

Zharmonizowany monitoring infrastruktury transportowej w Europie w celu optymalnego utrzymania i bezpieczeństwa

Agnieszka Bigaj van Vliet (TNO), Patrycja Sanecka (Mostostal Warszawa), Juliusz Żach (Mostostal Warszawa)

Abstrakt

Rosnąca liczba obiektów inżynierskich zbliżających się do kresu ich projektowanego czasu eksploatacji stanowi wyzwanie zarówno dla inżynierów mostowych jak i zarządców dróg w Europie. Obecnie nie ma jednolitej normy dotyczącej utrzymania obiektów mostowych, przeglądów technicznych oraz ekspertyz, co skutkuje niejednoznaczną oceną ich stanu technicznego. Nieadekwatne ujęcie w normach stałego monitoringu infrastruktury drogowej, powolny i nietransparentny proces decyzyjny oceny stanu mostów oraz tuneli to główne przeszkody w zapewnieniu kompleksowego utrzymania obiektów i skutecznej ich diagnostyki.

Projekt IM-SAFE¹, finansowany przez Unię Europejską w ramach konkursu H2020-NMBP-36-2020 na podstawie umowy grantu nr 958171, powstał w celu ujednoczenia monitoringu obiektów inżynierskich i podniesienia bezpieczeństwa infrastruktury w Europie, przede wszystkim mostów i tuneli. Konsorcjum projektu wspiera Komisję Europejską i Europejski Komitet Normalizacyjny w przygotowaniu nowej normy w zakresie optymalnego utrzymania i zarządzania infrastrukturą drogową w Europie. Celem projektu jest również zebranie dotychczasowych rezultatów innych projektów unijnych i wykorzystanie ich osiągnięć przy formułowaniu nowej, jednolitej normy. Nie mniej istotne jest również skierowanie uwagi władz publicznych i firm prywatnych na problemy wynikające z aktualnej sytuacji infrastruktury drogowej jak i zalet wynikających z ujednoczenia istniejących norm i wytycznych. W ramach prowadzonych prac zaangażowano ekspertów z różnych krajów Unii Europejskiej do aktywnego uczestnictwa i dzielenia się swoim doświadczeniem na kolejnych etapach trwania projektu w ramach organizowanych cyklicznie spotkań. Prezentując wiedzę opartą na doświadczeniach świata nauki i przemysłu, konsorcjum projektowe ma na celu ułatwienie wdrożenia nowej normy i uzyskanie szerokiej akceptacji w kręgu ekspertów i podmiotów publicznych.

¹ CSA IM-SAFE. (2021). CSA IM-SAFE. Retrieved from Cordis Europa: <https://im-safe-project.eu>, <https://cordis.europa.eu/project/id/958171>

Wśród podejmowanych działań znajduje się analiza aktualnych i przyszłych wymagań infrastruktury drogowej wraz z kierunkami rozwoju. Zestawiono aktualny stan diagnostyki mostowej z doświadczeniami wynikającymi z zaistniałych w ostatnich latach katastrofami mostowymi. Przygotowano przegląd metod badawczych i technologii umożliwiających skuteczną ocenę stanu obiektów mostowych wraz z klasyfikacją mechanizmów niszczenia elementów konstrukcji, technologii monitorowania, rodzaju wykonywanych inspekcji i metod analizy danych pomiarowych. Zebrano innowacyjne rozwiązania połączone z zaawansowanymi narzędziami przetwarzania i analizy danych, które mogą znaleźć zastosowanie w ciągłym monitorowaniu obiektów inżynierskich.

W wyniku współpracy w projekcie IM-SAFE opublikowano szeroką analizę barier politycznych, ekonomicznych, technologicznych i społecznych w obszarze utrzymania obiektów mostowych. W analizie tej ujęto zarówno bariery dotyczące całej Unii Europejskiej, jak i te występujące na poziomie krajowym, związane z obowiązującym prawem i lokalną polityką. Zaprojektowano internetowy katalog zawierający stosowane, dobre praktyki w diagnostyce mostowej na przykładach istniejących mostów i tuneli w Europie. Znajdują się w nim lokalizacje monitorowanych obiektów oraz rodzaj zastosowanego systemu do monitorowania i kontrolowane parametry. Katalog został następnie rozszerzony o przegląd metod i technologii badawczych wraz ze szczegółowym opracowaniem oraz przyjmowane strategie zarządzania infrastrukturą drogową i stosowane elementy kontroli jakości.

