

Kontrola infrastruktury mostowej z użyciem mobilnej aplikacji w związku z transportem maszyny TBM

Inspection of the bridge infrastructure using a mobile application in connection with the transport of the TBM machine

prof. dr hab. inż. Marek Salamak (ORCID: 0000-0003-3602-0575), dr inż. Piotr Łaziński (ORCID: 0000-0002-6752-0460), dr inż. Grzegorz Poprawa (0000-0001-7863-1011), mgr inż. Mateusz Uściłowski (ORCID: 0000-0002-3594-4445), Politechnika Śląska

DOI 10.5604/01.3001.0053.8496

Streszczenie: Artykuł opisuje działania kontrolne dotyczące infrastruktury mostowej, jakie podjęte zostały przez autorów podczas nienormatywnego transportu drogowego elementów maszyny TBM. Maszyna miała być przewieziona od portu rzeczno k. Opola do m. Babica k. Rzeszowa, gdzie budowany jest tunel w ciągu drogi S19 Via Carpatia. Transport, w którym najcięższy pojazd miał ciężar prawie 500 ton, poruszał się po autostradach i drogach ekspresowych południowej i centralnej Polski. Na jego trasie zidentyfikowano prawie 400 obiektów mostowych, które poddano sprawdzeniu pod względem nośności i stanu technicznego. W opisywanych działaniach zastosowano innowacyjne rozwiązania chmurowe i mobilne, które pozwoliły na sprawne przeprowadzenie kontroli i zarządzanie całym procesem.

Słowa kluczowe: transport nienormatywny, TBM, mosty.

Abstract: The article describes the control activities regarding the bridge infrastructure, which the authors undertook during the non-normative road transport of TBM machine elements. The machine was to be transported from the river port near Opole to Babica near Rzeszów, where a tunnel along the S19 Via Carpatia road is being built. The transport, in which the heaviest vehicle weighed almost 500 tons, moved along the motorways and expressways of southern and central Poland. Nearly 400 bridge structures were identified along the route and checked in terms of load capacity and technical condition. In the described activities, innovative cloud and mobile solutions were used, which allowed for efficient control and management of the entire process.

Keywords: abnormal transport, TBM, bridges.

1. Wprowadzenie

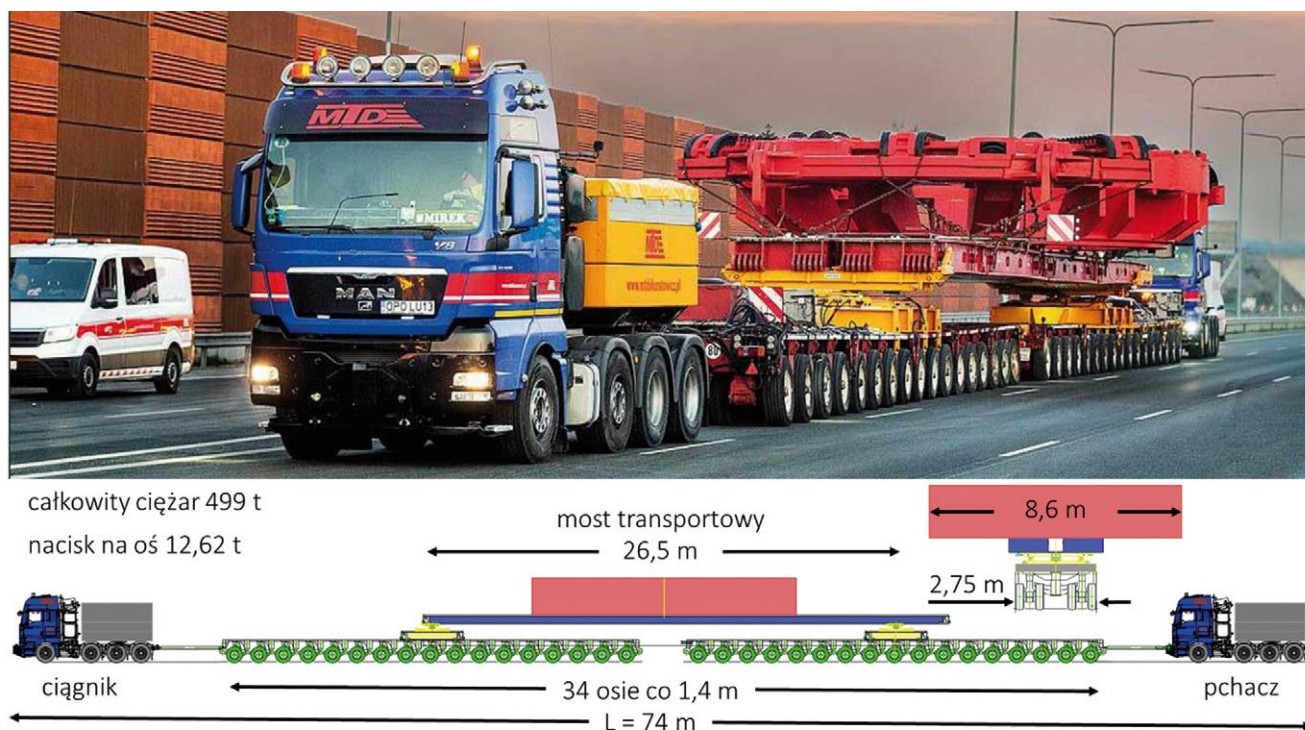
Przejazd pojazdów nienormatywnych, czyli przewóz ładunków o nietypowych wymiarach i masie, może powodować różne zagrożenia zarówno dla bezpieczeństwa użytkowników, jak i infrastruktury drogowej. Szczególnie wrażliwa na takie niestandardowe transporty jest infrastruktura mostowa. W zależności od wielkości i masy ładunku przejazd taki może powodować dodatkowe obciążenie dla mostu, co z kolei może prowadzić do jego uszkodzenia lub nieodwracalnej degradacji. Przy dużych gabarytach możliwe jest uszkodzenie elementów konstrukcji lub wyposażenia. Mogą to być np. uderzenia ładunku w przęsło lub filary albo zniszczenie nawierzchni lub urządzeń bezpieczeństwa ruchu. Dlatego w celu minimalizacji zagrożenia związanego z ponadnormatywnym transportem ważne jest, aby przestrzegać wszystkich przepisów i wymogów prawnych, a także zachować najwyższe standardy bezpieczeństwa podczas przewozu ładunku. W naszym kraju takie transporty regulowane są przez rozporządzenie.

