN 1992-1-1: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
- [18] Raport z geodezyjnego pomiaru deformacji mostu Garbary w Poznaniu wskutek opróżnienia i ponownego napełnienia wodą ciepłociągu południowego, opracowanie Instytutu Inżynierii Łądowej (IIL) Politechniki Poznańskiej, październik 2020

Wybrane kierunki współczesnych innowacyjnych rozwiązań w drogach kolejowych

The chosen trends of present innovative solutions in railroads

dr hab. inż. Włodzimierz Bednarek (ORCID: 0000-0002-3693-9621), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0983

Streszczenie: W artykule opisano kierunki współczesnych innowacyjnych rozwiązań w drogach kolejowych. Dotyczą one możliwości zwiększania jej trwałości, spowolnienia postępującej degradacji, ochrony środowiska oraz metody ponownego wykorzystania materiałów staroużytecznych i stosowania sprawdzonych innowacji technologicznych. W pracy przedstawiono ciekawe poznawczo kierunki i tendencje analiz w zakresie ograniczania hałasu, elementów z materiałów odpadowych (stosowanych w podkładach z tworzyw sztucznych i elementach elastycznych (USP, UBM)) czy staroużytecznych (przemysłany recykling podsypki), czasowej retencji (np. zielone torowiska tramwajowe), jak i nowatorskie analizy zastosowania nowych technologii (panele słoneczne czy lekka podsypka).

Słowa kluczowe: podsypka, recykling, elementy elastyczne, hałas.

Abstract: In this paper the trends of present innovative solutions in railroads are described. They refer to the possibilities of increasing its durability, slowing down the progressive degradation, environmental protection and methods of reusing old-use materials and using proven technological innovations. The paper presents interesting cognitive directions and trends of analyses in the field of reducing noise, elements from waste materials (used in composite sleepers and flexible elements (USP, UBM)) or old-use materials (thoughtful recycling of ballast), temporary retention (e.g. green tram tracks), as well as innovative analyses of the use of new technologies (solar panels or lightweight ballast).

Keywords: ballast, recycling, elastic elements, noise.

1. Wprowadzenie

Transport kolejowy ma wiele zalet (możliwości przewozowe, wysoka wydajność, niezawodność eksploatacyjna, duże prędkości pojazdów), jednak zwiększone natężenie ruchu i przekazywane obciążenia generują problemy techniczne. Powodują przemieszczenia, siły i naprężenia na torach kolejowych, dlatego badania techniczne, laboratoryjne i terenowe poszukujące nowych rozwiązań są w dalszym ciągu bardzo potrzebne i istotne [1, 2]. Wzrost prędkości i przewożonego ładunku powoduje wzrost sił przenoszonych na konstrukcję toru kolejowego oraz wzrost interakcji dynamicznych i hałasu powodowanego przez poruszające się pociągi [3]. Dodatkowo większa prędkość i powstające siły prowadzą do wzrostu oddziaływań dynamicznych, sukcesywnego zanieczyszczania podsypki i warstw ochronnych oraz degradacji elementów współpracujących itp. [4, 5]. Stąd, jeśli znaczenie linii kolejowych i konstrukcji torów kolejowych ma w dalszym ciągu wzrastać, poszukiwanie nowych rozwiązań dla powstających niekorzystnych skutków tych trudności jest niezbędne dla rozwoju i dalszej ewolucji transportu kolejowego. Istnieje zatem konieczność poszukiwania i stosowania nowoczesnych rozwiązań (w celu wydłużenia trwałości, zdolności eksploatacyjnej drogi kolejowej i spowolnienia postępującej degradacji). W pracy przedstawiono kierunki współczesnych innowacyjnych rozwiązań w zakresie:

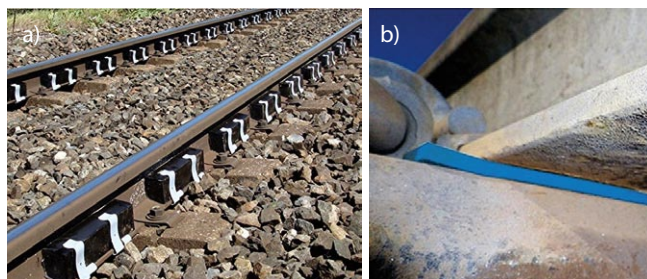
- ochrony środowiska (ograniczenie hałasu i drgań),
- wykorzystania materiałów odpadowych (w podkładach z tworzyw sztucznych),
- czasowej retencji wody (alternatywne nawadnianie w porze suchej),
- wykorzystania materiałów staroużytecznych (recykling podsypki),
- poszukiwania lekkiej podsypki czy zastosowania paneli słonecznych na podkładach.

2. Ochrona przed hałasem

Kolej, tak jak inne środki transportu wytwarza hałas, który ma negatywny wpływ na środowisko i organizm człowieka. Przejeżdżający pojazd szynowy wywołuje hałas, na który składają się [6]:

- hałas związany z toceniem się kół po szynach,
- hałas, którego źródłem jest pojazd,
- hałas aerodynamiczny związany z pokonywaniem przez pojazd oporów powietrza.

Odgłos toczenia się kół po szynach jest głównym źródłem hałasu występującym podczas przejazdu pociągów po linii kolejowej. Emisja hałasu i drgań to jeden z najpoważniejszych wyzwań stawianych drodze kolejowej. Całkowite wyeliminowanie wszystkich składowych nie jest możliwe, jednak możliwe



Rys. 1. Stosowane elementy elastyczne w torze kolejowym: a) amortyzatory szynowe [8], b) przekładki podszynowe [9]

ograniczenie jego wielkości czy wpływu. Stosowane rozwiązania w zakresie ochrony przed hałasem muszą spełniać podstawowe warunki (środki i produkty nie mogą zanieczyszczać środowiska, emitować niebezpiecznych substancji czy powodować przekroczenia określonych poziomów emisji). W drogach kolejowych istnieje wiele rozwiązań wpływających na skuteczne obniżenie poziomu hałasu [2, 7]:

- ekrany akustyczne – w zależności od wysokości, od 3 do ponad 10 dB,
- użycie nowoczesnych pojazdów szynowych – około 10 dB,
- amortyzatory szynowe – w zależności od użytej technologii 1–4,4 dB (rys. 1a),
- maty absorbujące drgania – około 5 dB (rys. 1b),
- maty podtorowe – nawet do 15 dB (bardzo dobre tłumienie drgań),
- elastyczne podkładki podpodkładowe – 8–15 dB (dla częstotliwości ponad 40 Hz),
- elastyczne przekładki podszynowe – około 3 dB,
- podkłady z tworzyw sztucznych – około 3–5 dB.

Koncepcje zastosowania amortyzatorów szynowych otwierają możliwości testowania całkowicie nowych materiałów – np. *Composite Heavy Fluid Compound* (CHFC) [10]. Ten materiał kompozytowy wykorzystano np. w systemie redukującym hałas CL-E1 dla szyn na łukach jako część technologii *Wear Out and Noise Reduction On Source* (WONROS) [10].

Maty wibroizolacyjne o grubości 15–30 mm są stosowane głównie do konstrukcji podsypkowych, układa się je bezpośrednio pod podsypką. Wykonane są zazwyczaj z naturalnej gumy i zabezpieczone geowłókniną. Maty można również układać w nawierzchni bezpodsypkowej (znajdują się one bezpośrednio pod betonową płytą). Konstrukcja mat powinna zapewniać [6]:

- możliwość dostosowania grubości i sztywności maty do przewidywanych obciążeń,
- izolację elektryczną i chemiczną neutralność,
- możliwość recyklingu.

3. Podkłady z tworzyw sztucznych

Dbanie o naturalne środowisko wymaga spełniania wymagań ekologicznych (np. w zakresie ograniczania wycinki drzew czy ciągłego zwiększania się odpadów syntetycznych), generuje analizy i badania w zakresie wykorzystania materiałów np. odpadowych do produkcji podkładów kolejowych (rys. 2).

Rys. 2. Podkłady z tworzyw sztucznych [11]

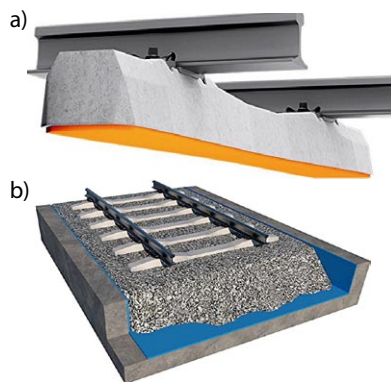
Po pomyślnych testach w Japonii i Europie stwierdzono, że podkłady z tego materiału spełniają wszystkie normy i mogą zostać dopuszczone do użytku [12]. Ich największą zaletą jest 100% odnawialność, co odpowiada zamierzeniom Unii Europejskiej odnośnie Gospodarki Zamkniętego Obiegu [13]. Hałas zmniejszają o 3–5 dB w odniesieniu do podkładów drewnianych, znacznemu zredukowaniu ulegają najwyższe częstotliwości, które dla ludzi są najbardziej uciążliwe. Taki typ podkładów powoduje możliwość swobodnego kształtowania przekroju i wymiarów. Trwałość eksploatacyjna wynosi ponad 50 lat. Nie wymagają prawie żadnych kosztów utrzymaniowych. Mimo wszystkich tych zalet mają też istotne wady (obniża się stateczność toru bezстыkowego (zwiększone ryzyko wybooczenia)). Stąd konieczne jest bardzo dobre utrzymanie warstwy podsypki, co zwiększa koszty jej eksploatacji. Zmniejszony koszt eksploatacyjny podkładów z tworzyw sztucznych niestety nie kompensuje ich dużej ceny, która może być nawet kilkukrotnie większa od obecnie najczęściej stosowanych podkładów betonowych czy drewnianych. Wraz z poprawą technologii produkcji i zmniejszeniem ceny, podkłady te niewątpliwie mają szansę zostać w przyszłości powszechnie używanymi podkładami kolejowymi [12].



4. Elementy elastyczne w drodze kolejowej

Stosowanie elementów elastycznych w drodze kolejowej, podobnie jak podkładów z tworzyw sztucznych, otwiera nowe możliwości wpływu na spowolnienie degradacji drogi kolejowej, hałasu czy drgań. W nawierzchni kolejowej stosowane są głównie takie elementy elastyczne jak: przekładki podszynowe, USP (*Under Sleeper Pads*), UBM (*Under Ballast Mats*) czy UTM (*Under Track Mats*) – rysunek 3.

Przekładki podszynowe zapewniają sprężystość nawierzchni, jednocześnie zmniejszając oddziaływania dynamiczne przenoszone na elementy podporowe. Ich dodatkowymi zaletami jest izolacja elektryczna toru, ograniczenie pełzania szyn i ścierania się powierzchni współpracujących ze sobą elementów. Podkładki stosowane pod przytwierdzeniem



Rys. 3. Typowe elementy elastyczne stosowane w torach kolejowych: a) podkładki podpodkładowe [14], b) maty podsypkowe UBM [15]

klasycznym typu *K* są zazwyczaj płaskie, natomiast te stosowane w przytwierdzeniach typu *SB* mają widoczną falistą powierzchnię, dzięki której zwiększa się tłumienie drgań. Podkładki podpodkładowe (USP) produkowane są ze sprężystego materiału tłumiącego drgania. Zazwyczaj z obu stron jest pokryty geowłókniną, a materiały połączone są ze sobą w procesie wulkanizacji. Geowłóknina ma za zadanie zabezpieczenie elastycznego materiału przed uszkodzeniem. Podkładki stosuje się głównie w celu zmniejszenia zużycia podsypki (90% przypadków), a jedynie w 10% przypadków w celu zmniejszenia drgań nawierzchni. Zakres wibroizolacyjności podkładek może sięgać aż do 20 dB. Ich dodatkową zaletą jest zwiększenie sprężystości całej nawierzchni, co zwiększa trwałość nawierzchni kolejowej.

Maty podtorowe stosowane są w obu typach nawierzchni kolejowej. W nawierzchni podsypkowej używa się mat UBM, natomiast w nawierzchni bezpodsypkowej mat UTM. Ze względu na możliwość wbudowania w każdy rodzaj toru są powszechnie stosowane w miejscach narażonych na wzmożone drgania oraz w miejscach gdzie drgania muszą być zmniejszone, tj. mosty, tunele, stacje. Efektywność mat w nawierzchniach podsypkowych wykazały konserwacje przeprowadzone w Niemczech na trasie dużych prędkości Hanower – Würzburg. Wykazano, że po 21 latach mata zwiększyła swoją sztywność tylko o 11,2%, co wpłynęło na zmniejszoną ilość napraw oraz spowolnienie degradacji toru [2]. Związane jest to z dużą powierzchnią maty, która zmniejsza naprężenia przenoszone przez podsypkę na torowisko [2]. Stosowanie elementów sprężystych (przekładki podszynowe, USP, UBM w nawierzchni kolejowej) zawarto w tabeli 1 [2, 7].

5. Stosowane rozwiązania w podsypce nawierzchni kolejowej

Podsypka tłuczniowa jest najsłabszym elementem podsypkowej nawierzchni kolejowej. Jej zły stan jest główną przyczyną obniżenia jakości stanu toru i generuje negatywne skutki (zwiększenie oddziaływań dynamicznych). Pod obciążeniem eksploatacyjnym następuje jej zanieczyszczanie, rozluźnienie

czy wypieranie. Powoduje to odkształcenia toru, które są bezpośrednią przyczyną powstawania hałasu kolejowego. Ciekawym rozwiązaniem jest konstrukcja nawierzchni kolejowej z kompozytem tłuczniowym (z zastosowaniem geosyntetyków) [16]. Tłuczeń jest uzbrojony geosiatkami i miejscowo stabilizowany chemicznie. Zaletą tego rozwiązania jest mechaniczne i chemiczne zabezpieczenie podsypki. Mechaniczne uodpornienie podsypki uzyskuje się poprzez zastosowanie geosiatek lub geowłóknin na styku z podtorzem. Po zagęszczeniu pierwszej warstwy tłucznia układana jest druga geosiatka. Po odpowiednim ukształtowaniu tłucznia przeprowadza się stabilizację toru stabilizatorem dynamicznym. W obszarach narażonych na intensywne drgania wykonywana jest stabilizacja chemiczna w sposób natryskowy na bazie żywic poliuretanowych [16, 17].

Kolejnym kierunkiem prowadzonych badań i analiz jest przemysłany recykling podsypki [18]. Składem ziarnowym kruszyw wytwarzanych z kamienia łamanego lub pozyskiwanych w procesie recyklingu staroużytecznej podsypki można sterować w procesie produkcji. Stąd, w większości przypadków, są to kruszywa o dużej przydatności do budowy warstw ochronnych. Charakteryzują się dużą wartością wskaźnika różnoziarnistości $U = d_{60}/d_{10}$ (rys. 4), co wynika głównie z dużej zawartości ziaren o średnicy większej od 4 [mm] (często ponad 60%). Kruszywa te łatwo się zagęszczają, a ich podatność na rozgęszczenie w czasie eksploatacji jest znikoma [18]. Skład ziarnowy badanych próbek, gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od wilgotności kruszywa łamanego (o uziarnieniu 0–31,5 mm pozyskanego w procesie recyklingu podsypki) pokazano na rysunku 4.

Dla krzywej z rysunku 4 (kolor niebieski ciągły), wilgotność optymalna w_{opt} wynosi 5,64 [%] przy gęstości 2,009 [g/cm³]. Tak niska wartość wilgotności optymalnej dla materiału uzyskanego z recyklingu podsypki jest szczególnie ważna podczas prowadzenia robót kolejowych (zagęszczanie podsypki czy niesortu kamiennego) w okresie letnim.

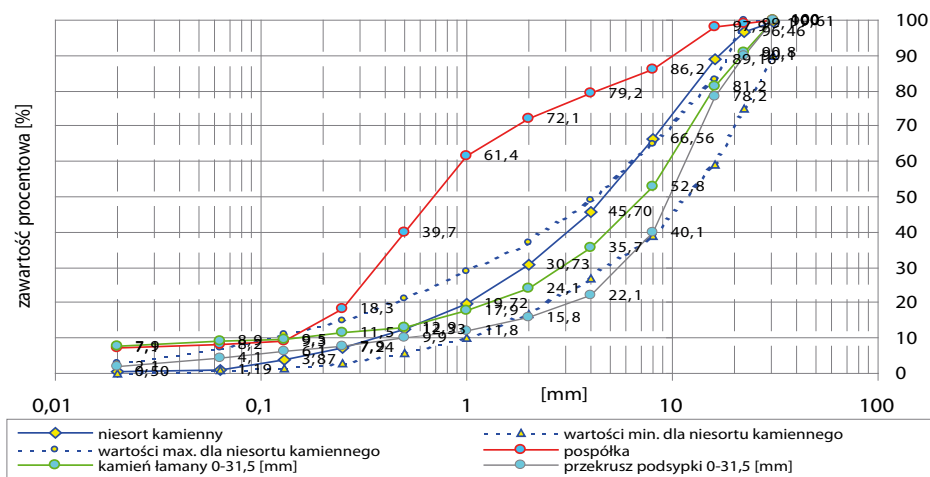
Innym ciekawym poznawczo kierunkiem badań i analiz jest możliwość zastosowania lekkiej podsypki. W celu zmniejszenia

przeciążeń powodowanych przez nasyp kolejowy na podatnym (słabym) podłożu można zastosować różne rodzaje lekkich, naturalnych i sztucznych materiałów ziarnistych. Dwa z nich, Leca – lekkie kruszywo z keramzytu (rys. 5a) i Glasopor – kruszywo ze szkła pienionego (rys. 5b), zostały przetestowane w ramach projektu Destination Rail, aby ocenić ich możliwe zastosowanie w budownictwie kolejowym [19]. Cechy charakterystyczne tych ultra lekkich materiałów ziarnistych to: niewielka gęstość objętościowa, mała nasiąkliwość oraz wysokie parametry wytrzymałościowe [19].

Tabela 1. Zastosowanie elementów sprężystych w nawierzchni według ich sztywności

Zastosowanie	Przekładki podszynowe		USP (Under Sleeper Pads)		UBM (Under Ballast Mats)	
	sztywne	miękkie	sztywne	miękkie	sztywne	miękkie
Zmniejszenie ugięć szyny	+		+			
Redukcja uszkodzeń podkładów		+				
Redukcja ruchów i drgań podkładów			+			
Zmniejszenie osiadań podsypki wskutek redukcji naprężeń				+	+	+
Zmniejszenie naprężeń przekazywanych na torowisko		+				
Redukcja sztywności toru		+		+		
Dłuższa żywotność przytwierdzeń	+					
Redukcja degradacji podsypki				+	+	+
Zmniejszenie drgań w podkładzie i podsypce		+				
Zmniejszenie grubości podsypki			+		+	+
Łatwość wymiany podczas eksploatacji	+	+				

Rys. 4. Skład ziarnowy próbek i gęstość objętościowa badanych próbek; krzywe uziarnienia kruszyw: pospółki, mieszanki z kamienia łamanego (uziarnienie 0–31,5 mm) oraz przekruszonej staroużytecznej podsypki tłuczniowej (uziarnienie 0–31,5 mm) – materiały do zastosowania podczas budowy warstw ochronnych podtorza



Materiał ziarnisty stosowany w nasypach kolejowych poddawany jest dużym naprężeniom. Badano dwa typy kruszyw (Leca oraz Glaspor) o małej masie za pomocą serii testów trójosiowych z powtarzanym obciążeniem cyklicznym (symulując warunki środowiska kolejowego). Wyniki testu wskazują, że kruszywa typu Leca oraz Glaspor wpływają na zmniejszenie drgań w zakresie częstotliwości od 40 do 63 Hz. Na słabym podłożu dominuje zakres częstotliwości od 6,3 do 16 Hz, a przy wyższej częstotliwości znajduje się bardzo mała energia drgań. W przypadku występowania podłoża sztywnego kruszywa te mogą być wykorzystywane jako środek ograniczający vibrację. Kruszywa Leca i Glaspor odznaczają się jednak dużo mniejszą wytrzymałością w stosunku do zwykłego tłucznia. Stąd powinny być wykorzystywane jedynie w szczególnych okolicznościach (np. konieczność zmniejszenia ciężaru budowli na terenach narażonych na szkody górnice).