Słowa kluczowe: mosty; tunele; normalizacja; monitoring konstrukcji; utrzymanie; diagnostyka;

Keywords: bridges; tunnels; standardization; data-informed safety assessment; maintenance;

Stan infrastruktury drogowej w Europie

Obecnie, źle rozumiana, optymalizacja kosztów utrzymania infrastruktury drogowej opiera się o eksploatację obiektów mostowych przez czas dalece przekraczający ich projektowy czas życia, przy wartościach parametrów obciążenia przekraczających znamionowe. Skutkiem powyższego jest postępująca degradacja obiektów oraz ryzyko niekontrolowanych zniszczeń zaburzających funkcjonowanie sieci transportowej, przepływu dóbr oraz zmniejszenie bezpieczeństwa użytkowników. Ponadto starzejąca się infrastruktura drogowa jest narażona na

negatywny wpływ klimatu ulegającego zmianom oraz wzrost natężenia ruchu drogowego w wyniku aktualnych wymagań względem transportu. Nadzór oraz detekcja niewidocznych zmian właściwości użytkowych materiałów konstrukcyjnych jest utrudniona poprzez brak powszechnego stosowania odpowiednich narzędzi służących do monitorowania konstrukcji i reagowania w przypadku przekroczenia wartości granicznych. Analizując stan techniczny obiektów mostowych w Europie należy podkreślić, że ponad 50% z nich przekroczyła już swój projektowany okres użytkowania, a w czasie powstawania tych obiektów zakładane obciążenia projektowe były znacznie mniejsze niż obecnie występujące². Ze względu na szeroko rozbudowaną sieć transportową problem nieprawidłowego nadzoru nad istniejącą infrastrukturą drogową staje się coraz bardziej widoczny. Podjęcie natychmiastowych działań w celu usprawnienia diagnostyki mostowej oraz zastosowania nowoczesnych, zintegrowanych systemów monitoringu obiektów mostowych wraz z odpowiednimi systemami zdalnego zarządzania danymi to priorytet, uwzględniając bieżącą sytuację³.

W ostatnich dziesięcioleciach odnotowano około trzydziestu poważnych wypadków i uszkodzeń mostów drogowych, kolejowych oraz tuneli w wielu europejskich krajach (np. Włochy, Francja, Portugalia, Grecja, Rumunia, Irlandia). Jedną z dość szeroko dyskutowanych katastrof tego typu było z całą pewnością zawalenie się mostu Morandiego w Genui w 2018 roku, który stanowił kluczowy punkt transportowy we Włoszech⁴. Ustalenie dokładnej przyczyny tej tragedii nie należało do prostych zadań. Z istniejącej dokumentacji i historii obiektu wynika, że nadzór opierał się głównie na doraźnych konserwacjach. Nie jest to odosobniony przypadek. Zaniedbań w obszarze eksploatacji, konserwacji i nadzoru jest dużo, zwłaszcza w mniejszych regionach, gdzie nakłady finansowe przeznaczane na naprawy obiektów mostowych są niewystarczające. Przyczyn złego stanu infrastruktury drogowej jest wiele – zwiększająca się liczba pojazdów ponadnormatywnych na drogach, ograniczona wiarygodność wyników inspekcji obiektów, odracanie remontów i prac konserwacyjnych przez niedostatek nakładów finansowych, nieefektywne planowanie budżetu oraz gospodarowanie środkami publicznymi przez samorządy czy rozbieżności między obowiązującymi normami w danym kraju a normami europejskimi. Dostępność oraz sposób

² CSA IM-SAFE. (2021). CSA IM-SAFE. Retrieved from Cordis Europa: <https://im-safe-project.eu>, <https://cordis.europa.eu/project/id/958171>

³ IM-SAFE (2021), Actual and Future Context of Transport Infrastructure Monitoring and Maintenance, <https://im-safe-project.eu/publications/actual-and-future-context-of-transport-infrastructure-monitoring-and-maintenance/>

⁴ Rymśa, J. (2021). Causes of the Collapse of the Polcevera Viaduct in Genoa, Italy. (G. L. Daniel Dias, Ed.) Applied Science, 11, 8098.

przechowywania dokumentacji o wynikach wcześniej wykonanych inspekcji oraz historycznych danych o obiektach inżynierskich również wymaga ponownego rozważenia i usprawnienia.

Nieskuteczne wykrywanie powstających defektów konstrukcyjnych i uszkodzeń obiektów mostowych, szczególnie tych niewidocznych gołym okiem i postępujących wolno na przestrzeni lat oraz negatywny wpływ czynników meteorologicznych (zmiennej wilgotności i temperatury) przyczyniają się do dalszego pogarszania stanu mostów oraz tuneli w Europie. W przypadku mostów kolejowych postępujące zmiany zmęczeniowe materiału wpływają bezpośrednio na nośność obiektu i jego trwałość. Wraz ze starzeniem się nasila się liczba uszkodzeń i wydłuża czas napraw. Nieuniknionymi konsekwencjami są pogorszenie niezawodności, narastająca awaryjność elementów konstrukcyjnych mostów oraz wzrastające koszty eksploatacji.