Artykuł opisuje specyfikę tego transportu i sposób planowania trasy ze względu na bezpieczeństwo znajdujących się na niej obiektów mostowych. Dużym wyzwaniem było zarządzanie

wielosobowymi zespołami, które reprezentowały kilka organizacji i podmiotów zaangażowanych w to przedsięwzięcie. Pracowały one bowiem w różnych miejscach, a przy tym bardzo często w terenie. Szczególnie dotyczyło to próbnych przejazdów i patroli drogowych, dostępu i analizy dokumentacji przechowywanej w archiwach zarządcy infrastruktury, wykonywania ekspertyz i sprawdzenia nośności obiektów mostowych, inspekcji terenowych z oceną aktualnego stanu technicznego tych obiektów oraz monitorowania przejazdu kolejnych konwojów z kontrolą odpowiedzi wybranych konstrukcji na nienormatywne pojazdy. Do usprawnienia tych wszystkich działań wykorzystano autorskie rozwiązania, które integrowały interaktywne mapy GIS (*Geographic Information System*), specjalnie utworzoną bazę wiedzy o analizowanych obiektach mostowych oraz mobilne aplikacje na tabletach z przetwarzaniem chmurowym, w które wyposażone zostały zespoły terenowych inspektorów mostowych.

2. Charakterystyka transportu maszyny TBM

Na przełomie jesieni i zimy 2022/2023 zrealizowany został w Polsce nienormatywny transport, który pod wieloma względami



Rys. 1. Charakterystyka i wymiary największego pojazdu nienormalnego

był wyjątkowy. Miał on na celu przewiezienie elementów maszyny TBM (Tunnel Boring Machine), która po zmontowaniu będzie drążyć tunel w ciągu drogi ekspresowej S19 (Via Carpatia) w rejonie m. Babica koło Rzeszowa. Było to ogromne wyzwanie logistyczne, gdyż urządzenie trzeba było przewieźć na Podkarpacie aż do Hiszpanii. Zastosowano więc transport intermodalny, w którym ładunek był przemieszczany pomiędzy różnymi środkami transportu. Wykorzystano do tego transport morski – statkiem, rzeczny – barkami i w ostatniej fazie – samochodowy. Z punktu widzenia infrastruktury mostowej istotna była ostatnia faza, w której zrealizowano kilkanaście konwojów z nienormalnymi pojazdami, przy czym największy z nich miał całkowity ciężar prawie 500 ton.

Transport elementów maszyny TBM realizowany został przy użyciu zestawów pojazdów nienormalnych, które zasadniczo składały się z ciągnika, platformy (jedno- lub dwuczłonowej) i ewentualnie pchacza (rys. 1). Ładunki spoczywały na wieloosiowych platformach w sposób zapewniający równomierne rozłożenie obciążenia na wszystkie osie. Poszczególne platformy różniły się rozstawem osi i naciskami na osie. Szerokość platformy mierzona po zewnętrznym obrysie kół wynosiła 2,70 m. Zestaw o największym ciężarze całkowitym 499 t składał się z ciągnika, dwóch 17-osiowych platform z rozstawem osi co 1,40 m oraz pchacza. Na każdą z osi platformy przypadał więc nacisk o wartości 12,62 ton. Całkowita długość zestawu wynosiła ok. 74 m. Na podstawie dostarczonej przez przewoźnika charakterystyki tego pojazdu przygotowano stosowny model obciążenia, który był później wykorzystywany w obliczeniach sprawdzających nośność wszystkich obiektów mostowych na trasie przejazdu.

3. Planowanie transportu ze względu na obiekty mostowe

Odcinek drogowy na terenie Polski obejmował trasę od portu rzeczno-godolnego na Odrze w Choruli koło Opola do miejsca budowy tunelu w Babicy koło Rzeszowa. Naturalnie najkrótsza trasa powinna przebiegać autostradą A4 (rys. 2), która należy do paneuropejskiej sieci transportowej TEN-T i pokrywa się z przebiegiem III europejskiego korytarza od Brukseli przez Kraków do Kijowa (droga międzynarodowa E40). Niestety po pierwszych analizach okazało się, że przy tak wymagającym transporcie nie będzie to jednak możliwe. Powodem były trudne do rozwiązania kolizje z elementami infrastruktury punktów poboru opłat płatnego odcinka autostrady A4 oraz wątpliwości inżynierów mostowych dotyczące zbyt niskiej nośności i stanu technicznego obiektów mostowych.

Należy bowiem wiedzieć, że autostrada A4 pomiędzy Katowicami i Krakowem jest najstarszym odcinkiem spośród wszystkich polskich autostrad. Niektóre jej fragmenty projektowane i budowane były jeszcze w latach 80. XX wieku. A w tym czasie stosowane były niższe klasy obciążenia normowego niż współcześnie. Poza tym wizje lokalne i konsultacje z zarządcami wykazały, że najstarsze i najbardziej zdegradowane obiekty, i to akurat w czasie planowanego transportu, będą wówczas poddawane zabiegom rehabilitacyjnym. Zabiegi te polegały głównie na wymianie zużytych łożysk lub urządzeń dylatacyjnych, co uniemożliwiało użytkowanie tych obiektów, zwłaszcza przy tak dużym nienormalnym obciążeniu.