6. Nowe rozwiązania w odwadnianiu i czasowej retencji wody

Konstrukcje nawierzchni bezpodsypkowych z betonową płytą nośną są najbardziej rozpowszechnione. Istnieje wiele gotowych systemów tej technologii, jednym z nich jest LVT (*Low Vibration Track*) – produkt firmy Soneville [20, 21]. Jest to jedno z najstarszych rozwiązań nawierzchni bezpodsypkowych. Prace nad jego wdrożeniem firma rozpoczęła w latach 60. we współpracy z kolejami szwajcarskimi SBB. Pierwsze odcinki torów w tej technologii powstały na początku lat 80. System LVT składa się z betonowego bloku, wkładki elastycznej i sprężystych trzonów, które są zatopione w niezbrojonej betonowej płycie. System współpracuje z wieloma rodzajami przytwierdzeń sprężystych, konieczne jest tylko ułożenie bezpośrednio pod szyną elastycznej podkładki. Jedną z wielu zalet systemu LVT jest mała wysokość

Rys. 5. Lekkie kruszywo keramzytowe i granulowane szkło pienione (Leca i Glaspor) [19]

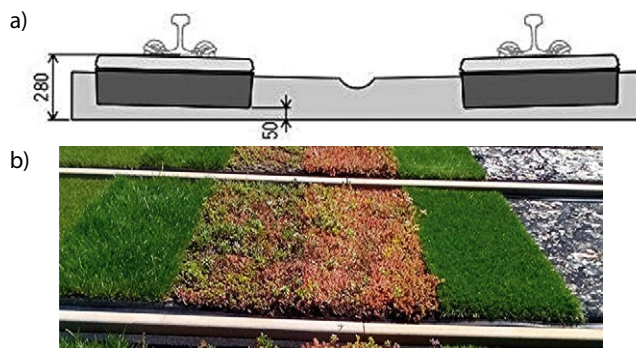


konstrukcyjna, dzięki czemu znajduje zastosowanie w tunelach, gdzie pozwala zredukować przekrój budowli. LVT ma specjalny system odwodnienia – woda kierowana jest do środka betonowej płyty, gdzie dzięki pochyleniu podłużnemu trasy, płynie między szynami do miejsca w którym może być retencjonowana (możliwa rezygnacja z rowów odwadniających – rysunek 6a).

Jednym z ciekawych zastosowań mat absorbujących drgania może być przykład z Koszyc na Słowacji (linia tramwajowa z matami STERED czeskiej firmy BRENS (rys. 6b) [22]). Do ich wytworzenia wykorzystano odpady z branży motoryzacyjnej tj. stare opony czy tekstylia. Kolejnym aspektem środowiskowym jest zastosowanie w nich technologii retencyjnej pozwalającej na magazynowanie ponad 80 litrów wody deszczowej na metr kwadratowy. Akumuluje się ona w matach i z czasem wyparowuje nawadniając florę znajdującą się w pobliżu torowiska. Zastosowanie syntetycznej trawy, która przez cały rok pozostaje zielona oraz użycie żywej roślinności wpływa również pozytywnie na użytkowników komunikacji tramwajowej. Zastosowane rozwiązanie pozwoliło na zredukowanie hałasu o ponad 5 dB.

7. Adaptacja innowacji technologicznych – panele słoneczne w torach

W 2018 roku po raz pierwszy zaprezentowano ideę paneli fotowoltaicznych na torach (rys. 7) [23]. Analizowano wpływ



Rys. 6. Rozwiązania w odwadnianiu nawierzchni i czasowej retencji wody: a) typowy przekrój poprzeczny nawierzchni systemu LVT [20,21], b) gotowa nawierzchnia ze sztuczną trawą i żywą roślinnością [22]

warunków klimatycznych i ruch pociągów na ich wydajność. Badania prowadzone na odcinku trasy kolejowej pomiędzy Modeną a Sassuolo (Włochy) pokazały, że panele na torach mogą generować około 35 MWh energii rocznie na każdy kilometr torów [24]. Początkowy projekt paneli na torach miał charakter prototypowy, ale rozwiązanie to należy traktować jako początek wdrażania tej innowacji technologicznej.



Rys. 7. Panele fotowoltaiczne montowane na podkładzie [23]

Włoska firma podkreśla łatwość ich montażu, szybkość wdrożenia swojej technologii i możliwość wykorzystania materiałów z recyklingu do produkcji podkładów.

8. Podsumowanie

W pracy przedstawiono wybrane, ciekawe poznawczo kierunki prowadzonych współcześnie badań, analiz i rozwiązań w drogach kolejowych, które można podzielić na następujące grupy:

- możliwość aktywnego obniżenia poziomu hałasu i drgań (elementy elastyczne),
- możliwość wykorzystania materiałów zużytych czy odpadów (recykling podsypki),
- możliwość czasowej retencji wody (pora sucha),
- innowacje technologiczne (podkłady kompozytowe, panele słoneczne).

Inwestycje w działania mające na celu ochronę środowiska są kosztowne i ich efekty nie są widoczne natychmiastowo, jednak z perspektywy czasu mogą przynieść duże korzyści. Stosowane są standardowe rozwiązania (np. ekrany akustyczne), jednak bardziej interesujące są metody umożliwiające przeciwdziałanie jednocześnie kilku negatywnym skutkom. Przykładem takiego rozwiązania jest zastosowanie elementów zwiększających sprężystość toru (przekładki podszynowe, podkłady podpodkładowe), co wpływa między innymi na zmniejszenie zużycia falistego szyn. Dzięki takiemu rozwiązaniu emisja hałasu zostaje ograniczona, poprawia się bezpieczeństwo i komfort jazdy pasażerów. Kolejna grupa rozwiązań to możliwość wykorzystania w drogach kolejowych materiałów zużytych czy odpadów z ważnym przeznaczeniem i funkcjami:

- maty absorbujące drgania (stosowane głównie w aglomeracjach miejskich),
 - maty podtorowe (wykorzystywane w miejscach wrażliwych na duże wibracje),
 - przekładki podszynowe (zmniejszają naprężenia przenoszone na podkłady),
 - podkłady z tworzyw sztucznych (w pełni recyklingowane).
- Ważny kierunek ciekawych rozwiązań to adaptacja innowacji technologicznych (np. panele słoneczne na podkładach

kolejowych z generowaniem energii w torach kolejowych), przemysłowy recykling materiałów ziarnistych (np. pozyskanych ze zużytej podsypki tłuczniowej po przekruszeniu jako niesort kamienny, stosowany w warstwie ochronnej podtorza) czy stabilizacja chemiczna podsypki.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Abadi T., Le Pen L., Zervos A., Powrie W., Improving the performance of railway tracks through ballast interventions, *Proceedings of the Institution Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail Rapid Transit* 2018, 232, str. 337–355
- [2] Sol-Sánchez, M.; Moreno-Navarro, F.; Rubio-Gámez, M.C., The use of elastic elements in railway tracks: A state of the art review, *Construction Building Materials* 75, 2015, str. 293–305
- [3] Liu G., Li P., Wang P., Liu J., Xiao J., Chen R., Wei X., Study on structural health monitoring of vertical vibration of ballasted track in high-speed railway, *Journal of Civil Structural Health Monitoring* 11/2021, str. 451–463
- [4] Bednarek W. A., Analysis of static forces generated in-track on a railway sleeper resting on an elastic foundation due to structural imperfections using the PONTOS system, *Proceedings of the MATEC Web of Conferences, Krynica-Zdrój, Poland, 16–20 September 2018; EDP Sciences: Les Ulis, France, 262, 2019, str. 6, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926211001>*
- [5] Milne D., Le Pen L., Watson G., Thompson D., William Powrie W., Hayward M., Morley S., Monitoring and repair of isolated trackbed defects on a ballasted railway, *Transportation Geotechnics* 17, 2018, str. 61–68
- [6] Massel A., Projektowanie linii i stacji kolejowych, Warszawa, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Kolejowa Oficyna Wydawnicza, 2010
- [7] Bednarek W., Wybrane rozwiązania zwiększające trwałość podsypki tłuczniowej eksploatowanej nawierzchni kolejowej, *Materiały Budowlane* 10/2023, str. 2–6, doi: 10.15199/33.2023.10.09
- [8] <https://www.trelleborg.com/en/applied-technologies/products-and-solutions/rail-systems/rail-dampers> (dostęp w dniu 27.02.2025 r.)
- [9] <https://www.getzner.com/en/products/rail-products> (dostęp w dniu 21.02.2025 r.)
- [10] Altenbaher B., Goltnik D., Rosi B., Railway noise reduction by the application of CHFC material on the rail, *Transport Problems* 10, 12/2015, str. 5–14
- [11] <https://www.lankhorstrail.com/en/plastic-railway-sleepers> (dostęp w dniu 21.2.2025 r.)
- [12] Koller G., The use of sleepers made of FFU synthetic wood in Europe, *RTR* 2/2009
- [13] European Parliament: Move to a circular economy in Poland – current state and perspective. *PolSCA.PAN Conference*, 07.12.2016
- [14] <https://www.getzner.com/en/products/rail-products/sleeper-pads> (dostęp w dniu 27.02.2025 r.)
- [15] <https://tinesrail.com/en/solutions/railway/vibration-isolation-mats/> (dostęp w dniu 21.02.2025 r.)
- [16] Basiewicz T., Gołaszewski A., Kukulski J., Towpik K., Odształcenia nawierzchni kolejowej z kompozytem tłuczniowym., *Problemy Kolejnictwa*, zeszyt 166, 2015, str. 25–35
- [17] Gisterek I., Krużyński M., Stabilizacja chemiczna podsypki na liniach kolejowych, *Przegląd Komunikacyjny* 9–10/2009, str. 36–39
- [18] Bednarek W., Pawłowski M., Recykling starożytecznej podsypki tłuczniowej na warstwy ochronne zapewniające trwałość podtorza podczas postępującej degradacji nawierzchni kolejowej, *Materiały Budowlane* 10/2022, str. 99–103, doi: 10.15199/33.2022.10.25
- [19] Lenart S., Bizjak K. F., Noren-Cosgriff K., Kaynia A. M., Kramar M., Vajdić M., Chen K., Clarke J., Guidelines on the Use of Novel Construction and Maintenance Techniques within the Operational Railway Environment D4.1, *DESTINATION RAIL – Decision Support Tool for Rail Infrastructure Managers*, 2018
- [20] https://www.sonneville.com/sites/default/files/2024-07/Prospekt%20DE%202024%20Web_1.pdf (dostęp w dniu 27.02.2025 r.)
- [21] <https://www.vigier-rail.ch/de/produkte/low-vibration-track-lvt> (dostęp w dniu 27.02.2025 r.)
- [22] <https://220cf289d0.clvwcdnwnd.com/f1de15caae32dca45291145032-af3b21/200000702-df22bdf22d/1-UK-CA.pdf?ph=220cf289d0> (dostęp w dniu 21.02.2025 r.)
- [23] <https://www.greenrailgroup.com/en/the-product/> (dostęp w dniu 21.02.2025 r.)
- [24] <https://solarimpulse.com/solutions-explorer/implementation-stories/greenrail-adopted-by-ferrovie-emilia-romagna-in-italy-for-sustainable-rail-advancement> (dostęp w dniu 21.02.2025 r.)

Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych przy projektowaniu i utrzymaniu dróg

The use of unmanned aerial vehicles in road design and pavement diagnostics

dr inż. Marcin Bilski (ORCID: 0000-0002-1445-5749), mgr inż. Anna Małek (ORCID: 0000-0002-2960-0902), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0984

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki prac własnych oraz przykłady z literatury dotyczące wykorzystania danych pozyskanych przy pomocy bezzałogowych statków powietrznych w budownictwie drogowym. Opisano metody wspomagające pracę projektanta branży drogowej dzięki zastosowaniu danych w postaci chmury punktów i numerycznego modelu terenu. Wskazano również możliwości implementacji materiałów kartometrycznych w postaci ortofotomap przy ocenie stanu nawierzchni. Nawet niskobudżetowe bezzałogowe statki powietrzne umożliwiają uzyskanie w krótkim czasie dużej liczby obrazów o wysokiej rozdzielczości analizowanego obszaru. Dane te mogą służyć zarówno do szczegółowego projektowania infrastruktury drogowej w kontekście lokalizacji przestrzennej, wizualizacji inwestycji czy sprawdzania warunków bezpieczeństwa (np. widoczności). W przypadku oceny stanu nawierzchni, jej uszkodzeń dodatkowo umożliwiają wykonywanie powtarzalnych (cyklicznych) misji przy zachowaniu stałych kryteriów pomiaru. Daje to możliwość bieżącej kontroli dróg i zmian na nich zachodzących w czasie. Obrazy pozyskane przez bezzałogowe statki powietrzne pozwalają na elastyczność w formie ich przetwarzania i wykorzystania, co zmniejsza potrzebne do poniesienia nakłady finansowe i ogranicza liczbę osób zaangażowanych w realizację zadań.

Słowa kluczowe: BSP, projektowanie dróg, diagnostyka nawierzchni, chmura punktów.

Abstract: The article presents the results of the authors' own research as well as examples from the literature regarding the use of data obtained with unmanned aerial vehicles in road construction. The study describes methods that support the work of road designers through the use of point cloud data and digital terrain models. It also highlights the possibilities of implementing cartometric materials in the form of orthophotos for pavement condition assessment. Even low-budget unmanned aerial vehicles allow for the rapid acquisition of a large number of high-resolution images of the analysed area. These data can be used for detailed road infrastructure design in terms of spatial location, investment visualization, and safety condition assessments (e.g., visibility analysis). In pavement diagnostics, including damage detection, unmanned aerial vehicles enable the execution of repeatable (cyclical) missions while maintaining consistent measurement criteria. This allows for continuous road monitoring and tracking of changes over time. The images captured by unmanned aerial vehicles provide flexibility in processing and application, reducing financial costs and minimizing the number of personnel required for task execution.

Keywords: UAV, road design, pavement diagnostics, point cloud.

1. Wprowadzenie

W przypadku wielu branż widoczny jest nieustanny rozwój technologiczny. Nie inaczej jest w przypadku bezzałogowych statków powietrznych (w skrócie BSP) (ang. *Unmanned Aerial Vehicle* – w skrócie UAV), nazywanych zwyczajowo dronami. Obecnie nawet niskobudżetowe urządzenia tego typu umożliwiają pozyskanie obrazów o odpowiedniej rozdzielczości na cele związane z projektowaniem lub bieżącym utrzymaniem dróg. Bezzałogowy statek powietrzny w połączeniu z komputerowym oprogramowaniem fotogrametrycznym stanowi potężne narzędzie do odwzorowywania terenu w postaci trójwymiarowej. Przy prawidłowo zastosowanych punktach osnowy fotogrametrycznej (ang. *Ground Control Points* – w skrócie GCP, pol. fotopunkty oraz *Check Points* – w skrócie CP, pol. punkty kontrolne) współrzędne

pikiet można oznaczyć z dokładnością do ± 2 cm sytuacyjnie (oś X, Y) i ± 5 cm wysokościowo (oś Z) przy wykorzystaniu BSP wraz z odbiornikiem GNSS (ang. *Global Navigation Satellite Systems*, pol. globalny system nawigacji satelitarnej). W celu uzyskania danych o największej precyzji należy wykonać nalot w sposób krzyżowy oraz zastosować oprogramowanie fotogrametryczne oparte o najlepsze algorytmy do wyrównywania (wpasowywania) pozyskanych obrazów. Wyposażając bezzałogowy statek powietrzny w moduł GNSS RTK (ang. *Real Time Kinematic*, pol. kinematyka w czasie rzeczywistym) lub GNSS PPK (ang. *Post-Processing Kinematic*, pol. kinematyka po przetworzeniu końcowym) można uzyskać precyzję nawet na poziomie ± 1 cm sytuacyjnie i wysokościowo przy znacznym ograniczeniu liczby punktów osnowy fotogrametrycznej w stosunku do nalołów wykonywanych bez modułu GNSS RTK lub PPK. W przypadku oczekiwania

dokładności współrzędnych pikiet w granicach ± 5 cm można nawet zrezygnować ze stosowania fotopunktów [1–7]. O popularności wykorzystywania bezzałogowych statków powietrznych do celów prywatnych (hobbistycznych) oraz profesjonalnych mogą świadczyć nieustanne aktualizacje prawa lotniczego zarówno w ramach przepisów polskich [8], jak i Unii Europejskiej [9]. Urzędem unijnym, który odpowiada za ustalanie przepisów dotyczących bezzałogowych statków powietrznych, jest Agencja Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (ang. *European Union Aviation Safety Agency* – w skrócie EASA), a w Polsce Urząd Lotnictwa Cywilnego (ULC). Obecnie chcąc wykonywać naloty zgodnie z obowiązującym prawem oraz zachowując standardy bezpieczeństwa należy zwrócić uwagę nie tylko na posiadane przez pilota uprawnienia (NSTS/STS), ale również na klasę urządzenia (C0–C6). Istnieje również bezwzględny obowiązek informowania Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej (PAŻP) o zamiarze wykonania lotu przy użyciu bezzałogowego statku powietrznego, co czasem wiąże się z koniecznością uzyskania zgody. W tym celu jest wykorzystywana aplikacja DroneTower zapewniająca mobilny dostęp do systemu PansaUTM służącego do cyfrowej koordynacji lotów BSP i zarządzania wnioskami oraz zgodami na loty w przestrzeni powietrznej. W związku z powyższym mogą występować ograniczenia strefowe związane z możliwością wykonywania nalołów i pozyskaniem stosownych zgód. Stanowią one wraz z czynnikami takimi jak warunki atmosferyczne (deszcz, śnieg, niska temperatura) oraz przeszkody fizyczne (budynki, drzewa, linie elektroenergetyczne) największe trudności przy pozyskiwaniu obrazów na potrzeby opracowań fotogrametrycznych dla branży drogowej.

2. Cel i zakres pracy

Celem pracy jest przedstawienie sposobów wykorzystania przy projektowaniu i utrzymaniu dróg danych pozyskanych przy zastosowaniu bezzałogowego statku powietrznego i przetworzonych w oprogramowaniu fotogrametrycznym do postaci chmury punktów, numerycznego modelu terenu, ortofotomapy. Wymienione źródła danych przy zastosowaniu oprogramowania GIS (ang. *Geographic Information System*, pol. system informacji geograficznych) i CAD (ang. *Computer-Aided Design*, pol. komputerowe wspomaganie projektowania) mogą służyć jako doskonałe narzędzia do weryfikacji i modelowania koncepcji projektowych, sprawdzania warunków bezpieczeństwa, pozyskiwania precyzyjnych danych o warunkach terenowych, informacji o stanie istniejącej infrastruktury oraz analizy zmian zachodzących w strukturze nawierzchni dróg (uszkodzeń) w czasie jej użytkowania.