Nie można wykluczyć z użytkowania tak znacznej liczby obiektów mostowych w celu wykonania dużych napraw. Wiązałoby się to z ogromnymi kosztami oraz koniecznością sparaliżowania przepływu towarów i osób. Wyniki innych projektów badawczych takich jak: SAFEBRIDGE, BridgeSpec, Long Life Bridges, Sustainable Bridges pozwalają na dokładniejsze określenie kosztów utrzymania starzejących się mostów i zawierają propozycje rozwiązań umożliwiające wiarygodne określanie realnego bezpieczeństwa ich użytkowania, co umożliwi organom władz publicznych podejmowanie świadomych decyzji dotyczących bieżącej konserwacji, naprawy czy przebudowy obiektów mostowych. Projekt IM-SAFE korzystając z osiągnięć podobnych inicjatyw unijnych europejskich inicjatyw badawczo-rozwojowych ma na celu skonsolidowanie istniejącej wiedzy i doświadczeń ekspertów, aby wyeliminować podstawowy problem w obszarze diagnostyki mostowej tj. brak jednolitej normy w UE. Umożliwi to spójne zarządzanie infrastrukturą drogową we wszystkich krajach członkowskich.

Diagnoza stanu infrastruktury drogowej w Polsce

Opublikowana w 2013 roku strategia rozwoju transportu w Polsce na lata 2010-2020 będzie de facto kontynuowana do 2030 ze względu na rozmiar niektórych inwestycji. Według tego dokumentu z punktu widzenia gospodarczego istotny był poziom dostępności oraz zasięg infrastruktury zarówno w transporcie drogowym, morskim, jak i lotniczym czy kolejowym. Co za tym idzie w latach 2010-2020 nacisk położono na zwiększenie gęstości sieci infrastruktury oraz rozbudowę szlaków transportowych. Zwiększyła się również wymiana towarowa oraz

ruch mieszkańców, w związku z tym skoncentrowano się przede wszystkim na inwestycjach eliminujących niską efektywność i przynoszących wymierne oszczędności dla gospodarki. W dokumencie skrótowo podjęto temat konieczności modernizacji i napraw istniejących obiektów inżynierskich, a rosnące problemy związane ze starzeniem się infrastruktury drogowej nie są traktowane priorytetowo. Wśród celów głównych na kolejne lata znajdują się przede wszystkim - stworzenie zintegrowanego systemu transportowego oraz warunków dla jego sprawnego funkcjonowania. Niezawodność infrastruktury jest istotnym punktem strategii Ministerstwa, natomiast nacisk nie jest położony na zapobieganie zagrożeniom wynikającym ze zwiększającej się liczby starzejących obiektów mostowych. Różnice w stanie technicznym infrastruktury drogowej są widoczne na poszczególnych poziomach administracyjnych. W Polsce największe zaniedbania obserwowane są na poziomie gminnym i powiatowym ze względu na nieadekwatne finansowanie w porównaniu do poziomu wojewódzkiego czy krajowego. Strategia rządowa nie uwzględnia planu rozwiązań dotyczących utrzymania infrastruktury drogowej ani inwestycji na badania nad nowymi narzędziami do ciągłego monitorowania obiektów inżynierskich w celu poprawy ich stanu technicznego⁵.

W raporcie opublikowanym przez Najwyższą Izbę Kontroli z 2015 roku dotyczącym kontroli zadań w zakresie administrowania obiektami mostowymi i przepustami znajdują się informacje dotyczące oceny:

- prowadzenia dokumentacji ewidencyjnej obiektów inżynierskich i sporządzania informacji ich dotyczących;
- działań prewencyjnych polegających na przeprowadzeniu okresowych kontroli obiektów mostowych i przepustów;
- utrzymania w należytym stanie technicznym obiektów mostowych, przepustów oraz urządzeń zabezpieczających ruch i innych urządzeń towarzyszących tym obiektom;
- działań planistycznych dotyczących rozwoju, finansowania budowy, przebudowy, remontu oraz utrzymania i ochrony drogowych obiektów mostowych i przepustów.

Wnioski opublikowane w raporcie świadczą o bardzo niskiej świadomości zarządców dróg odnośnie stanu obiektów mostowych i całego procesu ich utrzymania na przestrzeni lat. W raporcie stwierdzono również, że zarządcy dróg nie mają wiedzy na temat liczby obiektów, które podlegają ich nadzorowi. Największe nieprawidłowości stwierdzono w zakresie:

⁵ Ministerstwo Transportu, Budownictwa, Gospodarki Morskiej. (2013). Strategia Rozwoju Transportu do 2020 roku (z perspektywą do 2030).