Rys. 2. Ewolucja trasy przejazdu od odcinka drogowego

Z tych powodów okazało się, że planowanie i analiza trasy odcinka drogowego były bardzo pracochłonne i skomplikowane. Wymagały też zaangażowania dużych zasobów ludzkich, skutecznej koordynacji i dobrej organizacji pracy. Ewolucja trasy przejazdu między Opolem a Rzeszowem wymusiła analizę wielu wariantów. W każdym sprawdzane były możliwości i dostępność skrajni drogowej, utrudnienia dotyczące kolizji z elementami infrastruktury oraz kluczowe warunki wynikające z nośności i stanu technicznego wykorzystywanych obiektów mostowych.

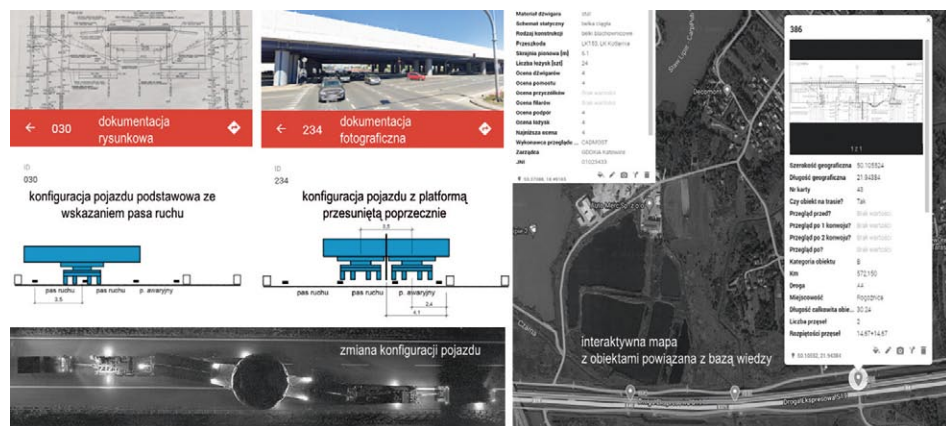
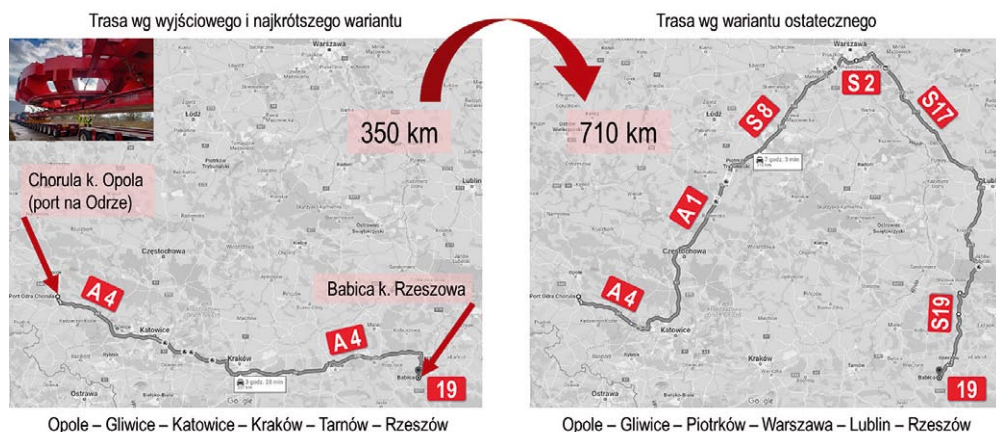
Dlatego przy każdej zmianie trasy w pierwszej kolejności identyfikowano, jakie występują po drodze obiekty mostowe i kto jest ich zarządcą. W kolejnym kroku konieczne było pozyskanie dokumentacji archiwalnej wraz z aktualną oceną stanu technicznego. Niestety archiwalia te najczęściej są przechowywane tylko w wersji papierowej, co bardzo wydłużało sam proces ich przeszukiwania. Utrudniało też proces przetwarzania wszelkich zapisanych tam informacji, które były potrzebne przy dalszych czynnościach, a zwłaszcza przy modelowaniu i obliczaniu nośności konstrukcji. Zwłaszcza że sposób zapisu tych informacji bardzo różnił się między archiwami, a nawet między obiektami w ramach jednego archiwum. Zdarzały się też zapisy niejednoznaczne lub o zbyt niskiej jakości. W wielu przypadkach poprawna ocena nośności wymagała bowiem nie tylko rysunków ogólnych, ale też wykonawczych albo informacji na temat faktycznie zastosowanych materiałów i metod budowy. Zdarzyła się też sytuacja, w której do jednego z obiektów na początku trasy nie udało się odnaleźć wystarczająco pełnej dokumentacji. Nie chcąc ryzykować przeciążenia wiaduktu, zdecydowano się, aby go jednak nie wykorzystywać. Wymusiło

to więc konieczność zbudowania krótkiego odcinka tymczasowej drogi dojazdowej, która pozwoliła na wjazd z drogi wojewódzkiej do korytarza autostrady.

W celu usprawnienia dalszej pracy i ujednoczonego przetwarzania pozyskiwanych z papierowych archiwów informacji zdecydowano się utworzyć bazę danych z wykorzystywanymi w transporcie obiektami mostowymi (rys. 3). Była to osadzona w chmurze baza wiedzy o tych obiektach, którą dodatkowo powiązano z interaktywną mapą Google. W efekcie powstało bardzo efektywne i wygodne narzędzie. Służyło ono wszystkim zespołom do: szybkiej lokalizacji i wizualizacji obiektu na trasie, planowania szczegółów przejazdu przez obiekt i między obiektami, zarządzania zgromadzoną dokumentacją archiwalną, przetwarzania sparametryzowanych danych na temat obiektów, a w kolejnych etapach – do zautomatyzowania obliczeń nośności i oceny stanu technicznego przez inspektorów terenowych. W zakresie planowania trasy przewoźnik otrzymywał precyzyjne informacje z lokalizacją obiektu na mapach zgodnych z GIS. Wraz z identyfikatorami obiektów i współrzędnymi przekazywane były informacje służące do ustalania prędkości i przerw między pojazdami w konwoju oraz do poprzecznego przesunięcia trasy czy też zmian w konfiguracji pojazdu na obiekcie. Takie sytuacje mogły wynikać na przykład z konieczności redukcji wyężenia określonych pasm konstrukcji przęsła, dźwiigarów, poprzecznic podporowych lub łożysk. Stąd bardzo ważne było, aby pilot i kierowcy w konwoju mogli na bieżąco weryfikować wszystkie narzucone wymagania w odniesieniu do aktualnego położenia pojazdu na trasie.