3. Wspomaganie procesu projektowania dróg

Mapa do celów projektowych stanowi podstawę do wykonania projektu budowlanego, a jej szczegółowość ma wpływ

na jego jakość. Metody fotogrametryczne zyskują coraz większą przewagę nad typowymi metodami pomiarowymi jak GNSS czy tachimetr przede wszystkim ze względu na ilość dostarczanych danych. Ma to istotne znaczenie szczególnie w przypadku obiektów liniowych. Wykorzystując numeryczny model terenu (NMT) oparty na danych pozyskanych przez bezzałogowy statek powietrzny można znacząco zwiększyć jakość wykonanego projektu. NMT stanowi punktową reprezentację wysokości terenu wraz z algorytmem interpolacyjnym umożliwiającym obliczenie wysokości w dowolnym punkcie obszaru, dla którego model został zbudowany. Wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje NMT: GRID (z ang. sieć) – model w postaci regularnej siatki kwadratów oraz TIN (skrót od ang. *Triangulated Irregular Network*) – model w postaci nieregularnej siatki trójkątów. Cechą modelu TIN jest przechowywanie oryginalnych danych pomiarowych w odróżnieniu do modelu GRID, w przypadku którego wysokości w punktach węzłowych zazwyczaj są interpolowane. Na rysunku 1 przedstawiono NMT rodzaju TIN utworzony w środowisku CAD na podstawie danych w formie pliku XYZ, gdzie X, Y oznaczają współrzędne poziome w układzie geodezyjnym PL-2000, a Y współrzędną pionową w geodezyjnym układzie wysokościowym PL-EVRF2007-NH. Dane zawarte w pliku XYZ zostały przygotowane przy zastosowaniu oprogramowania fotogrametrycznego i obrazów pozyskanych za pomocą BSP. Dodatkowo na rysunku przedstawiono przykładową wizualizację zaprojektowanego skrzyżowania dróg. Jednocześnie te same dane pozyskane z BSP mogą być wykorzystywane do wygenerowania w oprogramowaniu fotogrametrycznym chmury punktów, czyli zbioru punktów stanowiących dane przestrzenne o określonych współrzędnych. Dzięki wizualizacji przyjętego rozwiązania w środowisku CAD (rys. 2) projektant ma możliwość wykonania jego analizy i sprawdzenia pod względem błędów, które mogłyby się uwidocznić na etapie budowy. W prosty sposób może sprawdzić, czy przyjęta trasa w planie nie ma kolizji np. z elementami infrastruktury naziemnej, a zaprojektowana niweleta, czy jest wpisana poprawnie w stosunku do np. zjazdów indywidualnych. Dodatkowo zwięźceniem projektu może być wizualizacja w formie filmu zawierającego rzeczywisty (realny) trójwymiarowy wygląd otoczenia drogi. Co więcej, te same obrazy zarejestrowane za pomocą bezzałogowego statku powietrznego mogą być wykorzystane do stworzenia w oprogramowaniu fotogrametrycznym ortofotomapy, czyli rastrowego obrazu powierzchni terenu powstałego w wyniku przetworzenia zdjęć lotniczych lub satelitarnych. Na jej podstawie można wykonać ocenę pola widoczności na skrzyżowaniu zarówno istniejącym, jak i projektowanym. Dodatkowo w przypadku istniejącego skrzyżowania wykorzystując chmurę punktów można sprawdzić widoczność w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Przykład zastosowania takiego rozwiązania w środowisku CAD przedstawiono na rysunku 3a, na którym użyto ortofotomapy, a chmury punktów – na rysunku 3b.



Rys. 1. Przykład wykorzystania NMT (TIN) przy projektowaniu skrzyżowania dróg w środowisku CAD (opracowanie własne)



Rys. 2. Przykład wykorzystania chmury punktów przy projektowaniu przebudowy drogi w środowisku CAD (opracowanie własne)

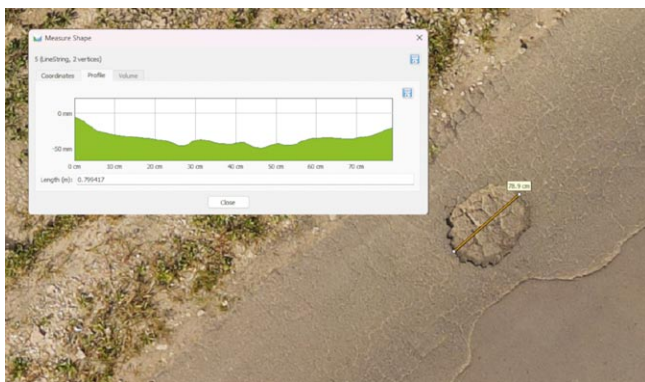


Rys. 3. Przykład sprawdzania widoczności w środowisku CAD przy wykorzystaniu ortofotomapy (oznaczenia wg [11]) (a) i chmury punktów (b) (opracowanie własne)

4. Inwentaryzacja i diagnostyka stanu nawierzchni dróg

Oprócz wspomagania prac na etapie projektowania bezzałogowe statki powietrzne mogą być wykorzystywane przy inwentaryzacji i bieżącym utrzymaniu nawierzchni drogowych. Wykonane w prawidłowy sposób obrazowania przy zastosowaniu BSP przetworzone w oprogramowaniu fotogrametrycznym do postaci ortofotomap oraz chmur punktów mogą stanowić źródło danych porównywalne do tych uzyskanych pojazdami pomiarowymi zawierającymi zestawy kamer. Cena wysokiej jakości, profesjonalnego BSP stanowi ułamek kwoty jaką należy wydać na pojazd diagnostyczny pozyskujący tego samego typu dane. Przykład wykonania analizy uszkodzeń nawierzchni na podstawie obrazów pozyskanych niskobudżetowym BSP przetworzonych w oprogramowaniu fotogrametrycznym do postaci ortofotomapy przedstawiono na rysunku 4. Dysponując ortofotomapą, można wykonać bieżące analizy uszkodzeń (szerokość, głębokość) z dokładnością porównywalną do metody wizualnej, czyli za pomocą przymiaru [12]. Chmury punktów można też wykorzystywać do analiz dotyczących inwentaryzacji obiektów znajdujących się w pasie drogowym (rys. 5). Na przykład można sprawdzić szerokość istniejącego chodnika, liczbę znaków drogowych, występowanie latarni ulicznych itp. Co ważne, widoczna na rysunku 5 chmura punktów została wygenerowana wyłącznie na podstawie zdjęć pozyskiwanych z BSP pod kątem 90° (pionowo). Wykonując obrazowania bezzałogowym statkiem powietrznym pod kątem mniejszym od 90° , można uzyskać większą gęstość chmury punktów. Dodatkowo wykonując cykliczne naloty (tzw. mapowania), istnieje możliwość bieżącego monitorowania stanu powierzchni dróg i określenia szybkości zachodzących zmian. Dzięki temu zarządca drogi może np. określać priorytety w organizacji procesu remontów częściowych.

Co więcej, cały proces analizy obrazów można zautomatyzować przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych [13]. Istnieje bardzo duża liczba możliwości implementacji danych z bezzałogowych statków powietrznych, co potwierdza literatura przedmiotu. Na przykład autorzy pracy [14] wykonali identyfikację uszkodzeń nawierzchni miejskiego placu przy zastosowaniu amatorskiego BSP. Następnie porównując pozyskane obrazy z dokumentacją projektową, uzyskali



Rys. 4. Przykład oznaczania wielkości uszkodzeń (wyboju) przy zastosowaniu ortofotomapy (opracowanie własne)



Rys. 5. Przykład możliwości wykorzystania chmury punktów do inwentaryzacji obiektów w pasie drogowym (opracowanie własne)

dane, które wykorzystali do określenia miejsc i ewentualnych przyczyn uszkodzeń konstrukcji nawierzchni placu. Natomiast autorzy publikacji [15] wykorzystali BSP do pomiaru deformacji nawierzchni drogowej w wyniku ruchów masowych (aktywne osuwisko). Dzięki bieżącej kontroli zachodzących zmian autorzy badań byli w stanie wyróżnić obszar niestabilny w stosunku do otaczającego go obszaru stabilnego oraz przeanalizować kinematykę osuwiska. Powyższe przykłady pokazują, że przy odpowiednim wykorzystaniu technologia przetwarzania obrazów pozyskanych przy pomocy BSP może stanowić rozwiązanie samodzielne lub wspomagające klasyczne techniki diagnostyki stanu nawierzchni. Dodatkowo technika ta w stosunkowo prosty sposób może być wykorzystywana z informatycznymi systemami analizy danych [16].

5. Podsumowanie

Duża elastyczność w formie przetwarzania obrazów pozyskanych przez bezzałogowe statki powietrzne pozwala na ich jednocześnie wykorzystanie w różnych celach w branży drogowej. Jak przedstawiono w artykule dane pochodzące z jednego nalotu BSP mogą być przetworzone do różnych form wyjściowych (ortofotomapa, numeryczny model

terenu, chmura punktów), które zarówno mogą być wykorzystane przez zarządcę drogi, jak i projektanta na etapie przygotowania projektu przebudowy/remontu. Wpływa to na zmniejszenie potrzebnych do poniesienia nakładów finansowych oraz ogranicza liczbę osób zaangażowanych w realizację zadań. Pomijając problemy natury technicznej związane z ograniczeniami fizycznymi (drzewa, linie elektroenergetyczne, budynki, itp.) oraz strefowymi (obszarowe ograniczenia w lotach BSP), przedstawiona technologia ze względu na stosunkowo niskie koszty może w przyszłości stać się bardzo popularną przy projektowaniu i w diagnostyce nawierzchni dróg.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gerke M., Przybilla H. J., Accuracy Analysis of Photogrammetric UAV Image Blocks: Influence of Onboard RTK-GNSS and Cross Flight Patterns, *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* 1/2016, str. 17–30, doi: 10.1127/pfg/2016/0284
- [2] Žabota B., Kobal M., Accuracy Assessment of UAV-Photogrammetric-Derived Products Using PPK and GCPs in Challenging Terrains: In Search of Optimized Rockfall Mapping, *Remote Sensing* 13/2021, str. 3812, doi: 10.3390/rs13193812
- [3] Elkhachy I., Accuracy Assessment of Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry, *Alexandria Engineering Journal* 60(6)/2021, str. 5579–5590, doi: 10.1016/j.aej.2021.04.011
- [4] Park J. W., Yeom D. J., Method for Establishing Ground Control Points to Realize UAV-based Precision Digital Maps of Earthwork Sites, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 21(1)/2022, str. 110–119, doi: 10.1080/13467581.2020.1869023
- [5] Królikowski J., Sprawdzamy, która technika satelitarnego pozycjonowania dronów jest lepsza PPK czy RTK?, *Magazyn Geoinformacyjnej* 5(325)/2022, str. 28–29
- [6] Czyża S., Szuniewicz K., Kowalczyk K., Dumalski A., Ogrodniczak M., Zieleniewicz Ł., Assessment of Accuracy in Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Pose Estimation with the REAL-Time Kinematic (RTK) Method on the Example of DJI Matrice 300 RTK, *Sensors* 23/2023, str. 2092, doi: 10.3390/s23042092
- [7] Alkan M. N., High-Precision UAV Photogrammetry with RTK GNSS: Eliminating Ground Control Points, *Journal of Science and Engineering* 11(4)/2024, str. 139–147, doi: 10.17350/HJSE19030000341
- [8] Ustawa Prawo lotnicze z dnia 3 lipca 2002 r. (Dz.U. 2023 poz. 2110 z późn. zm.)
- [9] Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych (Dz.U. L 152 z 11.6.2019, s. 45)
- [10] Babić S., Ljutić K., Digital Terrain Model Application in Road Planning and Design, *Konferencja: First International Conference on Road and Rail Infrastructure*, 17–18 maja 2010, Opatija, Chorwacja
- [11] WR-D-31-2 Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych Część 2: Skrzyżowania zwykłe i skanalizowane, *Ministerstwo Infrastruktury, Departament Dróg Publicznych*, Warszawa, 2022
- [12] Małek A., Assessment of the use of unmanned aerial vehicles for road pavement condition surveying, *Roads and Bridges – Drogi i Mosty* 22(4)/2023, str. 331–345, doi: 10.7409/rabdim.023.017
- [13] Barrile V., Bernardo E., Fotia A., Bilotta G., Road Safety: Road Degradation Survey Through Images by UAV, *WSEAS Transactions on Environment and Development* 16/2020, str. 649–659, doi: 0.37394/232015.2020.16.67
- [14] Mackiewicz P., Mączka E., Wykorzystanie drona w identyfikacji uszkodzeń nawierzchni, *Przegląd komunikacyjny* 2–3/2022, str. 32–39
- [15] Cardenal J., Fernández T., Pérez-García J. L., Gómez-López J. M., Measurement of Road Surface Deformation Using Images Captured from UAVs, *Remote Sensing* 11(12)2019, str. 1507, doi: 10.3390/rs11121507
- [16] Coenen T. B. J., Golroo A., Lo Presti D., A review on automated pavement distress detection methods, *Cogent Engineering* 4(1)2017, str. 1374822, doi: 10.1080/23311916.2017.1374822

Awaria nasypu drogowego posadowionego na gruntach słabonośnych w dolinie rzeki

Failure of a road embankment constructed on organic soils in a river valley

dr Michalina Flieger-Szymańska (ORCID: 0000-0001-8843-5559), dr Dorota Anna Krawczyk (ORCID: 0000-0003-0089-5310), dr hab. Katarzyna Machowiak (ORCID: 0000-0002-6130-3385), dr inż. Andrzej Tomasz Wojtasik, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0985

Streszczenie: W artykule opisano przypadek awarii nasypu drogowego, która nastąpiła w czasie prowadzonych prac związanych z modernizacją drogi gminnej przebiegającej przez teren podmokły, w dolinie rzeki Struga Gnieźnieńska (zwanej „Wełnianką”) we wsi Krzyszczewo, koło Gniezna, gdzie zaprojektowano i wykonano obiekt mostowy. Na przedmiotowym odcinku drogi (dojazdu do obiektu mostowego) został przekroczony stan graniczny nośności podłoża gruntowego, w rezultacie wystąpiła utrata stateczności nasypu drogowego, która zakończyła się niekontrolowanym osiadaniem wykonanego nasypu na długości ok. 70 m i wstrzymanie robót budowlanych wiosną 2023. W celu stwierdzenia przyczyn powstałej awarii wykonano liczne badania terenowe i laboratoryjne, na podstawie których dokonano oceny skali awarii nasypu drogowego i wskazano sposoby naprawcze.

Słowa kluczowe: grunty słabonośne, dolina rzeki, awaria nasypu drogowego, skomplikowane warunki gruntowo-wodne, wzmocnienie podłoża gruntowego.

Abstract: The article describes the case of the road embankment's failure that occurred during work on the modernisation of a municipal road running through a wetland area in the Struga Gnieźnieńska river valley (known as „Wełnianka”) in the village of Krzyszczewo, near Gniezno, where a bridge structure was designed and constructed. In the stretch of the road in question (the bridge approach sections), the limit state of soil bearing capacity was exceeded, resulting in a loss of stability of the road embankment. This uncontrolled settlement of the completed embankment extended for approximately 70 metres, therefore the suspension of construction works in spring 2023 was necessary. In order to ascertain the causes of the failure of the road embankment under construction, a series of investigative procedures (numerous field and laboratory tests) were conducted. The results of these procedures were then used to assess the scale of the road embankment failure and to indicate potential repair methods.

Keywords: low-bearing soils, river valley, road embankment failure, complicated soil and underground water conditions, sub-soil reinforcement.

1. Wprowadzenie

Na obszarach Niżu Polskiego, gdzie dominuje rzeźba polodowcowa, często można spotkać wąskie doliny rzek i cieków, które wypełnione są w strefie przypowierzchniowej gruntami słabonośnymi. Przy projektowaniu obiektów budowlanych, których oddziaływanie sięga głębszego podłoża gruntowego, niezmiennie istotne jest prawidłowe zaprojektowanie zakresu rozpoznania budowy geologicznej, tj. dobranie odpowiedniej ilości i głębokości otworów badawczych oraz innych badań in situ, w tym sondowań. Prawidłowo zaprojektowana skala rozpoznania podłoża gruntowego inwestycji budowlanej wymaga również przeanalizowania archiwalnych dokumentacji oraz wizji terenowej, która pozwoli m.in. szczegółowo określić geomorfologię terenu. W przypadku występowania gruntów słabonośnych, np. znacznej miąższości gruntów organicznych, należy dobrać odpowiednią metodę wzmocnienia gruntu.

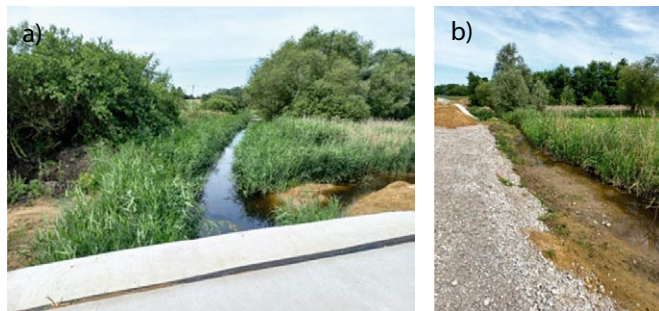
W artykule opisano przypadek awarii nasypu drogowego, która nastąpiła w czasie prowadzonych prac związanych z modernizacją

drogi gminnej przebiegającej przez teren podmokły, w dolinie rzeki Struga Gnieźnieńska (zwanej „Wełnianką”) we wsi Krzyszczewo, koło Gniezna, gdzie zaprojektowano i wykonano obiekt mostowy. Na przedmiotowym odcinku drogi (dojazdu do obiektu mostowego) został przekroczony stan graniczny nośności podłoża gruntowego, w rezultacie wystąpiła utrata stateczności nasypu drogowego, która zakończyła się niekontrolowanym osiadaniem wykonanego nasypu na długości ok. 70 m. Zaistniała sytuacja wiosną 2023 roku spowodowała wstrzymanie robót budowlanych oraz konieczność ustalenia przyczyn powstałej awarii.

2. Warunki gruntowo-wodne

Według podziału fizyczno-geograficznego J. Kondrackiego [1] analizowany odcinek drogi gminnej znajduje się w obszarze Pojezierzy Wielkopolskich, w mezoregionie – Pojezierze Gnieźnieńskie (315.54). Pojezierze Gnieźnieńskie stanowi rozległą równinę morenową porożcinaną rynnymi polodowcowymi

Rys. 1. Widok nasypu drogowego w ciągu drogi gminnej w m. Krzyszczewo: a) widok z obiektu mostowego na Strugę Gnieźnieńską i roślinność bagienną typową dla terenów podmokłych, b) widok na „materac” z kruszywa na georuszcie trójosiowym wykonany na nasypie drogowym od strony m. Gniezno



wypełnionymi przez jeziora i ciekami wodnymi. Na powierzchni występują głównie gliny zwałowe, a w dolinach rzecznych organiczne utwory holoceneskie. Według Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000 na obszarze arkusza Gniezno (436) torfy wypełniają dna dolin rzecznych i jezior, a także dna rynien wód roztopowych i zagłębień bezodpływowych, ich miąższość jest zróżnicowana od 0,5 m w płytkich obniżeniach morfologicznych do ponad 10,0 m w dnach dolin rzecznych, m.in. w dolinie Wełny, Wełnianki [2, 3]. Rzędne terenu badań wynoszą około 101,7–106,6 m n.p.m.

Przedmiotowy obszar znajduje się na terenie podmokłym, w dolinie rzeki Struga Gnieźnieńska (zwana „Wełnianką”), która stanowi dopływ rzeki Wełny.

3. Sekwencja opracowań i przebieg badań terenowych

W czerwcu 2020 r. została wykonana Dokumentacja badań podłoża gruntowego (opinia geotechniczna) określająca warunki gruntowo-wodne w miejscu projektowanego mostu na rzece Struga Gnieźnieńska w ciągu drogi gminnej w miejscowości Krzyszczewo. Na podstawie sondowania statycznego CPTU oraz dwóch otworów badawczych (do maksymalnej głębokości 23 m p.p.t.) warunki gruntowo-wodne określono jako skomplikowane, a projektowany obiekt mostowy zaliczono do III kategorii geotechnicznej. Z wykonanego wówczas opracowania jasno wynikała obecność w obszarze obiektu mostowego miąższych (ok. 5,5–18,5 m) serii gruntów organicznych w postaci torfów i namułków. W związku z wystąpieniem skomplikowanych warunków gruntowych, obiekt mostowy zaprojektowano i wykonano na palach fundamentowych [4].

W celu rozpoznania warunków gruntowo-wodnych dla projektowanego odcinka drogi o długości ok. 2800 m, w grudniu 2020 r. została wykonana Opinia geotechniczna określająca warunki gruntowo-wodne w celu rozbudowy drogi gminnej. Badania podłoża obejmowały projektowany odcinek drogi, w tym także obiekt mostowy. Opracowanie oparto o wyniki 7 płytkich 4-metrowych wierceń oraz sondowań dynamicznych DPL, do głębokości 3–4 m p.p.t. Warunki gruntowe tym razem zostały określone jako proste, a inwestycję zaliczono do I kategorii geotechnicznej. W żadnym z wykonanych otworów badawczych (co 150 m) nie nawiercono gruntów organicznych. Nie przewidziano również zwiększenia ilości wierceń w ciągu projektowanej drogi, co w obszarze szerokiej doliny rzeki, doskonale zaznaczonej w morfologii terenu i wypełnionej roślinnością typową dla terenów podmokłych (rys. 1a, b), powinno być oczywiste.