- prowadzonej dokumentacji ewidencyjnej mostów,
- prowadzonych działań prewencyjnych, okresowych kontrolach drogowych obiektów inżynierskich,
- prowadzeniu dokumentacji planistycznej odnośnie finansowania remontów.

W raporcie stwierdzono częste zaniechania działań naprawczych trwające nawet lata i skutkujące pogorszeniem się stanu technicznego obiektów mostowych i prowadzące najczęściej do konieczności wprowadzenia ograniczeń eksploatacyjnych. Kontrola ponad 339 obiektów wykazała również częste zaniechania usuwania usterek mogących prowadzić do poważnego zagrożenia bezpieczeństwa a nawet katastrofy budowlanej, a ich oględziny doprowadziły do wykazania szeregu widocznych i rozległych defektów. Dane z raportu Najwyższej Izby Kontroli nie napawają entuzjazmem zarówno co do stanu polskiej infrastruktury drogowej jak i skuteczności całego procesu zarządzania nią w czasie. Problemy związane z utrzymaniem wyeksploatowanych obiektów inżynierskich sięgają dużo głębiej niż proces ich naturalnego starzenia. Wymaga to więc kompleksowego zanalizowania istniejącego procesu decyzyjnego w utrzymaniu obiektów inżynierskich. Konieczne jest przeprowadzenie procesu normalizacji z uregulowaniem metodyki pracy inspektorów mostowych w celu skutecznego zarządzania infrastrukturą i egzekwowania zadań od zarządców dróg⁶.

Bariery w skutecznym nadzorze i utrzymaniu obiektów mostowych (PEST)

Zidentyfikowanie barier polityczno-społecznych jak i ekonomiczno-technologicznych jest niezbędnym elementem rozpoczęcia procesu normalizacji i efektywnego wdrażania powstałej normy. Analiza tych czterech obszarów skupia się na określeniu czynników, które – na poziomie krajowym oraz międzynarodowym na skutek polityki strategicznej oraz różnic w lokalnym prawie mogłyby wpłynąć na przebieg procesu normalizacji. Projekt IM-SAFE ma na celu ograniczenie negatywnego wpływu istniejących barier politycznych, ekonomicznych, społecznych i technologicznych, aby umożliwić implementację zaawansowanych systemów do monitoringu i zarządzania obiektami mostowymi. Z analizy wynika, że największe oddziaływanie na zły stan diagnostyki mostowej w Europie mają przede wszystkim czynniki ekonomiczne oraz polityczne. Ich niesłabnący wpływ wynika z trudności w podejmowaniu dialogu pomiędzy stronami zaangażowanymi w utrzymanie obiektów mostowych a jednostkami odpowiedzialnymi za planowanie strategii oraz przyznawanie środków finansowych na określone cele. Zmiany ugrupowań politycznych również negatywnie

⁶ Najwyższa Izba Kontroli, Departament Infrastruktury, Zarządzanie obiektami mostowymi i przepustami przez administrację drogową, Informacja o wynikach Kontroli, 2015.

wpływają na zapewnienie ciągłości utrzymania obiektów mostowych. Próba ujednoczenia istniejących norm w różnych krajach na szerszą skalę tj. obejmująca całą Unię Europejską jest niezbędna, aby ograniczyć wpływ wynikający z politycznych i administracyjnych rozbieżności.

Krótkowzroczość władz stanowi kluczowy problem we wdrażaniu zmian, które wymagają długiego czasu testowania oraz inwestowania w technologie umożliwiające prace na rzeczywistych obiektach inżynierskich. Ograniczone możliwości oceny skuteczności rozwiązań do monitoringu konstrukcji na szerszą skalę skutkują spowolnieniem wdrożenia i rozwoju elementów i urządzeń pomiarowych systemów stosowanych do tego celu. Dodatkowo na poziomie administracyjnym często obserwowana jest niechęć do inwestowania w innowacyjne technologie przez przywiązanie do utartych schematów oraz wieloletnich strategii działania. Brakuje także zaufania do skuteczności tych rozwiązań.

Kolejną barierą są nakłady finansowe przeznaczane na diagnostykę istniejącej infrastruktury drogowej. W tym zakresie występują dwa główne problemy:

- bardzo niski budżet przeznaczony na naprawy i diagnostykę oraz brak budżetu na badania i rozwój,
- wysoki budżet przeznaczony na budowę nowych, strategicznych obiektów mostowych przy braku odpowiedniego zabezpieczenia funduszy na potrzeby utrzymania i napraw.