Poszukując optymalnej trasy, kierowano się przede wszystkim potrzebą spełnienia wymagań prawnych, jakie narzuca

Rys. 3. Widok interaktywnej mapy z powiązaną chmurową bazą wiedzy o obiektach mostowych na trasie



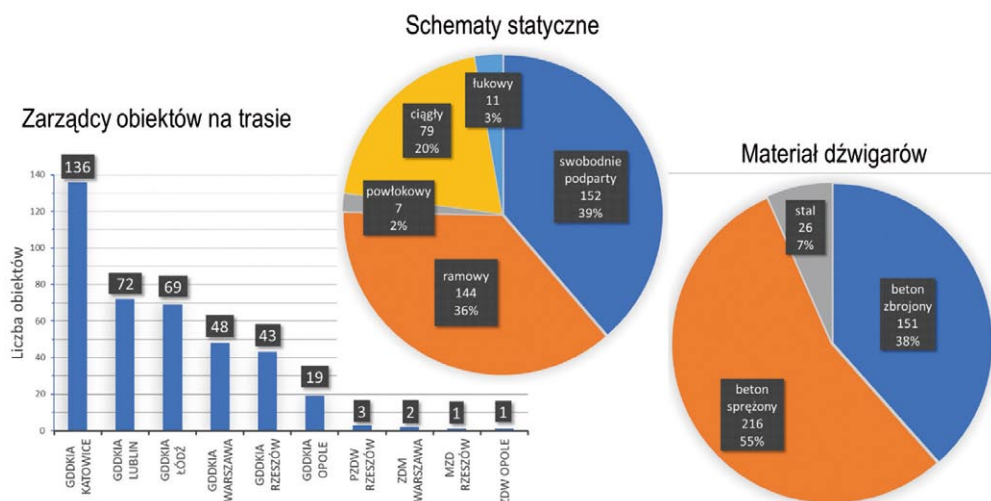
Rys. 4. Wykresy pokazujące statystykę obiektów mostowych na trasie, których dane osadzono w chmurowej bazie danych

rozporządzenie. Jednak biorąc pod uwagę wyjątkowość i wielkości transportu, dążono do minimalizacji ryzyka pojawienia się trudnych do przewidzenia sytuacji na drodze, przy jednoczesnym zapewnieniu jak najwyższego poziomu bezpieczeństwa użytkowników i infrastruktury. Dbano również o to, by przejazdy nie generowały zbyt dużych utrudnień i uciążliwości w ruchu zwykłych pojazdów. W efekcie zaproponowano wariant, który okazał się ponad dwa razy dłuższy od wyjściowego (rys. 2). Zamiast 350 km najkrótszej trasy, która pokrywała się niemal w całości z autostradą A4, ostatecznie konwoje musiały jechać aż 710 km. Kierowały się więc w Gliwicach na autostradę A1, a dalej w Piotrkowie Trybunalskim na drogę S8. Drogą S2 objechały Warszawę do drogi S17, żeby potem koło Lublina kierować się w stronę Rzeszowa drogą S19.

Widać więc, że prawie na całej długości trasy wszystkie pojazdy w konwojach jechały po odcinkach stosunkowo nowych autostrad lub dróg ekspresowych. W niektórych przypadkach były to nawet odcinki dopiero co udostępnione do ruchu przez wykonawców. Były też fragmenty, które wymagały skorzystania z dróg niższej kategorii. Tak było koło Opola, gdzie wykorzystano drogę wojewódzką, w Warszawie, gdzie nie ryzykując wjazdu do tunelu, podążano drogami miejskimi oraz w rejonie Rzeszowa, gdzie były to również miejskie ulice, a także drogi krajowe, wojewódzkie i powiatowe. Zdecydowana większość wykorzystanych w tym transporcie obiektów administrowana jest przez GDDKiA, co pokazano na rysunku 4. Najwięcej z nich znajdowało się w ciągu autostrad A4 i A1 zarządzanych przez oddział w Katowicach.

Na całej trasie zidentyfikowano 394 obiekty mostowe o bardzo zróżnicowanych wielkościach, systemach konstrukcyjnych i materiałach, z których były wykonane. Różniły się też wiekiem i deklarowaną przez zarządców nośnością. To zróżnicowanie dostrzec można na wykresach pokazanych na rysunku 4. Analizując te dane, widać, że najwięcej było obiektów z dźwigarami wykonanymi z betonu sprężonego (216 szt.) i zbrojonego 151 szt. Daje to więc razem 93% wszystkich obiektów. Jeśli chodzi o schemat statyczny, to dominowały konstrukcje swobodnie podparte (39%) i ramowe (36%). Dość dużo było również układów ciążłych (20%).

Ze względu na to zróżnicowanie konieczne było zastosowanie ujednoliconego i uniwersalnego podejścia do sprawdzenia



nośności każdego obiektu. Szczególnie, że ekspertyzy i obliczenia wykonywało kilka niezależnych zespołów eksperckich i dla potrzeb kilku zarządców z różnych szczebli administracji. Przyjęto więc jednolity zakres tych ekspertyz i uzgodniono wspólne założenia, które odnosiły się przede wszystkim do wymagań rozporządzenia. Model obciążeń pojazdów dostarczony był przez przewoźnika, ale w trakcie prowadzonych obliczeń podlegał jeszcze optymalizacji w zakresie liczby osi i nacisków na nie. Natomiast model obciążeń normowych odpowiadał normatywom, według których konstrukcja była projektowana.