Kolejnym opracowaniem był wykonany w marcu 2021 r. Projekt architektoniczno-budowlany. W projekcie tym, idąc w ślad za opinią geotechniczną, przyjęto na całym odcinku projektowanej drogi proste warunki gruntowe oraz I kategorię geotechniczną. Pomimo że w opinii geotechnicznej dla obiektu mostowego przyjęto III kategorię geotechniczną, projektant przyjął swoje założenia projektowe wyłącznie w oparciu o opinię geotechniczną dotyczącą drogi [4].

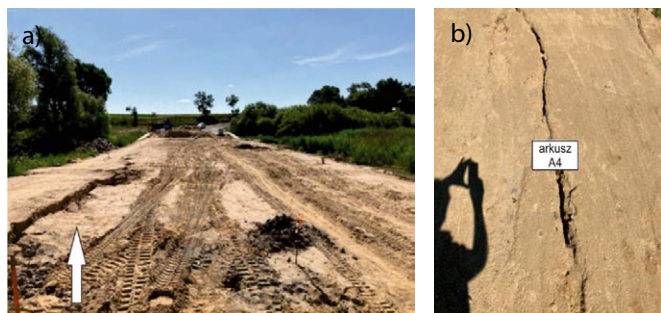
4. Przebieg awarii

W trakcie robót budowlanych, w związku z warunkami gruntowo-wodnymi znacząco odbiegającymi od założonych w projekcie na odcinkach drogi przylegających do obiektu mostowego, firma wykonawcza powiadomiła projektanta o konieczności modyfikacji i dostosowania tego projektu do zastanych warunków gruntowo-wodnych. W rezultacie wykonano sondowania statyczne oraz dodatkowe otwory badawcze. Badania te wykazały obecność w podłożu serii gruntów organicznych o znacznej miąższości. Projektant podjął zatem decyzję o konieczności wykonania „materaca” z kruszywa na georuszcie trójosiowej, którego celem było wzmocnienie podłoża (rys. 1b). Materiał zasypowy miała stanowić pospółka o zdefiniowanych, wysokich parametrach kruszywa (wskaźnik różnoziarnistości $U > 5$). Po przyjęciu Protokołu konieczności przystąpiono do realizacji zadania, które w maju 2023 roku, na skutek przekroczenia stanu granicznego nośności podłoża w wyniku utraty stateczności nasypu drogowego, zakończyło się niekontrolowanym osiadaniem wykonanego nasypu na odcinku około 70 m (rys. 2a, b). Wartość osiadań nasypu dochodziła do 70–85 cm. Zaistniała sytuacja spowodowała wstrzymanie robót budowlanych oraz konieczność ustalenia przyczyn awarii. Projektant zlecił następnie wykonanie dodatkowych badań geologicznych podłoża gruntowego oraz przedstawił alternatywny sposób rozwiązania zaistniałego problemu, który jednak nie został wykorzystany. Na tym etapie inwestor podjął niezależne działania związane ze szczegółowym rozpoznaniem warunków geotechnicznych oraz opracowaniem projektu bezpiecznego posadowienia nasypu drogowego.

5. Dodatkowe badania podłoża gruntowego

Po wystąpieniu awarii nasypu drogowego podjęto decyzję o wykonaniu dodatkowych badań podłoża gruntowego przed

Rys. 2. Widok awarii nasypu drogowego w ciągu drogi gminnej w m. Krzyszczewo: a) ogólny widok na nasyp drogowy (dojazd do obiektu mostowego od strony Krzyszczewa), który uległ osiadaniu na odcinku ok. 70 m, b) widok z góry na szczelinę powstałą w nasypie



przystąpieniem do działań naprawczych. W czasie prac terenowych w lipcu 2023 r. wykonano 4 otwory badawcze do głębokości od 10,0 do 21,0 m (łącznie 62,0 mb), 7 sondowań statycznych CPTU do głębokości od 3,3 do 22,1 m (łącznie 85,3 mb), sondowania FVT w trzech punktach badawczych (łącznie 10 ściąg) [4]. Kolejno w celu uszczegółowienia głębokości zalegania spągu gruntów słabonośnych oraz wskazania doboru odpowiednich metod wzmocnienia podłoża gruntowego w okresie sierpień-wrzesień 2023 r. przeprowadzono uzupełniające badania terenowe, które objęły wykonanie 11 otworów badawczych w zakresie głębokości od 5,0 do 28,5 m (łącznie 167,7 mb) [5, 6]. Na każdym etapie wykonano liczne badania laboratoryjne wyselekcjonowanych próbek gruntu w zakresie oznaczenia cech makroskopowych, wilgotności naturalnej i zawartości części organicznych. Badania terenowe, jak i badania laboratoryjne zostały przeprowadzone zgodnie z normami PN i PN-EN ISO [7-12]. Przebadano również próbki kruszywa użytego do wykonania nasypu drogowego i kruszywa spod „materaca” oraz próbkę wody w celu określenia agresywności względem materiałów budowlanych.

Geotechniczne rozpoznanie podłoża wykazało w rejonie doliny Strugi Gnieźnieńskiej występowanie holocenijskich osadów bagienno-rzecznych i rzecznych do maksymalnej głębokości ok. 19,5 m. Poniżej torfów nawiercono gytie, namuły oraz osady piaszczyste facji deluwialnej (rys. 3). Najstarszymi rozpoznanyimi osadami są plejstocenijskie gliny zwałowe zlodowaceń północnopolskich, zlodowacenia Wisły, stadiału górnego, które nawiercono poniżej utworów holocenu w każdym z otworów badawczych [2, 3].

Na podstawie analizy budowy geologicznej podłoża gruntowego, w podłożu wydzielono sześć pakietów gruntów o zróżnicowanej genezie. Natomiast w obrębie pakietów wyróżniono warstwy różniące się rodzajem (litologią) oraz stanem (konsystencją lub zagęszczeniem). Podstawą wydzielenia warstw w obrębie pakietów były wyniki badań terenowych z sondowań statycznych CPTU (rys. 3). Parametrami wiodącymi były: współczynnik tarcia R_f i opór na stożku sondy q_c oraz ich korelacja z wynikami wierceń badawczych i badań laboratoryjnych.

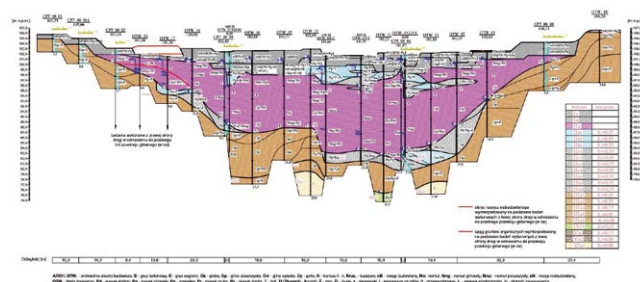
Pakiet I stanowią antropogeniczne nasypy budowlane oraz nasypy niekontrolowane. Do pakietu II zaliczono holocenijskie osady rzeczno-bagienne i rzeczne, reprezentowane zarówno przez grunty organiczne (torfy, namuły, gytie), osady zastoiskowe (gliny pylaste, piaski gliniaste) oraz osady korytowe (piaski drobne i piaski średnie oraz piaski z przewarstwieniami namułów lub piasków gliniastych). Pakiet III stanowią osady plejstocenijskie, mało spoiste i średnio spoiste, związane z akumulacją lądolodu w czasie zlodowacenia północnopolskiego wykształcone w postaci glin piaszczystych, glin piaszczystych na pograniczu

piasków gliniastych, glin piaszczystych z przewarstwieniami piasków drobnych. Pakiet IV reprezentują wodnolodowcowe pospółki i żwiry. Pakiet V obejmuje średnio spoiste osady zlodowacenia środkowopolskiego wykształcone w postaci glin piaszczystych, a do pakietu VI zaliczono neogeńskie iły serii poznańskiej. Wydzielone pakiety geotechniczne zobrazowano na przekroju geotechnicznym (rys. 3).

W trakcie prac wiertniczych stwierdzono obecność wody gruntowej w postaci sączeń w osadach organicznych oraz o charakterze zwierciadła swobodnego i napiętego w piaszczystych osadach holocenijskich podścielających grunty organiczne, gdzie warstwą napinającą jest strop słabo przepuszczalnych gruntów organicznych (namuły, gytie). W gruntach spoistych woda gruntowa występuje w postaci sączeń. Ustabilizowane zwierciadło wód gruntowych w trakcie przeprowadzonych badań terenowych stwierdzono na głębokościach ok. 1,8–4,8 m p.p.t. Parametry wytrzymałościowe gruntów słabonośnych oznaczono przy wykorzystaniu badań in situ (sondowania statyczne CPTU i sondowania krzyżakowe FVT), których wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Podłoże gruntowe rozpoznano za pomocą 7 sondowań statycznych CPTU, które wykazały występowanie gruntów organicznych o dużej miąższości (dochodzącej do ok. 19,5 m) zalegających pod wykonanym nasypem drogowym. Wszystkie wykresy sondowań wykazały znaczny spadek wartości oporu na stożku sondy (znacznie poniżej 1 MPa) pod nasypem drogowym oraz skokowy wzrost na głębokości spągu utworów organicznych.

Za pomocą sondowania FVT wykonano 10 ściąg gruntów organicznych, w warunkach bez odpływu, w przedziale głębokości 3,5–15,0 m p.p.t.. W szczególności zwraca się uwagę na wartości ściąg rezydualnych τ_{Rr} , których wytrzymałość w większości nie przekracza wartości 15 kPa. Otrzymane parametry dla torfów



Rys. 3. Przekrój geotechniczny

Tabela 1. Zestawienie wyników wartości wytrzymałości na ścinanie gruntów organicznych (pakiet II) w podłożu w miejscu awarii nasypu drogowego w okolicach m. Gniezno

Rodzaj gruntu	Maksymalna wytrzymałość gruntu na ścinanie τ_{fu} [kPa]	Maksymalna wytrzymałość gruntu na ścinanie gruntu o zniszczonej strukturze (wytrzymałość rezydualna) τ_R [kPa]	Wskaźnik wrażliwości strukturalnej I_R
Namuły piaszczyste przewarstwione piaskiem drobnym	22,7	3,6	6,3
Torfy, torfy przewarstwione namułami, torfy przewarstwione piaskiem drobnym	24,0–62,2	8,9–25,4	2,1–2,8
Gytie	26,7–29,2	8,3–8,9	3,2–3,3

i gytii absolutnie nie spełniają warunków I stanu granicznego dla zaprojektowanego nasypu drogowego. Dla wszystkich gruntów organicznych określono również wartość wskaźnika wrażliwości strukturalnej I_R (tab. 1). Stopień wrażliwości gruntu w przedziale 4–8, charakterystyczny dla gruntów wrażliwych, otrzymano jedynie dla namułów piaszczystych.

6. Projekt naprawczy

Na podstawie uzupełniających badań geotechnicznych zaprojektowano posadowienie nasypu drogowego na palach prefabrykowanych, zwieńczonych żelbetową płytą oczepową, stanowiącą oparcie dla konstrukcji nasypu drogowego [5, 6]. W strefach najazdowych/przejściowych zaprojektowano wymianę gruntów słabonośnych na grunt zasypowy. W rozwiązaniu projektowym przyjęto sumarycznie ok. 480 pali o przekroju 30x30 cm. Pale rozmieszczono w siatce prostokątnej o rozstawie poprzecznym 1,8 m i podłużnym 2,0 m, lokalnie dostosowanej do geometrii płyty żelbetowej oraz wcześniej wykonanych pali pod obiekt inżynierski (rys. 4). Zastosowano pale prefabrykowane o długości od 8 do 24 m. W palach dłuższych

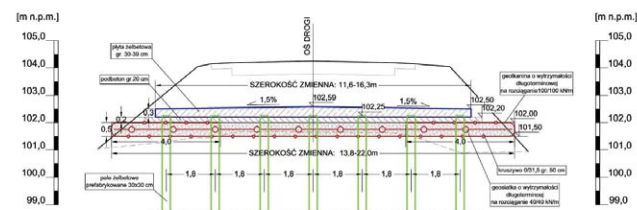
niż 15 m zastosowano złączki mechaniczne na końcach elementów prefabrykowanych. Na palach zaprojektowano płytę oczepową o grubości 30 cm, z betonu C35/45 (B45), zbrojoną w formie dwóch siatek (górnej i dolnej) na całej powierzchni płyty, o wymiarach oczka 15x15 cm, z prętów o średnicy ϕ 12 i 16. Na tak przygotowanej płycie oczepowej zaprojektowano nasyp drogowy wraz z warstwami konstrukcji jezdni (rys. 4).

7. Podsumowanie

Na podstawie analizy dokumentacji archiwalnych dotyczących przebudowy drogi, wizji terenowej oraz po analizie wyników badań in situ, można stwierdzić, że obszar realizowanej inwestycji, położony w dolinie rzeki, należy zaliczyć do skomplikowanych warunków gruntowych. Oczywiście jest, że na obszarach istniejących cieków wodnych, zwłaszcza w rozległych dolinach, należy spodziewać się występowania gruntów słabonośnych oraz płytko zalegającego zwierciadła wody. Na etapie projektowania popełniono rażące błędy. Odrębnie wykonano dwa opracowania – pod obiekt mostowy na Strudze Gnieźnieńskiej oraz pod przebudowę drogi. Niedostateczne rozpoznanie budowy geologicznej w rejonie dróg dojazdowych do obiektu mostowego uniemożliwiło prawidłowe zaprojektowanie posadowienia na obszarze występowania gruntów słabonośnych. Popełnione błędy doprowadziły do wygenerowania znaczących dodatkowych kosztów związanych z niezbędnymi badaniami i opracowaniami, a finalnie naprawa zaistniałej awarii nasypu drogowego znacząco przekroczyła budżet przewidziany na przedmiotową inwestycję.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kondracki J., Geografia regionalna Polski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1998
- [2] Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000 arkusz 436-Gniezno (N-33-132-A), Sydow S., PIG Warszawa, 1999
- [3] Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, arkusz Gniezno (436), Sydow S., PIG Warszawa, 2004
- [4] Wojtasik A., Machowiak K., Flieger-Szymańska M., Krawczyk D., Opinia geotechniczna określająca warunki gruntowo-wodne oraz przyczyny osiadania nasypu drogowego na odcinku km 2+130 do km 2+330 budowanej drogi gminnej nr 287001P w miejscowości Krzyszczewo, 2023
- [5] Wojtasik A., Okleja A., Projekt wykonawczo-technologiczny przeprowadzenie trasy drogi gminnej 287001P przez obszar występowania gruntów słabonośnych w km 2+110–2+290 w miejscowości Krzyszczewo. Tom I: Posadowienie nasypu drogowego – pale prefabrykowane, 2023
- [6] Wojtasik A., Dybionka R., Projekt wykonawczo-technologiczny przeprowadzenie trasy drogi gminnej 287001P przez obszar występowania gruntów słabonośnych w km 2+110–2+290 w miejscowości Krzyszczewo. Tom II: Posadowienie nasypu drogowego – płyta fundamentowa na palach prefabrykowanych, 2023
- [7] PN-EN ISO 14688-1:2018-5: Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczenie i opis
- [8] PN-EN ISO 14688-2:2018-5: Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania
- [9] PN-86/B-02480: Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów
- [10] PN-B-02481:1998: Geotechnika. Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar.
- [11] PN-B-04452:2002: Geotechnika. Badania polowe
- [12] PN-88/B-04481: Grunty budowlane. Badania próbek gruntu



Rys 4. Schematyczny przekrój poprzeczny wzmocnienia podłoża gruntowego nasypu drogowego

Przegląd metod laboratoryjnych i mobilnych urządzeń pomiarowych stosowanych w diagnostyce nawierzchni eksploatowanych na sieciach drogowych

Review of laboratory methods and mobile measuring devices used in the diagnosis of road pavement networks

dr inż. Przemysław Górnaś (ORCID: 0000-0002-0632-4191), dr inż. Marta Mielczarek, (ORCID: 0000-0002-1967-5847), mgr inż. Sylwia Fornalczyk (ORCID: 0000-0002-6215-8503), dr inż. Andrzej Pożarycki (ORCID: 0000-0002-1321-066X), prof. dr hab. inż. Mieczysław Słowik (ORCID: 0000-0001-8049-591X), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0986

Streszczenie: Artykuł przedstawia przegląd metod laboratoryjnych oraz mobilnych urządzeń pomiarowych wykorzystywanych w diagnostyce nawierzchni drogowych. Wprowadzanie w mieszankach mineralno-asfaltowych modyfikowanych lepiszczy asfaltowych, w tym wysokomodyfikowanych asfaltów (HiMA), znacznie poprawia trwałość i elastyczność nawierzchni. Dodatkowo badania reologiczne i mikroskopowe umożliwiają optymalizację składu asfaltu oraz prognozowanie jego zachowania w ekstremalnych warunkach eksploatacji. Współczesne systemy zarządzania utrzymaniem sieci drogowej w Polsce pozwalają na skuteczne planowanie remontów i przebudów. Wykorzystanie zaawansowanych metod diagnostycznych, takich jak mobilne urządzenia pomiarowe i badania laboratoryjne pozwala na precyzyjną ocenę stanu technicznego nawierzchni oraz dobór optymalnych technologii naprawczych. Dzięki systemom diagnostycznym, takim jak ZISPON zarządcy dróg mogą efektywnie monitorować stan techniczny nawierzchni, co sprzyja podejmowaniu racjonalnych decyzji inwestycyjnych i poprawie jakości infrastruktury drogowej.

Słowa kluczowe: diagnostyka nawierzchni drogowych, mobilne urządzenia pomiarowe, reometr dynamicznego ścinania, MSCR.

Abstract: The article presents an overview of laboratory methods and mobile measuring devices used in road pavement diagnostics. The incorporation of modified asphalt binders into asphalt mixtures, including highly modified asphalt binders (HiMA), significantly improves pavement durability and flexibility. Additionally, rheological and microscopic studies support the optimization of asphalt composition and help predict its performance under extreme service conditions. Modern pavement management systems in Poland enable effective planning of road maintenance and reconstruction. The use of advanced diagnostic methods, such as mobile measuring devices and laboratory tests, allows for a precise assessment of pavement conditions and the selection of optimal repair technologies. With the use of diagnostic systems such as ZISPON, road administrators can effectively monitor pavement condition, supporting informed investment decisions and improving the quality of road infrastructure.

Keywords: road surface diagnostics, mobile measuring devices, dynamic shear rheometer, MSCR.

1. Wprowadzenie

Obecnie w Polsce zarządcy miejskich sieci drogowych coraz częściej wdrażają systemy zarządzania utrzymaniem nawierzchni, które pozwalają na skuteczne planowanie działań remontowych i przebudów. Zarządcy, którzy prowadzą bazy danych zawierające wyniki wieloletnich badań prowadzonych w zakresie diagnostyki, mają możliwość nie tylko precyzyjnego określania stanu technicznego nawierzchni drogowych, ale także doboru technologii napraw i wzmocnień, które w danym przypadku sprawdzą się najlepiej. Nie bez znaczenia jest

także rozwój metod diagnostycznych, obejmujących zarówno mobilne urządzenia pomiarowe, jak i badania laboratoryjne, które umożliwiają dokładniejszą analizę właściwości różnych materiałów oraz ocenę skuteczności stosowanych technologii. W efekcie zarządcy dróg mogą nie tylko wykorzystywać sprawdzone rozwiązania do remontów i budowy nowych nawierzchni, ale także testować innowacyjne technologie, w tym nowe materiały, których skuteczność można porównywać z rozwiązaniami klasycznymi.

W niniejszym artykule przedstawiono wybrane nowoczesne metody laboratoryjne oraz diagnostyczne stosowane

w istniejącym systemie utrzymania nawierzchni drogowych oraz rozwiązywania materiałowe stosowane w asfaltach drogowych. Szybkie i precyzyjne określenie kluczowych parametrów nowych materiałów oraz technicznych aspektów remontów i budowy nawierzchni stanowi istotne wsparcie w optymalizacji strategii utrzymania oraz rozwoju innowacyjnych rozwiązań.