Pierwszy przypadek dotyczy przede wszystkim zarządców infrastruktury w powiatach lub gminach, natomiast drugi jednostek administracji publicznej na poziomie krajowym lub wojewódzkim. System finansowania remontów obiektów mostowych – kształtowany w ramach budżetów samorządów – nie przewiduje środków na nadrobienie wieloletnich zaległości w remontach obiektów mostowych i przepustów. Samorzady znacznie chętniej finansują remonty dróg i pozostawiają w niezmiennym stanie obiekty mostowe, które stają się barierami korzystania z dróg. Nie bez znaczenia jest również aktualna sytuacja geopolityczna oraz na rynku walutowym, w tym poziom inflacji, wpływając tym samym na kierunek lokowania środków w budżecie na kolejne lata⁷.

Technologie stosowane w monitoringu obiektów inżynierskich, występujące obecnie na rynku są rozwiązaniami stosunkowo kosztownymi. Wiele z nich jest stosowanych w innych gałęziach przemysłu, ale nie ma odpowiednich badań potwierdzających ich skuteczność w diagnostyce mostowej. Mimo prowadzonych przez ośrodki naukowe i prywatne firmy badań rozwojowych

⁷ European Commission. (2020). EC DG MOVE, Strategic Plan 2020-2024. European Commission.

i symulacji nadal niewielka liczba mostów jest w takie systemy wyposażona. Część z technologii stosowanych w monitoringu wymaga również szczegółowego opracowania wytycznych ich stosowania dla danego typu konstrukcji tj.:

- wybór odpowiedniej konstrukcji uwzględniający jej złożoność oraz stopień innowacyjności,
- wybór odpowiedniej architektury systemu do monitoringu,
- rodzaje zastosowanych źródeł pomiarowych w postaci czujników,
- wymagania dotyczące precyzji urządzeń pomiarowych i klas dokładności danych pomiarowych,
- wymagania dotyczące sposobu instalacji elementów pomiarowych i poprawności ich działania,
- wymagania dotyczące utrzymania systemów monitoringu w trakcie eksploatacji,
- wymagania dotyczące testów próbnych, oraz ich uruchamiania,
- zdefiniowanie okresów rejestracji danych oraz ich analiza.

Brak takich danych w obecnych normach generuje kolejną barierę związaną z edukacją oraz szkoleniem pracowników w obszarze diagnostyki mostowej. Koniecznym jest więc w pierwszej kolejności zdefiniowanie wymagań stawianym systemom do monitoringu obiektów mostowych, aby skutecznie szkolić inżynierów oraz pracowników z jednostek publicznych i firm prywatnych oraz stworzenie odpowiedniej dokumentacji technicznej.

Problemem organizacyjnym jest liczba obiektów, która powinna być stale monitorowana pod kątem stanu technicznego. Objęcie tak dużej liczby obiektów mostowych stałym monitoringiem wymaga ogromnych nakładów finansowych, odpowiednio wykwalifikowanej kadry, dużej liczby dostępnych narzędzi pomiarowych oraz skrupulatnego zaplanowania odpowiednich działań w czasie, w tym wymaganych decyzji administracyjnych.

Raport otrzymany w wyniku analizy PEST pozwolił na uzupełnienie informacji uzyskanych i opublikowanych przez Dyрекcję Generalną ds. Mobilności i Transportu, a także pozostałych publikacji związanych z badaniami w zakresie diagnostyki mostowej⁸.

Stan procesu normalizacji w UE

⁸ IM SAFE, the European Union's Horizon 2020 research. (2021). RECOMMENDATIONS TO REMOVE THE PEST BARRIERS AND PRIORITIZATION OF RISK MANAGEMENT AREAS TAKING THE LESSONS FROM RECENT INFRASTRUCTURE FAILURES.

W ramach projektu IM-SAFE przeanalizowano treść i zakres istniejących norm oraz wytycznych w obszarze diagnostyki mostowej w celu określenia występujących luk i obszarów nieopracowanych. Na poziomie europejskim zidentyfikowano, które z nich w istotny sposób definiują oraz kształtują zasady zarządzania infrastrukturą transportową. Wśród nich znalazły się: ISO 55000⁹, ISO 31000¹⁰, ISO 31010¹¹, ISO 13306¹², EN 15341¹³. Uwzględniono również wytyczne takie jak istniejące w Wielkiej Brytanii – CS465¹⁴, CS466¹⁵, CS467¹⁶, które w prawidłowy sposób łączą analizę ryzyka z procesem decyzyjnym w zarządzaniu mostami i mogą zostać użyte do dalszych prac nad nową normą unijną. W tych przepisach ocena ryzyka opiera się na:

- uprzednio zdefiniowanych jakościowych współczynnikach zależnych od typu konstrukcji i jej elementów, podatnych na niszczenie,
- wstępnie zdefiniowanych listach zagrożeń,
- jakościowej ocenie prawdopodobieństwa zdarzeń niepożądanych i konsekwencji tych zdarzeń.