Każdy obiekt otrzymał swoją indywidualną kartę KANOM czyli Kartę Nośności Obiektu Mostowego. Zawiera ona podstawowe dane ewidencyjne, lokalizację oraz wyniki obliczeń w postaci wykresów sił wewnętrznych lub naprężeń, o ile była konieczność ich wyznaczenia. Ekspertyzy narzuciły też pewne zalecenia ogólne, które służyły redukcji ewentualnych efektów wynikających z tak dużego obciążenia. Było to ograniczenie prędkości przejazdu po przęśle do 10 km/h oraz wprowadzenie odległości między kolejnymi pojazdami, które miały dać potrzebny czas na odciążenie dźwigarów.

Oprócz tego każdemu obiektowi przypisana została kategoria A, B, C lub D, która uwzględnia wyniki analizy nośności oraz wstępną ocenę stanu technicznego. W każdej kategorii określone zostały konieczne do spełnienia warunki przejazdu pojazdów nienormatywnych. Dotyczyły one np. prędkości przejazdu, odległości lub przerw między pojazdami w konwoju lub warunków specjalnych w postaci położenia trasy i konfiguracji pojazdu. Najniższa kategoria D dyskwalifikowała obiekt i konieczne było jego tymczasowe zabezpieczenie lub zmiana trasy z objazdem.

4. Inspekcja obiektów mostowych z użyciem mobilnej aplikacji

Po ustaleniu ostatecznej wersji trasy i potwierdzeniu, że nośność wszystkich znajdujących się na niej obiektów

Rys. 5. Skrzynka inspektora mostowego z urządzeniem bazowym i dodatkowym wyposażeniem

mostowych jest wystarczająca, przystąpiono do sprawdzenia aktualnej oceny ich stanu technicznego. Zgodnie z wymaganiami rozporządzenia ocena ta, w skali od 0 do 5 i w odniesieniu do dźwigarów lub pomostu

obiektu mostowego, nie powinna być mniejsza niż 3. Okazało się jednak, że nie wszystkie obiekty miały już nadaną ocenę. Wiele z nich to były nowe konstrukcje, które nie zostały jeszcze włączone do systemu gospodarki mostowej. Natomiast w kilku przypadkach aktualne oceny były za niskie lub budzące wątpliwości. Z tego powodu konieczne okazało się wykonanie przeglądów 87 obiektów wskazanych przez zarządców.

Zadanie to stało się nie lada wyzwaniem dla całego zespołu ekspertów. Obiekty były przecież rozmieszczone niemal na 700-kilometrowej trasie. Poza tym wszystkie inspekcje musiałyby być wykonane stosunkowo krótkim czasie około 2–3 tygodni, co wynikało z harmonogramów całego transportu. Dzięki wyjątkowo dobrym warunkom wodnym na Odrze elementy maszyny sprawnie dotarły do portu w Choruli i czekały na przeładunek. Należało więc zapewnić odpowiednią liczbę inspektorów terenowych, którzy pracowali w dwuosobowych zespołach i którzy musieli być przy tym świetnie koordynowani. Zdecydowano też, aby podczas inspekcji wykorzystywać mobilne aplikacje Smart Bridge Inspector (SBI), które wchodzi w skład specjalnej skrzynki inspektora mostowego (rys. 5). Choć przy tym zadaniu używane były głównie urządzenia bazowe z tabletami i smartfonami.

Gromadzone przez lata doświadczenia w zespole inżynierów firmy CADmost z Gliwic, które zdobywane było podczas licznych inspekcji i badań obiektów mostowych, pozwoliły na opracowanie pierwszej w Polsce aplikacji przeznaczonej dla inspektorów mostowych. W podstawowej wersji spełnia ona wszystkie obecne wymagania formalne zarządców infrastruktury mostowej w Polsce. Opcje zaawansowane z modułami BIM (*Building Information Modeling*) i mieszanej rzeczywistości (*Mixed*

Rys. 6. Możliwość szkicowania i edycji zdjęć uszkodzenia podczas pracy w terenie



Reality) w tym przypadku nie były wykorzystywane. Nie ma obecnie takich wymagań ze strony zarządcy. I nie dysponują oni modelami BIM w odniesieniu do swoich zasobów.

System składa się z dwóch części – aplikacji mobilnej i stacjonarnej. Mają one różną funkcjonalność i przeznaczenie. Taka potrzeba wynika z tego, że zarządzanie ewidencją obiektów oraz planowanymi i wykonanymi inspekcjami jest łatwiejsze przy użyciu tradycyjnych komputerów, których używa się w biurze. Takie planowanie i analiza uzyskanych podczas inspekcji wyników powinna odbywać się w dużych i wielowątkowych systemach zarządzania obiektami mostowymi. Takimi systemami są np. aplikacje SGM [6] lub SZOK [7], które dziś wymagają już dostosowania do wymagań metodyki BIM. Systemy te powinny dawać możliwość obsługi na różnych poziomach dostępu. Głównie za pomocą stacjonarnych komputerów, ale ze wsparciem mobilnymi urządzeniami i przetwarzaniem chmurowym. W ten sposób baza wiedzy o obiektach mostowych i ich stanie technicznym udostępniana będzie zarówno decydentom pracującym na stacjonarnych urządzeniach, jak i inspektorom, którym w terenie łatwiej będzie korzystać z urządzeń mobilnych. Będzie też możliwość integracji z elektronicznymi systemami monitoringu stanu technicznego konstrukcji typu SHM (*Structural Health Monitoring*), które już dziś instalowane są na wielu najbardziej odpowiedzialnych mostach.