2. Innowacyjne rozwiązania materiałowe warstw nawierzchni drogowych

Modyfikacja lepiszczy asfaltowych stanowi kluczowy element poprawy trwałości nawierzchni drogowych. Tradycyjne asfalty wykazują ograniczoną odporność na wysokie i niskie temperatury, zmęczenie oraz deformacje trwałe. Dlatego wprowadzanie dodatków poprawiających właściwości mechaniczne i reologiczne asfaltu jest przedmiotem licznych badań. Jednym z powszechnie stosowanych sposobów poprawy właściwości lepiszczy asfaltowych jest dodatek gumy mielonej oraz granulatu asfaltowego (RAP), a więc odpadów przemysłowych. Badania wykazały, że zastosowanie tych materiałów pozwala na znaczącą poprawę właściwości reologicznych lepiszcza asfaltowego stosowanego w nawierzchni, w tym zwiększenie odporności na deformacje trwałe oraz poprawę elastyczności [1–3].

Wysokomodyfikowane asfalty (HiMA) to innowacyjna technologia polegająca na zastosowaniu zwiększonej zawartości polimerów, głównie takich, jak styren-butadien-styren (SBS), w celu uzyskania znacznie lepszych właściwości mechanicznych i większej trwałości mieszanek mineralno-asfaltowych. W porównaniu do tradycyjnych asfaltów modyfikowanych zawartość polimeru w HiMA jest dwukrotnie większa, osiągając poziom 7–8% m/m, co prowadzi do dominacji fazy polimerowej nad fazą asfaltową. W badaniach przeanalizowano wpływ HiMA na właściwości mechaniczne i reologiczne asfaltu. Badania porównawcze z lepiszczami niemodyfikowanymi pokazały, że mieszanki mineralno-asfaltowe z HiMA wykazują mniejsze odkształcenia trwałe oraz lepszą odporność na koleinowanie, co potwierdza ich przydatność do stosowania w intensywnie eksploatowanych nawierzchniach drogowych [4–7].

Jednym z nowoczesnych podejść do modyfikacji lepiszczy asfaltowych jest zastosowanie imidazoliny, która znacząco obniża temperatury technologiczne podczas produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych, co jest szczególnie korzystne dla wysokomodyfikowanych asfaltów (HiMA). Testy potwierdziły, że dodatek imidazoliny zwiększa odporność na trwałe deformacje, jednocześnie nie pogarszając właściwości reologicznych asfaltu i mastyksów w wysokich temperaturach, a je wręcz ulepszając. Zastosowanie imidazoliny poprawia właściwości reologiczne asfaltu, jednocześnie redukując temperatury wymagane do mieszania i układania warstwy asfaltowej. Efektem jest zmniejszenie zużycia energii oraz emisji gazów cieplarnianych, co stanowi

istotny krok w kierunku bardziej ekologicznych nawierzchni drogowych [8].

3. Nowoczesne metody laboratoryjne badań materiałów drogowych

W budownictwie drogowym chcąc wdrożyć nowe, często innowacyjne materiały lub technologie, należy wykonać szereg badań laboratoryjnych oceniających we wstępnej fazie właściwości powstałego produktu. W przypadku zastosowania dodatków modyfikujących asfalt, jednym z podstawowych urządzeń badawczych jest reometr dynamicznego ścinania (*Dynamic Shear Rheometer*) oraz reometr zginanej belki (*Bending Beam Rheometer*). Reometr DSR (rys. 1) jest wykorzystywany w drogownictwie do oceny właściwości reologicznych lepiszczy asfaltowych. Pozwala na określenie odporności asfaltu na deformacje w różnych temperaturach oraz warunkach obciążeniowych. Dzięki temu możliwe jest projektowanie mieszanek mineralno-asfaltowych o większej trwałości, odporności na zmęczenie oraz powstawanie deformacji trwałych. Badania z wykorzystaniem DSR umożliwiają także optymalizację składu lepiszcza asfaltowego, co wpływa na poprawę jakości asfaltowych warstw nawierzchni drogowych oraz wydłużenie ich okresu eksploatacji [7].

Przy użyciu reometru DSR można również wykonać badanie MSCR (*Multiple Stress Creep Recovery*), które stosuje się w drogownictwie do oceny odporności asfaltu na deformacje trwałe (koleinowanie) w wysokich temperaturach eksploatacyjnych. Na podstawie tego testu można ocenić podatność na pełzanie, tzn. test ten pozwala określić, w jakim stopniu asfalt odkształca się pod wpływem powtarzających się obciążeń oraz na ile jest w stanie powrócić do pierwotnej formy. Można również wyznaczyć parametr J_{nr} (nieodwracalna podatność na pełzanie) oraz parametr R (procentowy

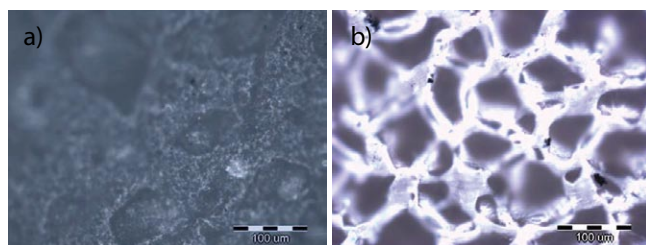


Rys. 1. Reometr DSR typu Physica MCR 101: a) widok ogólny reometru, b) próbka asfaltu przy użyciu wrzeciona Ø8 mm

nawrót odkształceń). Większa wartość R oznacza lepsze właściwości sprężyste asfaltu. Wykorzystując wyniki testu MSCR, inżynierowie mogą dokładniej dopasować rodzaj asfaltu do warunków eksploatacyjnych, co wpływa na trwałość i bezpieczeństwo nawierzchni drogowych [7].

Drugim często wykorzystywanym reometrem jest reometr zginanej belki BBR (Bending Beam Rheometer), który jest stosowany głównie do oceny właściwości niskotemperaturowych asfaltów. Pozwala na określenie podatności asfaltu na pękanie w warunkach zimowych poprzez wyznaczenie jego sztywności oraz szybkości relaksacji naprężeń. Badanie BBR polega na obciążeniu próbki asfaltu siłą o znormalizowanej wartości i analizie jej ugięcia w określonym czasie. Parametry uzyskiwane dzięki temu badaniu, takie jak moduł sztywności oraz parametr m , określają tempo relaksacji naprężeń. Na ich podstawie możliwe jest przewidywanie zachowania lepszcza asfaltowego w ekstremalnie niskich temperaturach, co ma kluczowe znaczenie dla projektowania trwałych asfaltowych warstw nawierzchni odpornych na powstawanie spękań termicznych [7].

Istotnym narzędziem w ocenie efektywności modyfikacji asfaltu polimerem jest badanie mikroskopowe. Pozwala ono na analizę struktury i jednorodności rozproszenia polimeru w matrycy asfaltowej, co ma bezpośredni wpływ na właściwości mechaniczne i trwałość materiału. Dzięki zastosowaniu mikroskopu wyposażonego w kamerę UV można obserwować, czy polimer tworzy ciągłą sieć w asfalcie, czy występują niepożądane aglomeraty (rys. 2). Odpowiednia dyspersja polimeru poprawia odporność na spękania termiczne, deformacje trwałe oraz starzenie się asfaltu, co przekłada się na lepszą jakość i dłuższą trwałość nawierzchni drogowych.



Rys. 2. Obrazy mikroskopowe morfologii asfaltu modyfikowanego o zawartości SBS: a) 3%, b) 7%

4. Mobilne urządzenia pomiarowe stosowane w ocenie stanu technicznego nawierzchni drogowych

Współcześnie diagnostyka nawierzchni drogowych często opiera się na zastosowaniu mobilnych urządzeń pomiarowych, które umożliwiają szybkie, precyzyjne oraz kompleksowe pozyskiwanie danych o stanie technicznym nawierzchni w warunkach in situ. Rozwój tego typu technologii jest odpowiedzią na rosnące potrzeby zarządców dróg w zakresie podejmowania decyzji dotyczących utrzymania i modernizacji nawierzchni na podległej im sieci dróg.

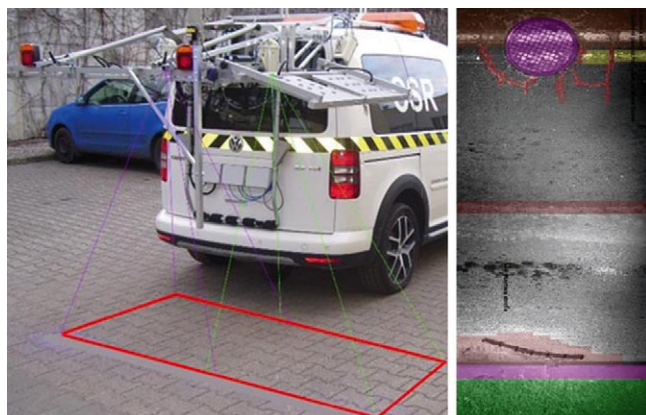


Rys. 3. Urządzenie ZiSPON

Jednym z przykładów innowacyjnych rozwiązań jest Zintegrowany System Precyzyjnej Oceny Nawierzchni (ZiSPON), przedstawiony na rysunku 3. Dane pozyskane z systemów pomiarowych (pomiaru ugięć dynamicznych, fal sejsmicznych i prześwieleń georadarowych) są przetwarzane przez zintegrowany moduł informatyczny, który w czasie rzeczywistym dokonuje wskaźnikowej oceny nośności nawierzchni i jej podłoża [9]. Z kolei szczegółowe analizy umożliwiają precyzyjną ocenę nośności nawierzchni oraz prognozowanie jej zmian w trakcie dalszej eksploatacji, co stanowi istotne wsparcie w planowaniu prac utrzymaniowych i modernizacyjnych.

Rozwiązaniem uzupełniającym do ZiSPON jest urządzenie do półautomatycznej oceny cech powierzchniowych nawierzchni jezdni asfaltowych (rys. 4). Urządzenie wyposażono w moduły do akwizycji i oceny równości podłużnej oraz poprzecznej pasów ruchu, które są zbudowane w oparciu o system triangulacji laserowej.

Kolejnym uzupełnieniem ZiSPON jest urządzenie CSR oznaczania właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni metodą pomiaru ciągłego (rys. 5). Urządzenie CSR posiada dodatkowe koło pomiarowe, które umożliwia rejestrację zmian współczynnika tarcia pomiędzy oponą a nawierzchnią w warunkach rzeczywistych.



Rys. 4. Urządzenie do oceny cech powierzchniowych nawierzchni jezdni

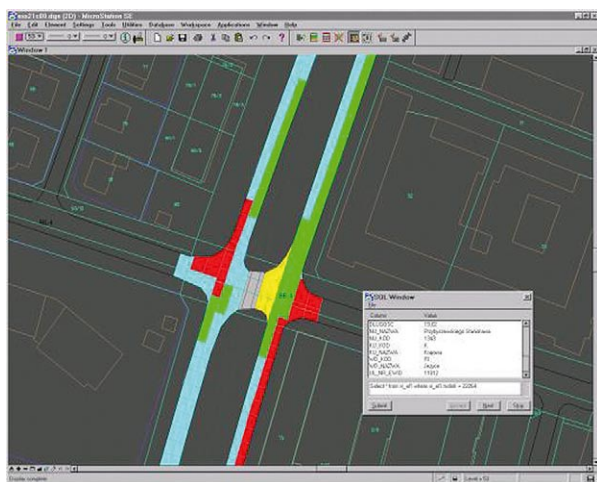
Fot. A. Pożarycki



Rys. 5. Urządzenie CSR

5. System diagnostyki nawierzchni sieci dróg

W 1995 roku uruchomiono komputerowy system wspomagania zarządzania siecią ulic miasta Poznania, który łączy w sobie zarówno funkcje ewidencyjne, jak i inwentaryzacyjne. Jego działanie opiera się na danych pozyskiwanych między innymi z nowoczesnych badań laboratoryjnych oraz mobilnych urządzeń pomiarowych, co umożliwia bieżącą weryfikację faktycznego stanu technicznego nawierzchni. W ramach corocznych badań opracowywane są wskaźniki opisujące kluczowe parametry stanu technicznego nawierzchni jezdni. Następnie porównuje się je z przyjętymi kryteriami, aby przypisać odpowiednim odcinkom klasy stanu technicznego: A – (stan dobry), B – (zadowolający), C – (niezadowolający) i D – (zły). W celu wizualizacji ocen przyjęto odrębne kolory: A – niebieski, B – zielony, C – żółty, D – czerwony, co zaprezentowano na rysunku 6. Są to przykładowe wyniki dotyczące wskaźnika globalnego dla wybranej lokalizacji, obrazujące przydatność systemu w bieżącym monitorowaniu oraz zarządzaniu stanem technicznym nawierzchni w skali całego miasta.



Rys. 6. Przykładowa wizualizacja wartości wskaźnika globalnego nawierzchni jezdni (opracowanie własne na zlecenie ZDM w Poznaniu)

Rozbudowywana corocznie baza danych wyników pomiarów oraz inwentaryzacji remontów i przebudów umożliwia szczegółową analizę skuteczności różnych technologii stosowanych w utrzymaniu nawierzchni. Dzięki temu możliwe jest porównywanie trwałości oraz efektywności poszczególnych innowacyjnych technologii i materiałów, co wspiera podejmowanie optymalnych decyzji dotyczących przyszłych inwestycji oraz strategii zarządzania infrastrukturą drogową.

6. Podsumowanie

Wprowadzenie nowoczesnych metod diagnostycznych, obejmujących zarówno badania laboratoryjne (m.in. reometryczne, mikroskopowe), jak i mobilne urządzenia pomiarowe, istotnie poprawia jakość i efektywność utrzymania nawierzchni drogowych. Dzięki systemom wspomagania zarządzania siecią dróg możliwa jest bieżąca weryfikacja stanu technicznego nawierzchni, planowanie remontów oraz podejmowanie decyzji dotyczących modernizacji na podstawie zintegrowanych danych o parametrach technicznych. Przyczynia się to do poprawy jakości infrastruktury drogowej, a w szczególności poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz zwiększenia komfortu jazdy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Huang M., Huang W. Laboratory investigation on fatigue performance of modified asphalt concretes considering healing, *Construction and Building Materials* 113, 2016, str. 68–76, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.083>
- [2] Li Z., Wu S. Research on the heat conduction, physical and rheological properties of asphalt binder modified with boron nitride, *Construction and Building Materials*, 462, 2025, str. 139937, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.139937>
- [3] Zhao Z., Xiao F., Toraldo E., Crispino M., Ketabdari M. Effect of crumb rubber and reclaimed asphalt pavement on viscoelastic property of asphalt mixture, *Journal of Cleaner Production* 428, 2023, str. 139422, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139422>
- [4] Hesami S., Mahzari M., Sobhi S., Bay M. A., Investigating the rheological properties and microstructural analysis of Nano-expanded Perlite modified asphalt binder, *Case Studies in Construction Materials* 22, 2025, e04208, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04208>
- [5] Bańkowski W., Gajewski M., Horodecka R., Mirski K., Targowska-Lech E., Jasiński D., Assessment of the effect of the use of highly-modified binder on the viscoelastic and functional properties of bituminous mixtures, *Construction and Building Materials* 296, 2021, str. 123412, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123412>
- [6] Devulapalli L., Madichetty C. L., Ghadyale T. R. et al., Evaluation of the ageing characteristics of VG-30, RAP and HiMA using FTIR, *Construction and Building Materials*, 366, 2023, str. 130185, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130185>
- [7] Rivera C., Caro S., Arámbula-Mercado E. et al., Comparative evaluation of ageing effects on the properties of regular and highly polymer modified asphalt binders, *Construction and Building Materials* 302, 2021, str. 124163, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124163>
- [8] Mielczarek M., Fornalczyk S., Słowik M., Evaluation of Rheological Properties of Polymer-Modified Asphalt Binders and Mastics with Organic Additive—Imidazoline, *Sustainability* 16(4)2024, str. 1434, <https://doi.org/10.3390/su16041434>
- [9] Raszewski J., Pożarycki A., Górnaś P., Ocena wskaźnikowa stanu technicznego konstrukcji nawierzchni jezdni – studium przypadku na poziomie projektu, *Drogownictwo* 11–12/2021, str. 309–320

Węzły przesiadkowe na trasie PST w Poznaniu i ich dostępność dla użytkowników ze szczególnymi potrzebami

Transfer hubs on the Poznań Fast Tram route in Poznań and their accessibility for users with special needs

dr inż. Iwona Jankowiak (ORCID: 0000-0001-8736-2685), dr inż. Michał Pawłowski (ORCID: 0000-0002-0747-1177), mgr inż. Elżbieta Plucińska (ORCID: 0009-0005-8589-7818), dr inż. Jeremi Rychlewski (ORCID: 0000-0002-1712-0039), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0987

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę dostępności przystanków miejskiego transportu publicznego dla osób ze szczególnymi potrzebami – z niepełnosprawnością ruchową czy wzrokową, w tym również dla osób starszych. Analizie poddano wybrany węzeł przesiadkowy na trasie Poznańskiego Szybkiego Tramwaju. Sprawdzone długość dróg dojścia, wyposażenie peronów oraz dostępność i czytelność informacji, zarówno pasażerskiej, jak i dla orientacji w terenie. Stwierdzono pewne możliwości poprawy, a także potrzebę zmian niektórych założeń, generalnie uznano jednak, że nowatorskie rozwiązania sprzed pół wieku dobrze spełniają wymogi dostępności dla osób ze szczególnymi potrzebami.

Słowa kluczowe: projektowanie uniwersalne, węzły przesiadkowe, transport publiczny, piesi, osoby ze szczególnymi potrzebami.

Abstract: The article presents an analysis of urban public transport stops' accessibility for people with special needs – with mobility or visual disabilities, including the elderly. A selected interchange on the Poznań Fast Tram route was analyzed. Length of pedestrian access routes, platform furnishing and legibility of information, both passenger and for area orientation, were checked. Some opportunities for improvement were found, as well as a need to change some assumptions, but in general it was stated that the innovative solutions designed half a century ago well meet the requirements of accessibility for people with special needs.

Keywords: universal design, transfer hubs, public transport, pedestrians, people with special needs.

1. Wprowadzenie

Współcześnie przy projektowaniu produktów, środowiska, programów i usług zwraca się dużą uwagę na to, aby były one użyteczne dla wszystkich, w możliwie największym stopniu, bez potrzeby adaptacji lub specjalistycznego projektowania. Ograniczenie dostępu dla pewnych grup mieszkańców można uznać za swego rodzaju niesprawiedliwość i może powodować wzrost ich niezadowolenia. Taka filozofia jest zgodna z zasadami tzw. projektowania uniwersalnego, którego konieczność stosowania wynika bezpośrednio z Konwencji o prawach osób z niepełnosprawnością [1]. Polska ratyfikowała tę konwencję w 2012 r., zobowiązując się do zapewnienia osobom z niepełnosprawnością dostępu do środowiska fizycznego na równi z innymi osobami (w tym m.in. likwidacji barier i przeszkód również w dostępie do budynków czy dróg). W Polsce zostało to doprecyzowane w ustawie z dnia 19 lipca 2019 r. [2], w której projektowanie uniwersalne rozpatrzono w trzech skalach przestrzennych związanych z: zagadnieniami urbanistycznymi (z otoczeniem), architektonicznymi (z budynkiem) oraz wnętrzarskimi. Niniejszy artykuł skupia się na analizie przestrzennej otoczenia, na przykładzie zagospodarowania przestrzennego

i funkcjonowania jednego z bardziej obciążonych ruchem węzłów przesiadkowych w Poznaniu znajdującego się na trasie Poznańskiego Szybkiego Tramwaju (PST, zwanej Pestką).

2. Starzejące się społeczeństwo, mobilność osób z niepełnosprawnościami i wyzwania dla infrastruktury z tym związane

Od 2006 r. obserwuje się stały wzrost udziału osób starszych (w wieku 60 lat i więcej) w populacji ludności Polski. W 2005 r. udział ten wyniósł 17,2%, a w 2021 r. ukształtował się na poziomie 25,7%. Równolegle do przewidywanego spadku ludności do poziomu 34,0 mln osób w roku 2050, spodziewany jest stały wzrost liczby ludności w wieku senioralnym [3]. Według danych GUS w 2020 r. liczba ludności w Polsce w wieku 65+ wynosiła 7,2 mln, a prognozy przewidują, że w roku 2030 grupa ta ma liczyć 8,6 mln osób. W roku 2050 przewiduje się zaś, że będzie to już 11,2 mln. Wśród mieszkańców miast udział osób starszych zwiększy się z 27,7% w 2021 r. do 42,4% w roku 2050.