W przypadku tuneli istniejące wytyczne i rekomendacje są dość zawężone. Aktualnie utrzymanie tuneli ma silniejszy związek z zapewnieniem bezpieczeństwa ruchu drogowego niż z kwestiami samego bezpieczeństwa konstrukcyjnego. Ponowny przegląd Eurokodów pozwolił na określenie luk występujących w stosowaniu monitoringu obiektów mostowych. Najbardziej aktualne, obowiązujące dokumenty to dość ograniczona liczba norm międzynarodowych (np. ISO 4866¹⁷, ISO 14963¹⁸) oraz wytyczne takie jak SAMCO¹⁹ („Wytyczne dotyczące monitorowania stanu konstrukcji”) czy normy związane z wykorzystaniem danych z monitoringu stałego infrastruktury drogowej do wspomaganie zarządzania infrastrukturą transportową CS 470²⁰ („Zarządzanie niestandardowymi konstrukcjami autostrad”). Zebrane

⁹ ISO 55000. (2014). Asset management - Overview, principles and terminology.

¹⁰ ISO 31000. (2009). Risk management - Principles and guidelines.

¹¹ ISO 31010. (2009). Risk management - Risk assessment techniques.

¹² ISO 13306. (2017). Maintenance - Maintenance terminology.

¹³ EN 15341. (2007). Maintenance - Maintenance Key Performance Indicators.

¹⁴ CS 465. (2020). Management of post-tensioned concrete bridges.

¹⁵ CS 466. (2020). Risk management and structural assessment of concrete half-joint deck structures.

¹⁶ CS 467. (2020). Risk management and structural assessment of concrete deck hinge structures.

¹⁷ ISO 4866. (2010). Mechanical vibration and shock — Vibration of fixed structures — Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures.

¹⁸ ISO 14963. (2003). Mechanical vibration and shock — Guidelines for dynamic tests and investigations on bridges and viaducts.

¹⁹ SAMCO Guideline for Structural Health Monitoring”. SAMCO; 2006.

²⁰ CS 470 (2020). Management of sub-standard highway structures.

dokumenty zostały w całości przeanalizowane a wnioski opublikowane w raporcie z projektu. Etap ten pozwolił na określenie dalszego kierunku prac normalizacyjnych.

Wyzwania związane z utrzymaniem obiektów mostowych

Mimo rosnącej liczby badań i wymianie wiedzy w zakresie technik pomiarowych oraz analiz ryzyka w obszarze diagnostyki mostowej wciąż mamy do czynienia z wieloma wyzwaniami w tym obszarze. Jednym z nich jest brak ujednolicenia dobrych praktyk stosowanych obecnie w różnych krajach oraz brak dogłębnej analizy norm europejskich i wyodrębnienia istniejących luk, które należy wypełnić.

Oprócz identyfikacji nieścisłości i luk w zapisach normowych, istotnym jest nadanie kierunku rozwoju utrzymania istniejącej infrastruktury drogowej oraz wyodrębnienie odpowiednich metod badawczych i technik pomiarowych stosowanych w jej diagnostyce. Proces ten składał się z następujących etapów:

- utworzenie zaplecza wiedzy o stosowanych metodach badawczych oraz wykazanie zalet metod stałego monitorowania konstrukcji nad konwencjonalnymi metodami oraz inspekcją wizualną,
- połączenie elementów monitoringu obiektów mostowych i diagnostyki konwencjonalnej do oceny stanu technicznego obiektów przez cały okres użytkowania,
- zdefiniowanie cyfrowych rozwiązań w celu przesyłania i udostępniania wyników kontroli stanu technicznego obiektów mostowych na podstawie jasno sprecyzowanej skali oceny.

Sprawne systemy zarządzania infrastrukturą drogową w oparciu o rozwiązania cyfrowe stanowią podstawę skutecznego nadzoru i reagowania w przypadku wczesnych zagrożeń. Wprowadzenie zintegrowanych systemów zarządzania infrastrukturą na szeroką skalę to kolejne wyzwanie stojące przed ekspertami oraz zarządcami dróg.