Aplikacja mobilna została przygotowywana na urządzenie przenośne z systemem operacyjnym Android i Win-

dows 10 (rys. 6). Wkrótce powinna być dostępna również w systemie iOS. Chodzi głównie o notebooki, tablety i smartfony, a w szczególności takie urządzenia, jak: Microsoft Surface, Samsung Tab i Google Pixel, które mają wystarczająco mocne wsparcie sprzętowe. Duża konkurencja w tym zakresie sprawi, że wkrótce na rynku liczba dostępnych urządzeń o zbliżonej funkcjonalności znacznie wzrośnie. Funkcjonalność aplikacji mobilnej jest skoncentrowana na działaniach związanych z inspekcją stanu technicznego mostu w terenie. Celem korzystania z tej aplikacji jest wydajne wprowadzanie danych podczas inspekcji (głównie danych o stwierdzonych uszkodzeniach) wraz z towarzyszącą im dokumentacją multimedialną (fotografie, szkice, komentarze głosowe). Do pełnego korzystania z aplikacji niezbędne jest połączenie sieciowe z serwerem bazy danych, które powinno zapewnić urządzenie bazowe (tablet lub smartfon) przez sieć komórkową LTE lub Wi-Fi. Ponieważ może zdarzyć się sytuacja, w której oceniany obiekt znajduje się poza zasięgiem sieci, wyniki inspekcji zapisywane są w pamięci operacyjnej urządzenia, a synchronizacja danych uruchamiana jest dopiero po uzyskaniu dostępu i wystarczającej prędkości transmisji.

5. Zarządzanie procesem kontroli obiektów mostowych

Cały proces oceny i kontroli obiektów mostowych na trasie przejazdu kilku konwojów opisywanego tu transportu nienormatywnego z elementami maszyny TBM wymagał bardzo dobrej organizacji pracy i koordynacji wielu zespołów ekspertów i inspektorów. Wszystko musiało być regularnie raportowane do zarządców, którzy podejmowali decyzje o zezwoleniu na transport i weryfikowali wywiązywanie się przewoźników i podwykonawców ze wspólnie ustalonych zasad. Sprawna realizacja tego złożonego i wieloetapowego zadania była możliwa dzięki zbudowaniu specjalnego systemu, który wykorzystywał chmurowe bazy wiedzy o obiektach mostowych oraz powiązanie tych danych z interaktywnymi mapami GIS (rys. 7).

I tak, na etapie oceny nośności i możliwości przejazdu system służył do:

- gromadzenia skanowanej dokumentacji archiwalnej (rysunki, opisy, specyfikacje),
- przetwarzania danych z postaci papierowej lub skanowanej na ustrukturyzowane dane cyfrowe,
- parametryzacji wymiarów konstrukcyjnych obiektów do potrzeb automatycznego modelowania MES,
- usprawnienia obliczeń przez implementację własnego silnika MES,
- automatyzacji analiz dzięki użyciu parametrycznych danych zapisanych w bazie wiedzy,
- wizualizacji i raportowania wyników obliczeń,
- zarządzania wykonanymi ekspertyzami z generowaniem raportów PDF i drukowaniem wersji papierowych.



Rys. 7. Schemat zarządzania procesem kontroli obiektów mostowych

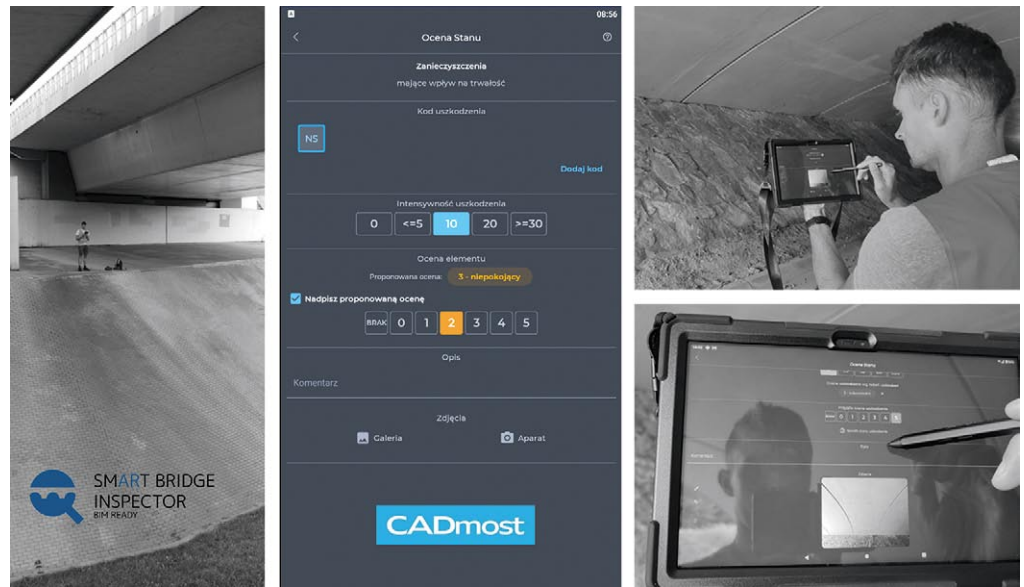
Natomiast na etapie oceny stanu technicznego (inspekcji) system był wykorzystywany do:

- zarządzania archiwalnymi raportami z rocznych przeglądów podstawowych,
- zgromadzenia i przetwarzania informacji o aktualnym stanie technicznym obiektów,
- zarządzania obiektami, które zostały zakwalifikowane do wykonania przeglądu,
- planowania całego procesu przeglądów (podział na terenowe zespoły inspekcyjne, dobór obiektów na każdy dzień operacyjny z optymalizacją trasy dojazdu do obiektu),
- koordynacji wszystkich zespołów w terenie,
- nadzorowania działania aplikacji mobilnej na tabletach, w które wyposażone były zespoły,
- gromadzenia informacji pozyskiwanych podczas przeglądu, które w czasie rzeczywistym były osadzane na serwerze chmurowym (fotografie, komentarze, cyfrowe formularze z przeglądu).