Powyższe tendencje demograficzne, a także potrzeba włączenia społecznego osób ze specjalnymi potrzebami, stanowi oczywiste wyzwanie zarówno dla osób zarządzających przestrzenią

publiczną, jak też odpowiedzialnych za kształtowanie obiektów budowlanych, w tym infrastruktury transportowej. „Szczególne potrzeby” zaczyna mieć coraz większa część naszej populacji, a uniwersalność rozwiązań ułatwia korzystanie z nich również osobom w pełni sprawnym [4]. Konieczne jest podejście systemowe – w infrastrukturze transportowej oznacza ono zapewnienie dostępności wszystkich obiektów na drodze podróży osoby ze szczególnymi potrzebami [5]. Wyzwanie jest jeszcze większe, gdy dotyczy obiektów już istniejących, których funkcjonalność powinna się zmieniać tak, jak zmieniają się te potrzeby. Duże osiedla miejskie, niegdyś zasiedlane przez młodych ludzi, po parudziesięciu latach stają się osiedlami ludzi o innych potrzebach i oczekiwaniach, choć są to ci sami ludzie [6]. Coraz istotniejsze staje się minimalizowanie wysiłku przy pokonywaniu odległości, a także w trakcie niezbędnych przesiadek, czy podczas pokonywania dużych różnic wysokości. Coraz ważniejsze stają się czytelność układów komunikacyjnych, ciągłość prowadzenia ruchu (bez zbędnych zakłóceń) czy unifikacja rozwiązań, czyli stosowanie rozwiązań powtarzalnych i sprawdzonych [7]. Konieczność dostosowania starych rozwiązań do nowych potrzeb wiąże się ze zjawiskiem reurbanizacji, zwłaszcza że na dawnych osiedlach ukształtowała się infrastruktura usługowa i przestrzenna potrzebna osobom starszym i ze szczególnymi potrzebami. Jak jednak zauważa Beim [8], nie jest to powrót do starych rozwiązań, a dostosowanie dawnej przestrzeni do nowych potrzeb, w tym likwidacja rozwiązań substandardowych. Jednym z istotnych elementów jest dobra jakość transportu zbiorowego, w tym szybkość przejazdu oraz eliminacja lub ułatwienie przesiadek [8].

3. Trasa PST i węzły przesiadkowe

PST to liczący 8,1 km długości odcinek bezkolizyjnej trasy tramwajowej w Poznaniu. Łączy centrum miasta z północnymi osiedlami – Winogradami i Piątkowem, a także z kampusem Uniwersytetu Adama Mickiewicza na Morasku. Od 1.09.2013 r. trasa dochodzi także do głównej stacji kolejowej w mieście, przejeżdżając pod najważniejszym węzłem przesiadkowym miasta – Rondem Kaponiera.

PST zaprojektowano w wielu aspektach z dużą pieczołowitością. Jednym z elementów było zapewnienie dostępności do peronów tramwajowych w sposób bezkolizyjny z ruchem pojazdów, a jednocześnie w pełni dostępny dla osób z problemami ruchowymi, w tym osób na wózkach [9]. Dostępność tę zapewniono budując pochyłe chodniki – zastosowano wyłącznie rozwiązania budowlane, bez form mechanicznych takich jak windy. Warto zaznaczyć, że w innych rejonach Poznania dwupoziomowe dojścia na przystanki budowane w latach 80. XX wieku były dla osób z niepełnosprawnością ruchową niedostępne [5, 10].

W zasięgu 2-kilometrowego dojścia z przystanków PST, na osiedlach Winograd i Piątkowa, mieszka 28% mieszkańców miasta. Biorąc pod uwagę, że osiedla sąsiadujące z trasą PST zostały pobudowane i zamieszkane w latach 70. i 80. XX wieku, dziś jej mieszkańcy tworzą bardzo zróżnicowaną wiekowo społeczność,

Tabela 1. Zestawienie parametrów wyboru zespołu przystanków PST do dalszej analizy

Kryterium	Zespół przystanków PST				
	Słowiańska	Al. Solidarności	Lechicka/Plaza	Kurpińskiego	Szymanowskiego
Budownictwo wielorodzinne po stronie wschodniej	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0
Budownictwo wielorodzinne po stronie zachodniej	0,5	1,0	0,0	1,0	1,0
Centrum handlowe	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0
Lokalny rynek	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0
Budynki usługowe – biurowce	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
Parking Parkuj-i-Jedź	0,0	0,0	0,5	0,0	1,0
Razem	2,5	4,0	3,0	3,0	4,0
Ranking	4	1	3	3	1
Czas wymiany pasażerów [s]	41,66	39,76	34,59	39,32	36,63
Ranking	1	2	5	3	4
Liczba linii autobusowych	5	7	0	3	12
Liczba przystanków autobusowych	208	272	0	102	436
Ranking	3	2	5	4	1
Suma pozycji rankingowych	8	5	13	10	6

a co z tego wynika – z różnymi ograniczeniami i potrzebami. Nie można pominąć też roli PST w obsłudze połączeń przesiadkowych – autobusami dojeżdżają do trasy mieszkańcy Podolan, Strzeszyńska, Naramowic, Umultowa, Radojewa i Moraska – osiedli liczących łącznie 34 tys. mieszkańców (7% mieszkańców Poznania)* – a także podpoznańskich gmin: Suchy Las, Czerwonak i Murowana Goślina. Konieczne jest więc dostosowanie niewątpliwie wizjonerskich przystanków do obecnych potrzeb, które mogłyby być zrealizowane w ramach prac modernizacyjnych.

4. Wybór zespołu przystanków przesiadkowych do analizy

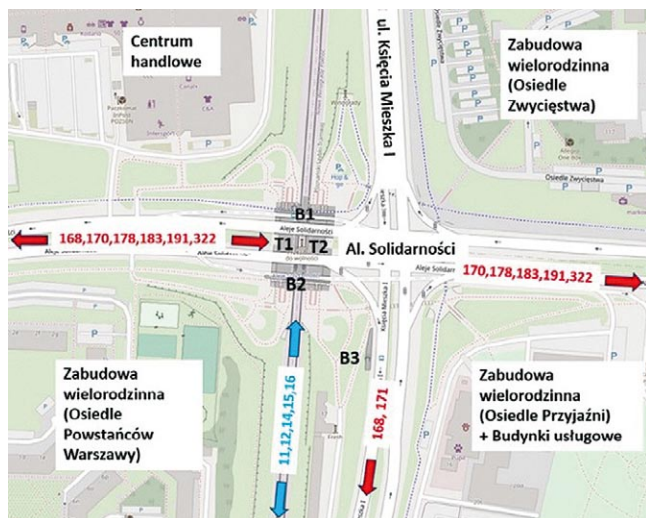
Ocenę dostosowania zespołów przystanków PST do obecnych potrzeb społeczeństwa, z uwzględnieniem osób ze szczególnymi potrzebami, zdecydowano wykonać w oparciu o szczegółową analizę jednego z nich. Przyjęto trzy zespoły kryteriów, dla których utworzono rankingi i wybrano przystanek mający najwyższe miejsca w tych rankingach. Analizowane kryteria objęły liczbę pasażerów korzystających z przystanków, szacowaną w oparciu o czas postoju tramwaju, zróżnicowanie zagospodarowania przyległego terenu obiektami ruchotwórczymi oraz potencjał przesiadkowy, szacowany liczbą dziennych linii autobusowych wjeżdżających na poszczególne zespoły przystanków i liczbą przystanków obsługiwanych przez te linie. Porównanie zespołów przystanków zestawiono w tabeli 1 – wybrano najstarszy przystanek – Al. Solidarności.

* Zestawienie własne na podstawie [11]

5. Opis węzła przesiadkowego

Węzeł przesiadkowy Al. Solidarności składa się z dwóch przystanków tramwajowych zlokalizowanych na poziomie -1 (oznaczonych na rysunku 1 jako T1 oraz T2) oraz z trzech przystanków autobusowych zlokalizowanych na poziomie 0 – dwa zlokalizowane są nad przystankami tramwajowymi wzdłuż Alei Solidarności (B1 i B2), a jeden (B3) wzdłuż ul. Księcia Mieszka I – równoległe do przystanków tramwajowych. Schemat węzła Al. Solidarności przedstawiono na rysunku 1. Z przystanków B1 oraz B2 odjeżdża sześć linii autobusowych, z przystanku B3 dwie linie autobusowe, natomiast z przystanków tramwajowych pięć linii tramwajowych. Główne kierunki przesiadek pasażerów to B1,B2 -> T1 oraz T2 -> B1,B2.

Ocena węzła przesiadkowego z punktu widzenia projektowania uniwersalnego koncentruje się na sprawdzeniu dostępności i wygody korzystania z przestrzeni przez osoby o różnych potrzebach i zdolnościach. Przedstawione rozwiązania powinny być funkcjonalne i dostępne dla jak najszerszego kręgu użytkowników, niezależnie od ich wieku, sprawności fizycznej czy intelektualnej [5, 13]. Analizując węzeł przesiadkowy Al. Solidarności, wzięto pod uwagę: wyposażenie peronów transportu miejskiego; jakość oraz długość przejść między peronami w ramach przesiadek; jakość oraz długość dojazdów na przystanki (perony) z pobliskich osiedli, centrum handlowego czy parkingów.



Rys. 1. Schemat węzła przesiadkowego Al. Solidarności. Opracowanie własne na podkładzie mapy [12] i układem linii dziennych w lutym 2025 r.

Rys. 2. Schody łączące przystanki B2 oraz T1 i T2; zwężenia drogi wolnej od przeszkód w okolicach schodów łączących ww. przystanki



Tabela 2. Porównanie peronów na węźle przesiadkowym Al. Solidarności

Wyposażenie/cecha	Przystanek				
	T1	T2	B1	B2	B3
Wiata autobusowa	tak	tak	tak	tak	tak
Siedziska (ławki z oparciami)	tak	tak	tak	tak	tak
Kosze na śmieci	tak	tak	tak	tak	tak
Tablice informacyjne wyposażone w schemat sieci, taryfę opłat oraz rozkład jazdy	tak	tak	tak	tak	tak
System informacji dynamicznej	tak	tak	tak	tak	nie
Systemy głosowe/dotykowe dla osób niewidomych	tak	tak	tak	tak	nie
Oświetlenie przystanku	tak	tak	tak	tak	tak
Pas bezpieczeństwa	tak	tak	nie	nie	niecały
Szerokość peronu przystankowego [m]	9,5	9,5	6,2	5,4	1,6/3,3
Automaty biletowe	tak	nie	tak	nie	nie

6. Wyposażenie peronów transportu miejskiego

Analizując wyposażenie poszczególnych peronów transportu zbiorowego na węźle Al. Solidarności wzięto pod uwagę: miejsce oczekiwania na przyjazd środka transportu; oznakowanie i informację wizualną; zastosowanie systemów głosowych lub dotykowych dla osób niewidomych; dostępność systemów informacji; szerokości peronów; możliwość zakupu biletu. Zestawienie kryteriów oraz porównanie peronów na węźle Al. Solidarności pod względem ich wyposażenia oraz jakości obsługi podróży zestawiono w tabeli 2.

Analizując dane zawarte w tabeli 1 można zauważyć, że przystanki tramwajowe lepiej spełniają opisane kryteria. W 2023 r. zakończono modernizację trasy PST, która obejmowała również wymianę krawędzi peronów. Na peronach autobusowych B1 i B2 nie ma pasów bezpieczeństwa, a na peronie B3 jest tylko pas żółtych płytek z wypustkami, brakuje również na nim informacji dynamicznej oraz głosowej. Automaty biletowe znajdują się jedynie na peronach T1 i B1, co ogranicza możliwość kupna biletu na innych przystankach.

Minimalne szerokości peronów przystankowych zostały spełnione. Najmniejszą szerokość ma peron B3, ale na nim natężenie ruchu pasażerów jest najmniejsze. Przez przystanek B1 jest prowadzona droga rowerowa, co stanowi problem podczas wymiany pasażerskiej. Perony autobusowe B1 i B2 są także chodnikami, ale ze względu na dominujący wśród pieszych udział pasażerów nie jest to odczuwalne.

7. Jakość oraz długość przejść między przystankami oraz z przystanków do pobliskich osiedli i centrum handlowego

Dla pieszych dwupoziomowy układ węzła ma pozytywne i negatywne skutki: rozdziela strumienie podróżnych udających się w różnych kierunkach, ogranicza długości dróg dojazdów i czas

Tabela 3. Długości dróg łączących przystanki węzła: najkrótszych/wolnych od przeszkód [m]

Przystanek	B1	B2	B3	T1	T2
B1		124/426	200/392	62/265	168/206
B2	124/426		76/76	62/276	61/220
B3	200/392	76/76		138/352	137/186
T1	62/265	62/276	138/352		123/471
T2	168/206	61/220	137/186	123/471	

niezbędny na przesiadkę, górny poziom chroni podróżnych na dolnym poziomie przed niekorzystnymi warunkami atmosferycznymi, ale podróżni przy zmianie poziomu muszą pokonać dużą różnicę wysokości, a drogi wolne od przeszkód są znacznie wydłużone w stosunku do tych ze schodami.

Perony tramwajowe i znajdujące się ponad nimi perony autobusowe (różnica wysokości 6,25 m) połączone są za pomocą schodów o szerokości 2,85 m, z jednym nawrotem, wyposażonych w spoczniki (rys. 2). Na peronach, przed schodami, znajdują się oznaczenia dotykowe. Pierwsze stopnie w biegach oznaczone są żółtymi liniami. Długość najkrótszych dróg między przystankami T1 i T2 oraz B1 i B2 wynosi ok. 60 m, a drogi wolne od przeszkód są ok. 4-krotnie dłuższe (tab. 3).

Drogi wolne od przeszkód mają szerokość ok. 3,5 m. Nawierzchnia dróg jest zróżnicowana – występują odcinki wykonane z kostek betonowych i asfaltowe. Miejscami kostki są skodowane, sporadycznie występują nierówności nawierzchni, zwłaszcza w okolicach studzienek kablowych. Niektóre nierówności stanowią utrudnienia dla poruszania się osób, zarówno na wózkach, jak i z ograniczoną sprawnością, niewidomych i niedowidzących.

Na nawrotach dróg łączących przystanki B1 i B2 z T1 oraz T2 z B3 występują odcinki dróg o zwiększonym pochyleniu podłużnym. W tych lokalizacjach zastosowano niekorzystny układ krawężników, który wraz ze specyficzną konstrukcją poręczy powoduje trudności w pokonaniu tych miejsc osobom na wózkach.

Wokół schodów łączących perony B1 i B2 oraz T1 i T2 szerokość dróg wolnych od przeszkód jest zwężona. Szerokość przejść wzdłuż schodów wynosi 1,7 m od strony krawędzi peronu i 2,2 m od strony ściany oporowej (rys. 2 i 3).

Tunele pod Aleją Solidarności i ul. Księcia Mieszka I, łączące zespół peronów z os. Zwycięstwa i Przyjaźni, mają szerokość ok. 6 m. Na drogach prowadzących z przystanku T2 w kierunku tych osiedli, ze względu na wyżej

posadowione tunele pod ul. Księcia Mieszka I, występuje konieczność pokonania różnicy poziomów wynoszącej ok. 2,0 m na drodze w kierunku os. Przyjaźni i ok. 1,5 m na drodze w kierunku os. Zwycięstwa. Zmiana poziomu jest możliwa za pomocą schodów, zaś drogi wolne od przeszkód są ok. 2,5-krotnie dłuższe.

Analogicznie na drogach prowadzących z T1 w kierunku centrum handlowego i os. Powstańców Warszawy za pomocą schodów pokonuje się różnicę wysokości odpowiednio ok. 1,65 i 1,80 m. Schody łączą się z przejściem pod aleją Solidarności o szerokości 3,1 m znajdującym się ok. 2,0 m powyżej poziomu przystanku tramwajowego, z którym przejście to nie ma bezpośredniego połączenia.

Drogi łączące przystanki węzła i okoliczne osiedla są dobrze oznakowane, również z uwzględnieniem kierunków przemieszczania się osób poruszających się na wózkach.

Równolegle do trasy tramwajowej położona jest ul. Księcia Mieszka I, na której zastosowano dwupoziomowe skrzyżowania z ruchem pieszym. Powoduje to, że na połączeniach przystanków z os. Przyjaźni i Zwycięstwa konieczne jest nawet kilkukrotne pokonanie występujących na nich różnic wysokości: ok. 4,0 m pomiędzy poziomami osiedli i tuneli pod ul. Księcia Mieszka I oraz Aleją Solidarności; ok. 2,0 m pomiędzy poziomami tuneli i peronów tramwajowych; ok. 4,0 m pomiędzy poziomem tuneli i peronów autobusowych; 6,25 m pomiędzy poziomami peronów autobusowych i tramwajowych. Na drogach łączących ww. osiedla z przystankami B1 i B2 można uniknąć konieczności pokonywania różnicy wysokości między poziomami tuneli i peronów, korzystając ze schodów łączących tunele z przystankami B1 i B2 (rys. 2). W najbardziej niekorzystnej relacji os. Przyjaźni – T1 łączna różnica wysokości do pokonania wynosi ok. 16 m. Ze względu na występujące wartości pochylenia podłużnych dróg wolne od przeszkód mają znaczne długości (tab. 3).

8. Podsumowanie

Analiza węzła przesiadkowego Al. Solidarności umożliwiła określenie możliwości poprawy dostępności tego węzła dla osób z różnymi niepełnosprawnościami, a także zaproponowanie wniosków do uwzględnienia przy przebudowie pozostałych węzłów na trasie PST oraz przy nowych rozwiązaniach. Korekty istniejących rozwiązań i daleko posunięta dbałość o stosowanie rozwiązań korzystnych dla osób ze szczególnymi potrzebami są konieczne dla zapewnienia mobilności

tych osób. Jest to istotne w kontekście starzenia się społeczeństwa i potrzeby jak najszerzego włączenia społecznego.

Możliwości poprawy obecnego stanu węzła Al. Solidarności obejmują:

- zastosowanie pełnych zadaszeń peronów tramwajowych gwarantujących pełną ochronę przed wpływem warunków atmosferycznych (opady, wiatr) i chroniących nie

Rys. 3. Widok na węzeł z ul. Księcia Mieszka I. Drogi dojścia z tunelu w kierunku peronów T2 i B1. Widoczne połączenia pomiędzy różnymi poziomami węzła oraz zwężenia drogi wolnej od przeszkód przy schodach łączących przystanki



tylko pasażerów oczekujących na peronie, ale i znajdujących się w trakcie wsiadania i wysiadania;

- zwiększenie liczby biletomatów;
- separację drogi rowerowej na przystanku B1, np. poprzez wyraźne oznaczenie pasów rowerowych, czy zmianę lokalizacji drogi rowerowej poprzez przesunięcie jej w pobliżu schodów i przesunięcie wiat bliżej krawędzi peronowej;
- umieszczenie pasów bezpieczeństwa na peronach B1 i B2;
- wyraźne oznaczenie miejsc parkowania rowerów, by nie ograniczały swobody przemieszczania się drogami wolnymi od przeszkód.

Przy projektowaniu nowych węzłów należy zwrócić uwagę na:

- kształtowanie miejsc łączenia dróg pieszych pod kątem utrzymania standardu obsługi osób z niepełnosprawnością – pochyłości, właściwych barier, odpowiednich oznaczeń;
- kształtowanie peronów w rejonie schodów, aby nie dochodziło do nadmiernego zawężenia przestrzeni pieszej;
- zapewnienie możliwości lokalizacji wind – taka opcja nie została uwzględniona w projektach PST i brakuje miejsca na lokalizację tych urządzeń;
- unikanie, ze względu na łatwość dojścia na perony, lokalizacji ważnych tras transportu publicznego wzdłuż ulic wyższych klas (G, GP, S), o ile jest to możliwe i nie wpłynie na prędkość jazdy tramwajów lub autobusów.