Trendy technologiczne w zarządzaniu infrastrukturą transportową

W projekcie uwzględniono zarówno metody używane bezpośrednio w otoczeniu obiektów mostowych jak i metody laboratoryjne, oraz technologie stosowane w ciągłym monitoringu konstrukcji. Metody laboratoryjne pozwalają na bardzo precyzyjną analizę jakościową i ilościową, wymagają jednak przy tym dużych nakładów finansowych i wysoko wykwalifikowanego personelu. Ponadto, w większości przypadków są to metody niszczące, wymagające pobrania próbek z konstrukcji. Wiąże się z tym również konieczność zapewnienia

bezpiecznego dostępu do elementów konstrukcji mostowych. W przyszłości metody laboratoryjne mogą stanowić bazę uzupełniającą zautomatyzowany proces inspekcji oraz monitoringu konstrukcji mostowych czy tuneli. Dużym potencjałem w tej dziedzinie cechują się techniki wykorzystujące pomiary za pomocą czujników, zwłaszcza, iż powstają coraz bardziej zaawansowane ich rodzaje oraz oprogramowanie do skutecznego zarządzania danymi pomiarowymi. Warto wymienić tu technologie takie jak inspekcja z użyciem dronów, systemy pomiarowe z czujnikami światłowodowymi, systemy ważenia pojazdów w ruchu (WIM), monitoring geotechniczny czy systemy pomiarowe z czujnikami emisji akustycznej. Zdalne technologie pomiarowe znacznie ograniczają niezbędne nakłady pracy w ramach inspekcji obiektów mostowych oraz ryzyko błędu spowodowane przez czynnik ludzki.

Istotnym jest również wykorzystanie i implementacja rozwiązań z dziedziny sztucznej inteligencji, w tym uczenia maszynowego oraz sieci neuronowych w celu:

- zarządzania ogromnymi zbiorami danych,
- odkrywania korelacji między danymi,
- automatyzacji wyodrębniania informacji z nieuporządkowanych zbiorów danych,
- implementacji automatycznych systemów alarmowania o zagrożeniach.

Inspekcyjne platformy naziemne takie jak GNSS, IMU, czy technologie skanowania laserowego LiDAR również posiadają wysoki potencjał zastosowania w tej dziedzinie i są z powodzeniem stosowane w wielu krajach europejskich.

Bardziej konwencjonalne metody takie jak np. radiografia czy metody magnetyczne mogą stracić na znaczeniu ze względu na styczność pracowników z radioaktywnymi materiałami czy niestabilność względem czynników środowiskowych. Dążąc do automatyzacji procesów inspekcji, metody badawcze, w których konieczne jest pobieranie próbek z konstrukcji stają się mało efektywne. Nowoczesne narzędzia informatyczne znajdują zastosowanie w analizie danych pochodzących z monitoringu obiektów mostowych, wśród nich: sztuczne sieci neuronowe, spłotowe sieci neuronowe czy rekurencyjne, analiza modalna oraz uczenie maszynowe.

Przegląd metod badawczych i dobrych praktyk w diagnostyce mostowej

Aby umożliwić szerszy dostęp do wiedzy uzyskanej w ramach projektu powstał katalog online, w którym znajdują się szczegółowe informacje o każdej metodzie badawczej, w tym m.in: jej zastosowanie, metodzie działania, typach, procedurach stosowania, walidacji wyników,

obowiązujących normach oraz specyfikacji czy wytycznych do raportowania. Przeglądem zostały objęte poniższe grupy technik pomiarowych:

- metody laboratoryjne na próbkach rdzeniowych i in-situ, chemiczne oraz fizyczne,
- platformy pomiarowe, w tym systemy ważenia pojazdów w ruchu, RPAS/UAV
- technologie lotniczego skanowania laserowego LIDAR
- rozwiązania IoT, w tym czujniki światłowodowe i optyczne,
- metody inspekcji wizualnej,
- systemy nawigacji satelitarnej oraz monitoringu geotechnicznego,
- systemy czujników aktywnych i pasywnych, w tym emisja akustyczna oraz LiDAR.

Treść zebrana w formie intuicyjnego katalogu w witrynie projektu IM-SAFE pozwala na szybki dostęp do najważniejszych informacji o stosowanych metodach badawczych i technologiach pomiarowych. Katalog umożliwia również porównanie ze sobą wybranych technik badawczych ze względu na:

- zakres stosowania,
- cel stosowania,
- rodzaj badanego obiektu inżynierskiego,
- wykrywane defekty,
- zalety i wady stosowania.

Baza ta zawiera także zbiór dobrych praktyk na przykładach konkretnych obiektów mostowych wraz z opisem przypadku i jego lokalizacją, mapę ich występowania. Uwzględniono rodzaje przeprowadzanych inspekcji oraz jej rodzajów, a także ich częstotliwość ich przeprowadzania w danym kraju. Całość dostępna jest bez ograniczeń dla wszystkich zainteresowanych tematyką utrzymania obiektów infrastruktury drogowej²¹.

Podsumowanie

Inicjatywa Komisji Europejskiej w postaci przyznania grantu dla projektu IM-SAFE ma duże znaczenie dla podniesienia bezpieczeństwa infrastruktury drogowej, a podjęte zadania w ramach projektu przyczyniają się do lepszego zrozumienia obecnego stanu diagnostyki mostowej i wypracowania nowych rozwiązań umożliwiając zapobiegnięcie kolejnym katastrofom obiektów mostowych w Europie.