Koordinator pracując w biurze, miał dostęp do ciągle aktualizowanej w chmurze bazy wiedzy (rys. 7). Kontrolował na bieżąco dane spływające od wszystkich zespołów terenowych. Sprawdzał kompletność i poprawność raportów, jakość fotografii i szkiców. Na tej podstawie wydawał polecenia poprawy i uzupełnienia. Zdarzały się potrzeby powrotu na wybrane obiekty, ale takich sytuacji było jednak niewiele. Najczęściej przyczyną była zbyt niska jakość fotografii, która wynikała ze słabego oświetlenia pod obiektem lub źle ustawionych parametrów kamery. Baza wykonanych inspekcji była automatycznie uzupełniana informacjami personalnymi od zalogowanych inspektorów terenowych oraz panujących warunkach pogodowych (rys. 8). Wszystkie stwierdzone uszkodzenia były powiązane z odpowiednio posegregowanymi i opisanymi fotografiami oraz nadanymi ocenami stanu technicznego.

Po zakończeniu inspekcji na określonym odcinku lub obszarze jakiegoś zarządcy koordinator automatycznie generował raporty z inspekcji w postaci przygotowanych do druku plików PDF (rys. 9). Po wydrukowaniu i podpisaniu raporty były przesyłane do zarządców w sposób tradycyjny i pocztą elektroniczną.

Rys. 8. Użycie mobilnej aplikacji SBI podczas inspekcji mostów w terenie



6. Potrzeby i wyzwania wynikające z cyfryzacji

Zrealizowany transport elementów maszyny TBM stanowił ogromne wyzwanie logistyczne i inżynierskie. Szczególnie w odniesieniu do części drogowej tego intermodalnego transportu. Wykorzystywane w nim pojazdy charakteryzowały się bowiem gabarytami i ciężarami, które były większe niż przy większości dotychczasowych przejazdów nienormalnych w naszym kraju. A przy tym konwoje te jechały dużo dłuższą drogą, niż mogłoby to wynikać z naturalnego planowania trasy. Taka sytuacja wynikała głównie z potrzeby zapewnienia bezpieczeństwa najstarszych obiektów mostowych, które projektowane były na mniejsze obciążenia niż współcześnie. Występują one na niektórych odcinkach dróg południowej Polski budowanych na przełomie lat 80. i 90. XX wieku. Ponieważ nośność i stan technicznych obiektów mostowych przy planowaniu tej trasy okazały się być kluczowe i krytyczne, konieczne było zaplanowanie i przeprowadzenie wielu działań i kontroli. Miały one na celu ograniczenie ryzyka pojawienia się trudnych do przewidzenia sytuacji na drodze,

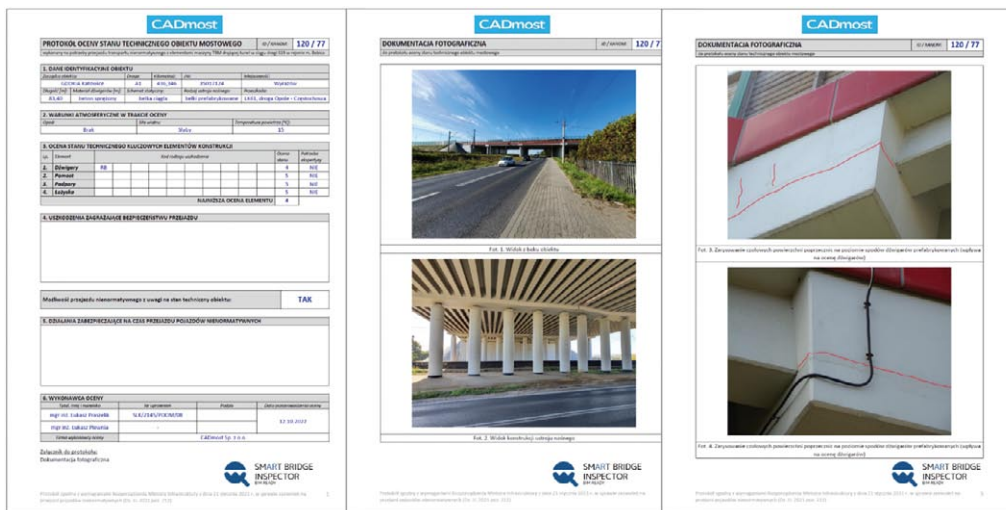
przy jednoczesnym zapewnieniu jak najwyższego poziomu bezpieczeństwa użytkowników i infrastruktury. Obejmowały one następujące grupy działań kontrolnych:

- identyfikację obiektów mostowych na trasie przejazdu i pozyskanie dla nich dokumentacji archiwalnej,
- analizę dokumentacji archiwalnej obiektów w zakresie ich nośności, wieku, stanu technicznego,
- wykonanie ekspertyz ze sprawdzeniem nośności i wydaniem indywidualnych zaleceń,
- opracowanie tymczasowych zabezpieczeń w odniesieniu do obiektów, które nie miały wystarczającej nośności,
- inspekcje terenowe z oceną aktualnego stanu technicznego obiektów,
- monitorowanie przejazdu konwojów z kontrolą odpowiedzi wybranych konstrukcji.

Te działania wymagały skutecznego i sprawnego zarządzania wieloosobowymi zespołami, które reprezentowały różne organizacje i podmioty zaangażowane w to przedsięwzięcie. A ponieważ zespoły te pracowały w różnych miejscach i bardzo często w terenie, zdecydowano się wykorzystać nowe

i zintegrowane rozwiązania. Polegały one na integracji interaktywnych map GIS, specjalnie utworzonej bazy wiedzy o obiektach mostowych na trasie oraz mobilnych aplikacji na tabletach z przetwarzaniem chmurowym. Potwierdzono w ten sposób

Rys. 9. Raporty z oceną stanu technicznego generowane automatycznie po zakończeniu inspekcji



skuteczność pracy i zalety wynikające z wyposażenia inspektorów mostowych w opisaną wcześniej mobilną aplikację Smart Bridge Inspector. Przy czym warunkiem tej skuteczności było posiadanie aktualnej bazy wiedzy o kontrolowanych obiektach z dostępem chmurowym. Baza, która może stanowić przykład, jak powinny być zorganizowane współczesne cyfrowe systemy zarządzania infrastrukturą mostową. Oczywiście przy odpowiednim skalowaniu tego systemu, bo choć zrealizowane zadanie dotyczyło prawie 400 obiektów, to jest to wciąż mała liczba w stosunku do wszystkich zasobów, jakie są w zarządzaniu naszej administracji drogowo-mostowej.