Należy jednak stwierdzić, że zaprojektowane na PST pół wieku temu nowatorskie rozwiązania dla osób z niepełnosprawnościami przeszły próbę czasu. Pomimo pewnych niedogodności,

a także normalnego zużycia są w stanie zapewnić dostęp do autobusów i tramwajów na równych prawach niezależnie od niepełnosprawności i innych szczególnych potrzeb.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Konwencja o prawach osób z niepełnosprawnością przyjęta 13 grudnia 2006 roku przez Zgromadzenie Ogólne ONZ (Rezolucja ONZ 61/106)
- [2] Ustawa z dnia 19 lipca 2019 r. o zapewnianiu dostępności osobom ze szczególnymi potrzebami (Dz.U. 2019, poz. 1696)
- [3] Sytuacja osób starszych w Polsce w 2021 r., GUS – Urząd Statystyczny w Białymstoku Warszawa–Białystok, 2022
- [4] Wysocki M., Projektowanie uniwersalne – równość praw poprzez dostępność, Najważniejsze wyzwania po ratyfikacji przez Polskę Konwencji ONZ o Prawach Osób Niepełnosprawnych, Biuro Rzecznika Praw Obywatelskich, Warszawa, 2012, str. 26–33
- [5] Gadziński J., Beim M., Dostępność przestrzeni lokalnego transportu publicznego w Poznaniu, Transport Miejski i Regionalny 5/2009, str. 10–16
- [6] Błokowska (zbiór artykułów) – Kronika Miasta Poznania 4/2018
- [7] Kowalski K., Włacznik – projektowanie bez barier, Fundacja Integracja, <https://integracja.org/wlacznik/>
- [8] Beim M., Modelowanie procesu suburbanizacji w aglomeracji poznańskiej, Bogucki, Poznań, 2009
- [9] Nowak Z., Poznański szybki tramwaj jako premetro dla Poznania, Kronika miasta Poznania 1/1986, str. 5–23
- [10] Rychlewski J., Accessibility of Public Transport Stops on the Example of the City of Poznań, [w:] Janecki R., Sierpiński G., The Development of Transport Systems, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2010, str. 341–350
- [11] https://badam.poznan.pl/wp-content/uploads/2022/04/Jednostki-pomocnicze-Miasta_link1.pdf
- [12] www.openstreetmap.org, 11.03.2025
- [13] Pawłowski M., Plucińska E., Rychlewski J., Dobre przykłady projektowania uniwersalnego na dworcach kolejowych, Nowe środki transportu i nowe formy mobilności, str. 113–128



POLITECHNIKA POZNAŃSKA



OFERTA INSTYTUTU INŻYNIERII LĄDOWEJ POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ

BADANIA

Badania i ocena właściwości materiałów do budowy i utrzymania dróg
 Badania nośności nawierzchni drogowych i kolejowych
 Badania terenowe obiektów inżynierskich drogowych i kolejowych
 Badania laboratoryjne gruntów
 Badania nośności i zagęszczenia podłoża
 Badania współpracy między nawierzchnią kolejową i podtorzem

OPRACOWANIA NAUKOWO-TECHNICZNE

Projektowanie konstrukcji nawierzchni drogowych i kolejowych
 Projektowanie obiektów inżynierskich
 Ocena stanu technicznego konstrukcji i ich nośności
 Projektowanie robót geologicznych; dokumentacje geologiczne
 Opinie (ekspertyzy) naukowo-techniczne dotyczące praktycznych problemów w zakresie infrastruktury transportowej
 Opinie dla sądów

DORADZTWO

Komputerowe wspomaganie zarządzania siecią dróg i ulic
 Nadzory naukowe przy projektowaniu i realizacji obiektów inżynierskich
 Doradztwo i badania petrograficzne kruszywa na potrzeby budownictwa ogólnego, drogowego, mostowego i kolejowego
 Doradztwo związane z optymalizacją organizacji i regulacji ruchu pociągów
 Doradztwo dotyczące współdzielenia ruchu w przestrzeni miejskiej

KONTAKT

e-mail: office_ce@put.poznan.pl
 tel. +48 61 665 2433

STRONA INTERNETOWA



Przegląd i analiza podejścia projektantów do posadowienia domów jednorodzinnych w projektach udostępnionych przez GUNB

Review and analysis of designers' approaches to the foundation of single-family houses in projects made available by GUNB

dr inż. Adam Duda (ORCID: 0000-0003-2782-2189), Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

DOI: 10.5604/01.3001.0055.0988

Streszczenie: W artykule dokonano przeglądu projektów domów jednorodzinnych udostępnionych na stronie Głównego Urzędu Nadzoru Budowlanego (GUNB), dostępnych w początkowej fazie programu, uproszczonej procedury budowy domu do 70 m² powierzchni zabudowy. W szczególności przeanalizowano podejście projektantów do zdefiniowania warunków gruntowo-wodnych oraz do sposobu wymiarowania fundamentów domów, w udostępnionych bezpłatnie projektach architektoniczno-budowlanych. Podjęto próbę wykazania, że zbyt duże uproszczenie w sposobie podejścia do ustalenia warunków gruntowych może prowadzić do awarii budowlanych.

Słowa kluczowe: bezpłatne projekty domów, domy do 70 m², fundamenty domów, ławy fundamentowe, nośność podłoża gruntowego.

Abstract: The article reviews single-family house designs available on the website of the Main Office of Building Control (GUNB), which were accessible during the initial phase of the program for a simplified procedure for constructing houses with a building area of up to 70 m². The analysis focuses particularly on designers' approaches to defining soil and groundwater conditions and the methods used for foundation dimensioning in these freely available architectural and construction designs. An attempt is made to demonstrate that excessive simplifications in determining ground conditions may lead to construction failures.

Keywords: free house designs, houses up to 70 m², house foundations, strip footings, soil bearing capacity.

1. Wprowadzenie

W 2022 r. weszły w życie przepisy umożliwiające realizację budynków mieszkalnych o powierzchni zabudowy do 70 m² w trybie uproszczonym. Legislacja miała na celu optymalizację procesu uzyskiwania zgód administracyjnych. Tryb uproszczony dotyczy tylko inwestorów indywidualnych, którzy planują budowę wolnostojącego budynku mieszkalnego, maksymalnie o dwóch kondygnacjach, przeznaczonego na własne potrzeby. Warunkiem skorzystania z uproszczonego trybu jest zapewnienie, że obszar oddziaływania obiektu mieści się w granicach działki. Inwestor spełniający powyższe wymogi zwolniony jest z obowiązku ustanowienia kierownika budowy oraz prowadzenia dziennika budowy. W przypadku braku miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego decyzja o warunkach zabudowy powinna zostać wydana w terminie 21 dni. Organ administracyjno-budowlany nie ma możliwości wniesienia sprzeciwu wobec zgłoszenia budowy, co oznacza, że prace mogą rozpocząć się bez konieczności oczekiwania na wydanie decyzji administracyjnej.

W ramach tego programu udostępniono bezpłatne projekty architektoniczno-budowlane, wyłonione w konkursie organizowanym przez Główny Urząd Nadzoru Budowlanego (GUNB). GUNB udostępnia te projekty na swojej stronie internetowej [1]. W artykule przedstawiono wybrane wyniki analiz, dla 25 projektów, które były dostępne na koniec 2023 r., a więc w początkowej fazie programu, potocznie nazywanego „Domem bez pozwolenia”. Na początku 2025 r. można doliczyć się już około 70 projektów domów o powierzchni zabudowy do 70 m², w tym kilka koncepcji domów rekreacyjnych oraz 22 projekty domów o powierzchni zabudowy większej niż 70 m², uwzględniając w tym różne wersje projektowe. Każdy z nich zawiera wizualizacje oraz podstawowe dane techniczne. Inwestorzy mają możliwość nieodpłatnego pobrania kompletnej dokumentacji architektoniczno-budowlanej, przygotowanej do złożenia w urzędzie.

Każdy obiekt budowlany wymaga posadowienia na podłożu gruntowym lub skalnym. Wymiary fundamentów powinny być tak dobrane, żeby zapewnić prawidłową współpracę elementów układu: podłoże-fundament-konstrukcja [5].

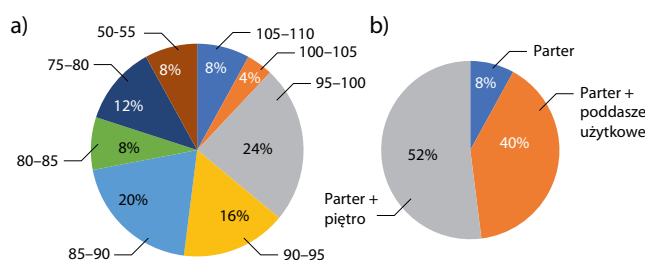
Przyjmuje się, że warunek ten zostanie zachowany, gdy spełnione są tzw. stany graniczne. Według obowiązujących norm, Eurokodów, a w szczególności Eurokodu 7 [2], powinny być spełnione każdorazowo dwa stany graniczne nośności: GEO oraz STR. Stan graniczny GEO (nadmierne odkształcenie lub zniszczenie podłoża) odpowiada za wyznaczenie wymiarów podstawy fundamentów, wymaganych dla przeniesienia obciążeń z konstrukcji na grunt, zapobiegając utracie nośności poprzez wyparcie gruntu spod fundamentu oraz utracie stateczności na przesunięcie. Stan STR dotyczy wytrzymałości konstrukcji samego fundamentu. Dodatkowo należy spełnić warunki stanu granicznego użytkowości, który dotyczy przemieszczeń fundamentów, odkształceń poszczególnych elementów, jak i całej konstrukcji obiektu budowlanego.

W tym miejscu pojawia się tak oczywiste zagadnienie, że trudno znaleźć uzasadnienie dlaczego o tym „niekiedy” się zapomina. Prawidłową współpracę układu konstrukcja-fundament-podłoże może zapewnić tylko i wyłącznie równoczesna, prawidłowa interakcja każdego z tych trzech elementów składowych. Także, a właściwie przede wszystkim – podłoża fundamentu, które powinno być prawidłowo rozpoznane na cele projektowanej inwestycji.

2. Wybrane charakterystyki konstrukcji domów

Warto nadmienić, że ograniczenie powierzchni zabudowy do 70 m² nie oznacza takiej samej powierzchni użytkowej. Większość dostępnych projektów GUNB przewiduje wykonanie piętra lub poddasza użytkowego. Niekiedy powierzchnia użytkowa przekracza nawet 100 m². W przypadku największego pod względem tego parametru, projektu Moderna, powierzchnia ta osiąga 108,45 m². Natomiast najmniejszy, dom Czysta bryła, ma zaledwie 50,08 m² powierzchni użytkowej. Tylko dwa projekty to domy parterowe (8%), około połowa projektów przewiduje parter + piętro, a pozostałe parter + poddasze użytkowe [11]. Na nomogramach, na rysunkach 1 a i b pokazano statystyki ze względu na powierzchnię użytkową i kondygnacje. Żaden projekt nie przewidywał budynku podpiwniczonego.

Pod względem technologii wykonania ściany nośne projektowano w technologii murowanej, najczęściej z pustaków ceramicznych (32%) i bloczków silikatowych (32%), a także bloczków z betonu komórkowego (24%). Ponadto



Rys. 1. Statystyki z uwagi na: a) powierzchnię użytkową, b) liczbę kondygnacje budynków [11]

3 projekty przewidziano w technologii szkieletowej w konstrukcji drewnianej. Drewno jako materiał ścian nośnych stanowiło 12% przypadków. Stropy nad parterem projektowane są zazwyczaj jako monolityczne (48%), na drugim miejscu plasują się stropy gęstożebrowe (28%). W przypadku 3 projektów są to konstrukcje drewniane. Posadowienie budynków, w około 80%, stanowią ławy fundamentowe, w kilku przypadkach układ ław wspomaga dodatkowo pojedyncza stopa fundamentowa. Tylko 5 biur projektowych przyjęło posadowienie na płycie fundamentowej. Bardziej szczegółową charakterystykę porównawczą projektów udośćnionych przez GUNB, według stanu na koniec 2023 r., można znaleźć w pracy [11].

3. Sposób przyjmowania warunków gruntowych

Autorzy projektów architektoniczno-budowlanych domów dostępnych na stronie GUNB nie znają rzeczywistych warunków gruntowo-wodnych, w których mogą zostać posadowione budynki wzniesione w oparciu o ich projekty. W całym układzie konstrukcja-fundament-podłoże znają tak naprawdę tylko konstrukcję nadziemną. Mogą precyzyjnie wyznaczyć wartości oddziaływań (trwałych i zmiennych), jakie przyziemie będzie przekazywało na fundamenty. Trafnie mogą wybrać także rodzaj konstrukcji fundamentu.

W tym miejscu należy zastrzec, że celem tego artykułu nie jest uczyć, jak powinno się projektować fundamenty. Tego studenci, a przyszli projektanci, powinni uczyć się, co oczywiście ochoczo czynią, na przedmiotach „fundamentowaniem” w nazwie oraz z literatury przedmiotu, np. [4–7, 9, 10, 12]. Jednakże pewne aspekty tego projektowania trzeba przywołać, a ograniczymy je tylko do typów konstrukcji będących przedmiotem tego artykułu. Zgodnie z powszechną zasadą pod ścianami murowanymi najczęściej projektujemy ławy fundamentowe, pod słupami stopy fundamentowe. Wybór płyty fundamentowej, zamiast wspomnianych wcześniej ław i stóp, determinują inne czynniki, ale można zaryzykować stwierdzenie, że w każdym przypadku budynek może być posadowiony na płycie fundamentowej. O głębokości posadowienia fundamentów budynków niepodpiwniczonych najczęściej będzie decydować tylko głębokość strefy przemarzania gruntu, która na obszarze Polski mieści się w zakresie od 0,8 m do 1,4 m, p.p.t.

Skoncentrujemy się na ławach fundamentowych, które są najczęstszym rodzajem fundamentów domów jednorodzinnych. Projektant trafnie i bezdyskusyjnie może przyjąć ławę fundamentową pod ścianą. Jednakże odnośnie jej głębokości posadowienia D , musi już dokonać jakiegoś założenia, dotyczącego strefy przemarzania. W uproszczeniu ma możliwość przyjęcia głębokości posadowienia $D = 0,8$ m, $D = 1,0$ m, $D = 1,2$ m lub $D = 1,4$ m. Jeżeli zaprojektuje warstwy izolacyjne, przeciwdziałające przemarzaniu gruntu, to głębokość posadowienia może zmniejszyć do $D = 0,5$ m. W zasadzie może to zrobić także wtedy, gdy będzie wiedział,

97

Zawartość tej tabeli potwierdza, że budowa podłoża gruntowego charakteryzuje się zmiennością. Problem polega na tym, że każde z tych 30 posadowień może być teoretycznie realizowane w pozostałych 29 „lokalizacjach” z założeniami odnośnie warunków gruntowych przedstawionymi w tej tabeli. Chociaż tych różnie określonych warunków jest sporo, to i tak nie uwzględniają wszystkich możliwych kombinacji budowy podłoża, na którym może stanąć budynek mieszkalny. Jednocześnie warto zwrócić uwagę na, chyba najmniej precyzyjne, zdefiniowanie warunków gruntowych, np. „grunty jednolite, przebiegające równolegle do płaszczyzny terenu”, czy też „budynek należy posadzić na gruncie nośnym”.

4. Weryfikacja nośności fundamentu na wybranych przykładach

Domy jednorodzinne charakteryzują się niedużym ciężarem własnym, obciążenia zmienne też są raczej małe. Tym samym fundamenty takich budynków przekazują na podłoże gruntowe stosunkowo małe obciążenia. Często jest tak, że ze względu na nośność podłoża gruntowego pod fundamentem, sam fundament jest przewymiarowany. Zachodzi to, np. wtedy, gdy szerokość ławy B wynika ze względów konstrukcyjnych (ława z odsadzkami nie może być węższa od ściany, która na niej stoi), a nie z parametrów geotechnicznych tego podłoża. W takich przypadkach nie ma znaczenia, czy budynek jest wznoszony w ramach uproszczonej, czy standardowej procedury, wyłącznie z nadzorem kierownika budowy. Współpraca elementów układu podłoże-fundament-konstrukcja będzie poprawna zarówno na etapie budowy, jak i podczas eksploatacji budynku.

Podłoże gruntowe może być jednak w pewnych lokalizacjach inne i słabsze od założeń przyjętych w projekcie. Czasem może być zmienne nawet w obrębie jednej działki. Ponadto w większości przypadków może, poza wyjątkiem jednego projektu, wcale nie poruszono aspektu warstwowej budowy podłoża gruntowego. Pominęto fakt, że na nośność podłoża gruntowego pod fundamentem mają także wpływ głębiej zalegające warstwy. Zdarza się, że głębsze warstwy mogą charakteryzować się mniejszymi wartościami parametrów mechanicznych. Jeżeli te słabsze warstwy będą w zasięgu oddziaływania naprężeń od fundamentu, może dojść do utraty nośności głębszych warstw podłoża.

Poza samą kwestią nośności fundamentów, która absolutnie jest nadrzędna, występuje także aspekt ekonomiczny. Jeżeli lokalne podłoże przeniesie obciążenia od ławy fundamentowej o szerokości $B = 0,4$ m, to po co łać zgodnie z projektem ławę o szerokości $B = 0,6$ m? Budowa domu to oczywiście nie jest apteka, a $0,6$ m minus $0,4$ m to tylko 20 cm. No, ale równocześnie potrzeba wtedy aż $1/3$ mniej mieszanki betonowej do wylania tych fundamentów. Na przykładzie

wybranego projektu domu przeprowadzono analizę obciążeń przekazywanych przez jego konstrukcję na fundamenty [11]. Maksymalne obciążenie przekazywane przez ścianę budynku na fundament określono na poziomie około 50 kN/mb. Dla tego projektu założona szerokość ław wynosi $B = 60$ cm, a jej wysokość $h_f = 30$ cm. Dla takiego samego obciążenia, tj. 50 kN/mb obliczono wymagane minimalne szerokości ławy fundamentowej B , w zależności od przyjmowanych warunków gruntowych, spełniające warunek stanu GEO, $V_d \leq R_d$ według Eurokodu 7 [2]. Rozpatrzono kilkanaście kombinacji budowy podłoża gruntowego, pod wymiarowanym fundamentem. Przy czym ograniczono się tylko do warunków prostych, jednorodnego i do jednowarstwowego podłoża gruntowego. Wymagana szerokość B ławy fundamentowej, pod ścianą, która przekazuje obciążenie 50 kN/mb na fundament, wynosiła:

- w gruntach niespoistych $B = 10$ do 30 cm. Oznacza to, że w każdym przypadku szerokość jest mniejsza od szerokości przyjętej w projekcie. Ponadto mniejsza od minimalnej szerokości konstrukcyjnej, która wynosi 35 cm;
- dla gruntów spoistych, dla których wzięto pod uwagę różne genezy, w 3 stanach plastyczności, reprezentowanych stopniem plastyczności $I_L = 0,30$, $I_L = 0,45$ i $I_L = 0,60$, potrzebne szerokości ławy mieściły się w przedziale od $B = 0,15$ m do $B = 1,21$ m. Dla nieskonsolidowanych gruntów, o większym uplastycznieniu, dla $I_L > 0,40$, szerokości ław nie spełniały warunku nośności podłoża gruntowego pod fundamentem.