²¹ IM-SAFE, On-line Best Practice Guide, https://imsafe.wikixl.nl/index.php/Map_of_Europe, 2021.

W strategiach zarządzania infrastrukturą drogową należy uwzględniać istniejące bariery polityczne, ekonomiczne, społeczne i technologiczne aby zaproponowane rozwiązania zostały skutecznie wdrożone w realnych warunkach prawnych państw członkowskich Unii Europejskiej. Implementacja zaawansowanych narzędzi IT stanowi przyszłość zarządzania większymi obiektami infrastruktury drogowej i należy kontynuować badania nad pełnym wykorzystaniem ich potencjału w obszarze diagnostyki mostowej. Całość przysłuży się do podniesienia bezpieczeństwa użytkowników obiektów mostowych jak i pracowników wykonujących zadania związane z utrzymaniem infrastruktury drogowej.

Podziękowania

Projekt został sfinansowany w ramach programu Horizon 2020 od Unii Europejskiej na podstawie umowy grantu nr 958171. Wyłączna odpowiedzialność za treść należy do autorów.

Publikacje

Publikacje projektu IM-SAFE

- I. CSA IM-SAFE., Cordis Europa: <https://im-safe-project.eu>, <https://cordis.europa.eu/project/id/958171>, 2021.
- II. IM SAFE, the European Union's Horizon 2020 research, *Recommendations to remove the PEST barriers and prioritization of risk management areas taking lessons from infrastructure failures*, <https://im-safe-project.eu/publications/recommendations-to-remove-the-pest-barriers-and-prioritisation-of-risk-management-areas-taking-the-lessons-from-recent-infrastructure-failures/>, 2021.
- III. IM-SAFE, On-line Best Practice Guide, https://imsafe.wikixl.nl/index.php/Map_of_Europe, 2021.
- IV. IM-SAFE, *Actual and Future Context of Transport Infrastructure Monitoring and Maintenance*, <https://im-safe-project.eu/publications/actual-and-future-context-of-transport-infrastructure-monitoring-and-maintenance/>, 2021.

Publikacje organów rządowych i unijnych

- I. Komisja Europejska, Dyrekcja Generalna ds. Mobilności i Transportu, *Plan Strategiczny 2020-2024*, 2020.

- II. Najwyższa Izba Kontroli, Departament Infrastruktury, *Zarządzanie obiektami mostowymi i przepustami przez administrację drogową*, Informacja o wynikach Kontroli, 2015.
- III. Ministerstwo Transportu, Budownictwa, Gospodarki Morskiej, *Strategia Rozwoju Transportu do 2020 roku (z perspektywą do 2030)*, 2013.

Artykuły w czasopismach

- I. Rymsza, J, *Causes of the Collapse of the Polcevera Viaduct in Genoa, Italy*. (G. L. Daniel Dias, Ed.) *Applied Science*, 11, 8098, 2021.

Normy oraz wytyczne

- I. CS 465, *Management of post-tensioned concrete bridges*, 2020.
- II. CS 466, *Risk management and structural assessment of concrete half-joint deck structures*, 2020.
- III. CS 467, *Risk management and structural assessment of concrete deck hinge structures*, 2020.
- IV. CS 470, *Management of sub-standard highway structures*, 2020.
- V. EN 15341, *Maintenance - Maintenance Key Performance Indicators*, 2007.
- VI. ISO 4866, *Mechanical vibration and shock — Vibration of fixed structures — Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures*, 2010.
- VII. ISO 14963, *Mechanical vibration and shock — Guidelines for dynamic tests and investigations on bridges and viaducts*, 2003.
- VIII. ISO 55000, *Asset management - Overview, principles and terminology*, 2014.
- IX. ISO 31000, *Risk management - Principles and guidelines*, 2009.
- X. ISO 31010, *Risk management - Risk assessment techniques*, 2009.
- XI. ISO 13306, *Maintenance - Maintenance terminology*, 2017.
- XII. SAMCO *Guideline for Structural Health Monitoring*. SAMCO, 2006.

Streszczenie

Zharmonizowany monitoring infrastruktury transportowej w Europie w celu optymalnego utrzymania i bezpieczeństwa

Artykuł opisuje aktualne działania partnerów konsorcjum projektu IM-SAFE w ramach programu Horyzont2020 powołanego przez Komisję Europejską.

Harmonised Transport Infrastructure Monitoring in Europe for Optimal Maintenance and Safety

The article describes the current activities of the partners of the IM-SAFE project consortium under the Horizon2020 program established by the European Commission.