Do skutecznej cyfryzacji procesów zarządzania infrastrukturą mostową, choćby w tak ograniczonym zakresie, jak opisano to w tym artykule, potrzebna jest gruntowna zmiana kluczowych przepisów. Chodzi przede wszystkim o rozporządzenie, które nie nadaje się już dzisiaj do cyfryzacji. Konieczne jest odejście od tradycyjnych ksiąg obiektów mostowych i papierowych protokołów z przeglądów, które zapychają pękające w szwach archiwa i są bardzo trudne w przetwarzaniu i udostępnianiu. Zamiast tego należy zacząć budować modele informacyjne, które zawierać będą dane już tylko w postaci cyfrowej. Dzięki temu dane te będą mogły być łatwiej gromadzone, przechowywane, przetwarzane i wizualizowane.

Taki kierunek wymaga implementacji metodyki i modeli BIM, które przecież doczekały się już swojej standaryzacji. Jest to choćby seria norm PN-ISO 19650, jakie opisują procesy zarządzania informacją o obiekcie budowlanym oraz norma ISO 16739, która dotyczy otwartego standardu IFC (*Industry Foundation Classes*). Standardu pozwalającego na opisanie całej struktury obiektu mostowego w uniwersalny i cyfrowy sposób, który w przyszłości będzie stanowił podstawę wszystkich systemów gospodarowania mostami. A to pozwoli również na bardziej skuteczne wdrożenie w jednostkach administracji drogowo-mostowej zasad zarządzania zasobami infrastruktury (*Infrastructure Asset Management*), które z kolei reguluje norma PN-EN ISO 55000.

7. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę kontrolę wybranych obiektów, które prowadzono w trakcie i po przejeździe najcięższych pojazdów, można powiedzieć, że ich stan techniczny nie uległ zmianie. Pomiar kontrolny potwierdził pracę sprężystą konstrukcji przeszły w tych obiektach, a skutki od tego obciążenia były mniejsze od skutków, jakie rejestrowane były przez wcześniej autorów podczas próbnego obciążenia odbiorczych. Na tej podstawie w przyszłości można wnioskować podniesienie prędkości przejazdu do 20 km/h, a także zmniejszenie odstępów czasowych pomiędzy kolejnymi pojazdami w konwoju. Odciążenie dźwigarów następowało bardzo szybko, a efekty dynamiczne były mniej zauważalne niż przy typowym ruchu normatywnych pojazdów, ale jadących z dużo większą prędkością.

Zastosowane w związku z nienormatywnym transportem elementów maszyny TBM rozwiązania pozwoliły na sprawne przeprowadzenie kontroli obiektów mostowych znajdujących się na trasie konwojów. Udało się w ten sposób ograniczyć do minimum ryzyka wynikające z tak wyjątkowego transportu. Skuteczne zarządzanie danymi już w postaci cyfrowej, automatyzacja obliczeń oraz użycie mobilnych i chmurowych aplikacji sprawiły, że czas pracy ekspertów oraz terenowych inspektorów mostowych został wielokrotnie skrócony. A co za tym idzie, zredukowano też koszty związane z pracą i liczbą potrzebnych do tego zadania osób.

Podziękowania

Autorzy dziękują za współpracę przy realizacji opisanego w artykule zadania wszystkim zaangażowanym zespołom, a w szczególności: Mostostalowi Warszawa, Politechnice Rzeszowskiej, DB Schenker, MTD Skuratowicz, Mostoprojektowi Katowice, Godban Przedsiębiorstwo Inżynieryjne. Należy również podziękować za koordynację i życzliwość ze strony pracowników GDDKiA.

W artykule wykorzystano również wyniki badań przeprowadzonych w ramach projektu pn. „Wykorzystanie technologii BIM oraz poszerzonej rzeczywistości AR w planowaniu i inspekcji obiektów infrastruktury technicznej z użyciem mobilnej aplikacji InfraSmARt-Inspection” (UDA-RPSL.01.02.00-24-0667/16-00).



BIBLIOGRAFIA

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 21 stycznia 2021 r. w sprawie zezwoleń na przejazd pojazdów nienormatywnych
- [2] Salamak M., BIM w cyklu życia mostów, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2020
- [3] WR-M-81. Wytyczne oceny stanu technicznego drogowych obiektów inżynierskich, Ministerstwo Infrastruktury, Warszawa, 2022
- [4] Instrukcje przeprowadzania przeglądów drogowych obiektów inżynierskich. Wydanie 3, GDDKiA, Warszawa, 2020
- [5] Salamak M., Januszka M., Płaszczek T., Cyfrowe technologie w zarządzaniu mostami, Builder 1/2019, str. 94–98
- [6] Płaszczek T., Salamak M., Proces inspekcji mostu z użyciem metodyki BIM, Mosty 1/2020, str. 46–49
- [7] Bień J., Uszkodzenia, diagnostyka obiektów mostowych, Warszawa, WKŁ, 2010
- [8] Bień J., Rawa P., Bień B., Komputerowe wspomaganie zarządzania autostradowymi obiektami mostowymi, Inżynieria i Budownictwo 11/2001, str. 669–672
- [9] PN-ISO 55000:2017-09 Zarządzanie aktywami – Informacje ogólne, zasady, terminologia
- [10] ISO 16739:2013. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries
- [11] PN-EN ISO 19650-1:2019 – Organizacja, digitalizacja informacji o budynkach, budowlach, w tym modelowanie informacji o budynku (BIM) – Zarządzanie informacjami za pomocą modelowania informacji o budynku – Część 1: Konceptje, zasady (wersja angielska)
- [12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16 lutego 2005 r. w sprawie sposobu numeracji i ewidencji dróg publicznych, obiektów mostowych, tuneli, przepustów i promów oraz rejestru numerów nadanych drogom, obiektom mostowym i tunelom, Dz.U. z 2005 r. Nr 67, poz. 582