Powyższe rozważania wyraźnie pokazują, że przyjęta w projekcie szerokość ławy $B = 60$ cm, jest przewymiarowana we wszystkich rozpatrywanych wariantach podłoża niespoistego. Natomiast na niektórych gruntach spoistych szerokość ta jest niewystarczająca i nie spełnia warunku stanu granicznego nośności. Jednocześnie fundamenty wymiaruje się na obliczeniowe wartości obciążeń i oporów podłoża gruntowego. Zatem niespełnienie warunku obliczeniowego ($V_d \leq R_d$), nie oznacza automatycznie osiągnięcia stanu granicznego w podłożu budowli i rozpoczęcia procesu deformacji plastycznych tego podłoża. Wszystko razem sprawia, że katastrofy i awarie budynków mieszkalnych z uwagi na stany graniczne nośności podłoża, nie są zjawiskiem powszechnych. Natomiast daje się zaobserwować nieprawidłowości w zakresie stanów granicznych użytkowności. Co przejawia się zarysowaniami i pęknięciami ścian, najczęściej w miejscach nadproży drzwiowych i okiennych, ewentualnie także na stropach w miejscach połączeń płyt stropowych oraz belek stropów gęstożebrowych. O ile zarysowania można jeszcze uznać „tylko” za mankament estetyczny, który nie musi nawet wynikać ze złej pracy podłoża, o tyle pęknięcia ścian, tj. „rysy na wylot” należy uznać za przejaw niewłaściwej współpracy elementów układu podłoże-fundament-konstrukcja i wadę konstrukcyjną.

Trzeba też zwrócić uwagę na zagrożenia w postaci niejednorodnej budowy podłoża gruntowego, kiedy pod różnymi

częściami budynku mogą występować grunty o różnej ścisłości. Ponadto problemem może być zaleganie w podłożu gruntów ekspansywnych. W analizach wymaganej szerokości ławy na ilach, szerokość ławy wynosiła od $B = 24$ cm do $B = 40$ cm [11]. Zatem stan graniczny nośności, a także użytkowności (związany z osiadaniem fundamentów) były zachowane. Tymczasem zagrożenie może czyhać w ich ekspansywności, jeżeli taką będą wykazywały, a podczas robót ziemnych i fundamentowych nie zostaną zachowane zasady obowiązujące podczas budowy na takich gruntach.

5. Proponowany sposób postępowania z wymiarowaniem fundamentów domów w gotowych projektach

Skoro wiemy, że nie ma pewności, na jakim podłożu będzie posadowiony dom wzniesiony na podstawie darmowego projektu w trybie uproszczonym, być może bezpieczniej byłoby nie podawać wymiarów fundamentów. W takich projektach należałoby tylko podać rzut przyziemia, tj. ścian fundamentowych i słupów, przyjąć głębokość ściany fundamentowej 1,0 m poniżej poziomu terenu, podobnie zagłębienie dla słupa i zebrać oddziaływania na tym poziomie, tj. 1,0 m p.p.t. Za to wyraźnie powinno się napisać, że fundamenty muszą być każdorazowo zaprojektowane przez uprawnioną osobę.

Proponowany sposób postępowania zasadniczo powinien dotyczyć wszystkich gotowych projektów, kupowanych np. w sklepach internetowych. Niepokazywanie fundamentów na rysunkach technicznych, a przynajmniej niepodawanie ich wymiarów (zaprojektowanych dla podłoża zdefiniowanego, np. cyt. „Budynek należy posadowić na gruncie nośnym”), byłoby bezpieczniejsze od zamieszczania, w części tekstowej projektu, klauzuli w stylu „projekt należy zaadaptować do lokalnych warunków gruntowo-wodnych”.

Warunki gruntowo-wodne powinny być każdorazowo zbadać, nawet dla tak „małej inwestycji”, jak „domek do 70 metrów kwadratowych”. Bardzo istotna jest tutaj świadomość specyfiki warunków gruntowo-wodnych. Oczywiście proces budowlany powinien przebiegać prawidłowo na każdym jego etapie. Jednocześnie można wskazać na pewne różnice w stopniu trudności poszczególnych zadań. Nawet nie doświadczony inwestor, gdy odczyta z projektu, że na ściany potrzebuje, np. pustaki ceramiczne, będzie mógł zakupić je w składzie budowlanym i zawsze powinien otrzymać takie pustaki, które zamówił. Podobnie poradzi sobie np. z zamówieniem elementów wskazanego stropu gęstożebrowego i mieszanki betonowej. Trochę trudniej będzie, jak zdecyduje się mieszankę betonową wykonywać na miejscu; aczkolwiek to też często się udaje. Czy w przypadku rozpoznania warunków gruntowych jest trudniej? Niestety nie mamy gwarancji, że w podłożu będzie akurat ten sam „nośny piasek”, który jest w projekcie.

6. Podsumowanie

Każdy z dostępnych projektów architektoniczno-budowlanych GUNB może zostać wybrany do realizacji, tym bardziej że są to bezpłatne projekty, gotowe do pobrania, bez formalności, w uproszczonej procedurze. Co więcej, są wybierane przez prywatnych inwestorów, często laików budowlanych, których do wyboru „tego” konkretnego projektu skusił tylko np. wygląd elewacji, ewentualnie pompa ciepła. Powodować to może złudzenie prostoty zadania i usypiać czujność takiego inwestora, który przecież nie musi mieć intuicji inżynierskiej.

W gotowych projektach, które mogą zostać zrealizowane na dowolnej działce, nie powinno się podawać wymiarów fundamentów. Fundamenty powinny być każdorazowo zaprojektowane na lokalne warunki gruntowo-wodne.

Warunki gruntowo-wodne powinny być wyznaczone dla każdej inwestycji budowlanej. Badania podłoża gruntowego pod domy jednorodzinne to koszt rzędu kilku tysięcy zł. Często te koszty nie przekraczają 2 tys. zł. To nawet nie jest procent, ale to są tylko promile całkowitych kosztów inwestycji. Ponadto koszty wykonania badań gruntowych są niewielkie w porównaniu z kosztami ewentualnej naprawy uszkodzeń budynku i wzmocnienia podłoża gruntowego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://www.gunb.gov.pl/projekty-architektoniczno-budowlane>
- [2] PN-EN 1997-1 (2008):Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne, Część 1: Zasady ogólne – Fundamenty bezpośrednie
- [3] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. 2012 r., poz. 463)
- [4] Biernatowski K., Dembicki E., Dzierżawski K., Wolski W., Fundamentowanie: Projektowanie i wykonawstwo, tom 1, Podłoże budowlane, Warszawa, Wydawnictwo Arkady, 1987
- [5] Biernatowski K., Dembicki E., Hera E., Rossiński B., Rossman J., Rzepka J., Sułocki J., Fundamentowanie: Projektowanie i wykonawstwo, tom 2, Posadowienie budowli, Warszawa, Wydawnictwo Arkady, 1988
- [6] Garwacka-Piórkowska S., Cios I., Projektowanie typowych fundamentów bezpośrednich i konstrukcji oporowych z uwzględnieniem Eurokodów wraz z przykładami, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2014
- [7] Grabowski Z., Pisarczyk S., Obrycki M., Fundamentowanie, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1997
- [8] Kania M., Florkiewicz A., Duda A., Problemy analizy stateczności skarp drogowych budowli ziemnych na terenach zaburzonych glaciekticznie, Archiwum IIL, Poznań, Wyd. PP 9/2011, str. 135–150
- [9] Puła C., Rybak C., Sarniak W., Fundamentowanie: projektowanie posadowień, Wyd. 6. Wrocław, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2009
- [10] Puła O., Projektowanie fundamentów bezpośrednich według Eurokodu 7, Wyd. 3 rozsz. Wrocław, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2014
- [11] Rybarczyk M., Dostosowanie posadowienia budynku mieszkalnego do lokalnych warunków gruntowo-wodnych, praca dyplomowa inżynierska, promotor Duda A., Instytut Inżynierii Lądowej, Politechnika Poznańska, 2024
- [12] Wysokiński L., Kotlicki W., Godlewski T., Projektowanie geotechniczne według Eurokodu 7. Poradnik, Warszawa, Instytut Techniki Budowlanej, 2011



5-6 czerwca, Warszawa
Transmisja on-line

99. Konferencja EUROCONSTRUCT

Perspektywy europejskiego rynku budowlanego do 2027

Budowanie przyszłości Europy: Odporność, renowacja
i odbudowa w obliczu globalnych wyzwań

Program konferencji i rejestracja: www.euroconstruct.pl

Patronat medialny:



Organizator:

PAB-PCR&F Institute

- 4-6 CZERWCA 2025
- Muszyna-Złockie
- zbp2025.pk.edu.pl

III Konferencja naukowo-techniczna

"Zarządzanie Bezpieczeństwem Pracy w Budownictwie 2025"

ZBP 2025



ORGANIZATOR



Politechnika
Krakowska
Jubileusz 80-lecia



Wydział
Inżynierii Lądowej

Katedra Zarządzania
w Budownictwie
Wydział Inżynierii Lądowej



SPONSORZY



TLC Rental AROCA SAFETY budimex



WSPÓŁORGANIZATORZY



Okręgowa Inspekcja Pracy
w Krakowie

Politechnika
Warszawska



Politechnika Wrocławska

PATRONATY





KONFERENCJA SZTUKA BUDOWLANA 23 MAJA 2025 BYDGOSZCZ

XXIV KRAJOWY ZJAZD NAUKOWO-TECHNICZNY
MŁODEJ KADRY PZITB
23-25 MAJA 2025

FOT. MARTA PIESIAKOWSKA - SZYMOCZAK

XVI KONFERENCJA SKB 2025

Stowarzyszenie Kosztorysantów Budowlanych

Dokąd zmierzamy?
Ewolucja czy rewolucja w kosztorysowaniu

12-13.06.2025
Hotel Lord, Warszawa



56 Konferencja Naukowa Inżynieria Przedsięwzięć Budowlanych – IPB 2025.

8-10 października 2025 roku w Zawierciu (Hotel Villa Verde Congress & SPA)

Konferencja organizowana jest przez Katedrę Inżynierii Procesów Budowlanych Wydziału Budownictwa Politechniki Częstochowskiej, Stowarzyszenie Menedżerów Jakości i Produkcji, a także Sekcję Inżynierii Przedsięwzięć Budowlanych Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN.

Konferencja IPB jest doskonałą platformą do szerokiej wymiany doświadczeń z zakresu organizacji, ekonomiki oraz materiałów i technologii robót budowlanych, a także służy pogłębianiu współpracy i integracji środowiska akademickiego.

Do uczestnictwa w konferencji zapraszamy pracowników badawczo-dydaktycznych i dydaktycznych uczelni prowadzących specjalność TOB (technologia i organizacja budowy) oraz IPB (inżynieria przedsięwzięć budowlanych), pracowników instytutów naukowych, projektantów, wykonawców robót budowlanych, producentów materiałów i wyrobów budowlanych.

Zapraszamy na stronę: <https://ipb2025.pl>

KAMPANIA EDUKACYJNA ZWIĄZKU
PÓLSKIE OKNA I DRZWI

ORGANIZATOR
POiD



TERMO +
MODERNIZACJA
EDYCJA 11

DOBRY MONTAŻ

DOBRYMONTAZ.COM

PARTNERZY KAMPANII:

FAKRO **glassolutions** **GREE** **HÖRMANN** **Wkręt-met KLIMAS** **KRISHOME** **Midea**

Nyxon **PORTA DRZWI** **PROLINE** **PSPS** **somfy.** **SOUDAL** **Stalprodukt** **WIŚNIEWSKI**



7. Forum Budowlane
Budownictwo zrównoważone

PŁOCK
4-5 lipca 2025

Konferencja naukowo-techniczna „Wyzwania współczesnego budownictwa”

- Społeczne aspekty budownictwa zrównoważonego
- Dekarbonizacja – metody, problemy, wyzwania
- Efektywność energetyczna w budownictwie
- Ochrona środowiska przyrodniczego a budownictwo
- Budownictwo energooszczędne, nisko- i zeroemisyjne
- Technologie IoT i SMART w budownictwie, drogownictwie i planowaniu przestrzennym
- Technologie recyklingowe w budownictwie i drogownictwie

Zgłoszenia
do 16.03.2025 r.



 **Politechnika Warszawska**
Filia w Płocku

 **MAZOWIECKI OKRĘGOWA IZBA INŻYNIERÓW BUDOWNICTWA**

www.fb2025.pw.plock.pl



XVIII KONFERENCJA NAUKOWO – TECHNICZNA

WARSZTAT PRACY RZECZOZNAWCY BUDOWLANEGO

Kielce - Cezdyna
28-30 maja 2025 roku

ORGANIZATORZY:



Politechnika Świętokrzyska
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA I ARCHITEKTURY



Instytut Techniki Budowlanej

INFORMACJE: <https://rzeczoznawstwo2025.tu.kielce.pl/>

KONTAKT: rzecz2025@tu.kielce.pl

TEMATYKA WARSZTATÓW

1. Zagadnienia formalno-prawne w działalności Rzeczoznawcy i Specjalisty Budowlanego.
2. Systemy monitoringu i nieniszczące metody badawcze stosowane w ocenie stanu technicznego obiektów budowlanych z analizą wyników i przykładami zastosowań.
3. Zagadnienia związane z oddziaływaniami na konstrukcje.
4. Oceny stanów technicznych nośności i trwałości konstrukcji z uwzględnieniem oceny możliwości wykorzystania istniejących elementów konstrukcji.
5. Problemy utrzymania i wzmacniania dróg oraz obiektów budowlanych i inżynierskich.

Konferencja dofinansowana ze środków budżetu państwa,
przyznanych przez Ministra Nauki w ramach programu
„Dokonała Nauka II”



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego



Doskonała
Nauka



POLITECHNIKA RZESZOWSKA

X KONFERENCJA
NAUKOWO-TECHNICZNA

KSZTAŁTOWANIE KONSTRUKCJI I BUDOWLI

4-6 CZERWCA 2025 RZESZÓW

kkib2025.prz.edu.pl

Tematyka konferencji:

- współczesne kształtowanie konstrukcji z różnych materiałów,
- kształtowanie konstrukcji ze względu na nowe materiały i technologie,
- współzależności form konstrukcyjnych i architektonicznych w obiektach budowlanych, w tym budynkach wysokich,
- kształtowanie konstrukcji z uwagi na odporność, niezawodność i trwałość.



XXVII Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna



BIELSKO-BIAŁA

EKOLOGIA a BUDOWNICTWO 2025

Bielsko-Biała 16–18 października 2025 r. | Hotel Szyndzielnia (dawniej Dębowiec) al. Armii Krajowej 220

RADA NAUKOWO-TECHNICZNA KONFERENCJI:

Przewodniczący dr hab.eur.inż. prof. PP Tomasz Błaszczyński
Zastępca Przewodniczącego dr hab. inż. prof. UZ Beata Nowogóńska
Sekretarz dr hab.inż. prof. ITB Michał Piasecki

Członkowie:

dr hab.inż. Wacław Brachaczek prof. ATH
dr hab.inż. Barbara Francke prof. SGGW
dr hab. inż. arch.prof. PK. Marcin Furtak
dr inż. Robert Geryło

dr inż. Tomasz Jeż
prof.dr hab.inż. Janusz Juraszek
dr inż. Dobrosława Kaczorek
dr hab.inż. prof. PŚL. Paweł Krause
dr hab.inż. Barbara Ksiit

dr hab.inż. prof.PB Jolanta Prusiel
dr hab.inż.prof.UP Bohdan Stawiski
dr hab.inż. prof.UPP Anna Szymczak-Graczyk
dr hab.inż. prof. UBB Jan Zamorowski

ZAKRES TEMATYCZNY:

- Problemy ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju.
- Rola administracji państwowej i samorządowej oraz uczestników procesu budowlanego w ochronie i kształtowaniu środowiska.
- Proekologiczne materiały i wyroby budowlane- materiały odnawialne.
- Recykling i wykorzystanie odpadów w budownictwie.
- Skutki techniczne, ekonomiczne i społeczne skażenia obiektów budowlanych i sposoby ich neutralizacji.
- Ekologia terenów zurbanizowanych.
- Kształcenie ekologiczne w budownictwie.
- Rewitalizacja obiektów, terenów poprzemysłowych i innych.
- Problemy korozji w tym biologicznej w budownictwie.
- Problemy projektowania i utrzymywania obiektów budowlanych w strategii zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska.
- Problemy pozyskiwania i użytkowania energii w budownictwie.
- Skutki techniczne działalności budowlanej na istniejące obiekty budowlane.
- Komfort użytkowania budynków, komfort termiczny, jakość powietrza wewnętrznego, komfort wizualny.
- Zrównoważone wykorzystanie zasobów mineralnych, złóż energetycznych w tym odnawialnych.
- Inwestycje wodne, sprawy powodzi
- Zmiany klimatu i ich wpływ na zagospodarowanie terenów
- Cyrkularność wyrobów

KOMITET ORGANIZACYJNY:

mgr inż. Janusz Kozula – Przewodniczący
mgr inż. Przemysław Pępek
mgr inż. Bogusław Rudziński

ORGANIZATORZY KONFERENCJI:

- Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa Oddział w Bielsku-Białej
- Komitet Ekologii przy Zarządzie Głównym PZITB
- Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie

WARUNKI UCZESTNICTWA

Zgłoszenie uczestnictwa należy przesłać na adres biura organizacyjnego do dnia **03.10.2025 r.**

KOSZT UCZESTNICTWA (brutto)

Uczestnicy Konferencji **1900 zł**

Młodzi pracownicy naukowci w wieku poniżej 40 lat **1400 zł**

Stosowną kwotę prosimy wpłacić do **13.10.2025 r.** na konto organizatora.

W ramach opłaty mieści się:

- udział w obradach
- komplet materiałów konferencyjnych
- 2 noclegi w pokojach dwuosobowych
- wyżywienie od obiadu w dniu 16.10.2025 r.(czwartek)
- do obiadu w dniu 18.10.2025 r.(sobota)
- udział w kolacji koleżeńskej
- parking bezpłatny

PARTNERZY MEDIALNI:

PRZECIĄG
budowlany

IZOLACJE

Builder

**Inżynier
budownictwa**

PARTNERZY BRANŻOWI:



Krajowa Rada Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa

Śląska Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa

ADRES ORGANIZATORA:

PZITB Oddział w Bielsku-Białej | ul. 3 Maja 10/14, 43-300 Bielsko-Biała | tel./fax 33 822 02 94
e-mail: biuro@pzitb.bielsko.pl | www.pzitb.bielsko.pl | konto bankowe: ING BŚL. 45 1050 1070 1000 0090 3025 0774



wacetob.com.pl

rok założenia 1982



EKSPERTYZY, OPINIE TECHNICZNE, OPINIE SĄDOWE

Ocena stanu technicznego budynków i budowli
Ocena przyczyn powstawania uszkodzeń, awarii
Opracowania dotyczące koniecznych napraw, wzmocnień, modernizacji
z określeniem technologii wykonania i określeniem kosztów
Kontrole obiektów budowlanych
Audyty techniczne Due Diligence
Audyty energetyczne

WSPARCIE W REALIZACJI INWESTYCJI BUDOWLANYCH

Doradztwo i przygotowanie przetargów na realizację inwestycji budowlanych
Nadzór inwestorski
Nadzorowanie robót w obiektach zabytkowych
Doradztwo techniczne
Doradztwo kontraktowe

OPRACOWANIA Z ZAKRESU EKONOMIKI BUDOWNICTWA

Sporządzanie i weryfikacja:
przedmiarów robót, kosztorysów inwestorskich, ofertowych, zamiennych
i powykonawczych
Audyty kosztowy przedsięwzięć budowlanych

SZACOWANIE WARTOŚCI

nieruchomości, nakładów inwestycyjnych

Warszawskie Centrum Postępu Techniczno-Organizacyjnego
Budownictwa WACETOB Sp. z o.o.
00-641 Warszawa, ul. Mokotowska 4/6 lok. 208
Tel. 22 622 13 46, 799 041 080, e-mail: wacetob@wacetob.com.pl





KEIM POROSIL®-IP75

CIEPŁOCHRONNY TYNK MINERALNY

- współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda \leq 0,075 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
- całkowicie niepalny – klasa reakcji na ogień A1
- otwarty na dyfuzję pary wodnej ($\mu \leq 15$)
- do wnętrza i na zewnątrz



KEIM. FARBY NA ZAWSZE.
www.keim.com

3 minuty o KEIM
na YouTube



INTERsoft[®]

Kompleksowe oprogramowanie BIM dla architektury i budownictwa

ArCADia BIM

15

**NOWA
PRZEŁOMOWA
WERSJA.**

www.intersoft.pl

**INTERsoft sp. z o.o., generalny dystrybutor ArCADiasoft – producenta systemu ArCADia BIM
90-057 Łódź, ul. Sienkiewicza 85/87, tel. 42 6891111, SKLEP ONLINE: intersoft.pl**