

Systemy ekspertowe w ocenie kondycji przęseł mostowych z uszkodzeniami

Jan Bień, Małgorzata Gładysz, Mieszko Kużawa

Rosnące gospodarcze i społeczne znaczenie obiektów mostowych, jako istotnych elementów sieci transportowej powoduje konieczność systematycznego doskonalenia metodyki zarządzania tym obszarem infrastruktury. Szczególnie ważnym problemem jest zapewnienie bezpieczeństwa obiektów i użytkowników infrastruktury transportowej dzięki monitorowaniu zmian kondycji konstrukcji mostowych, powodowanych pojawiającymi się uszkodzeniami. W pracy przedstawiono możliwości zastosowania technologii sieci hybrydowych do tworzenia systemów ekspertowych wspomagających procesy oceny kondycji przęseł mostowych, z uwzględnieniem występujących uszkodzeń. Zaprezentowano dwa narzędzia ekspertowe („FEST” oraz „NOBLA”), wykorzystujące bazy wiedzy stworzone przy wykorzystaniu wyników obszernych analiz symulacyjnych.

Artykuł recenzowany zgodnie z wytycznymi MNiSW

data zgłoszenia do redakcji: 13.05.2013

data akceptacji do druku: 01.07.2013



prof. dr hab. inż. Jan Bień
Instytut Inżynierii Lądowej
Politechniki Wrocławskiej
jan.bien@pwr.wroc.pl



dr inż. Małgorzata Gładysz
Instytut Inżynierii Lądowej
Politechniki Wrocławskiej
malgorzata.gladysz@pwr.wroc.pl



mgr inż. Mieszko Kużawa
Instytut Inżynierii Lądowej
Politechniki Wrocławskiej
mieszko.kuzawa@pwr.wroc.pl



PROGRAM REGIONALNY
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Politechnika Wroclawska

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Badania naukowe są współfinansowane przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego.

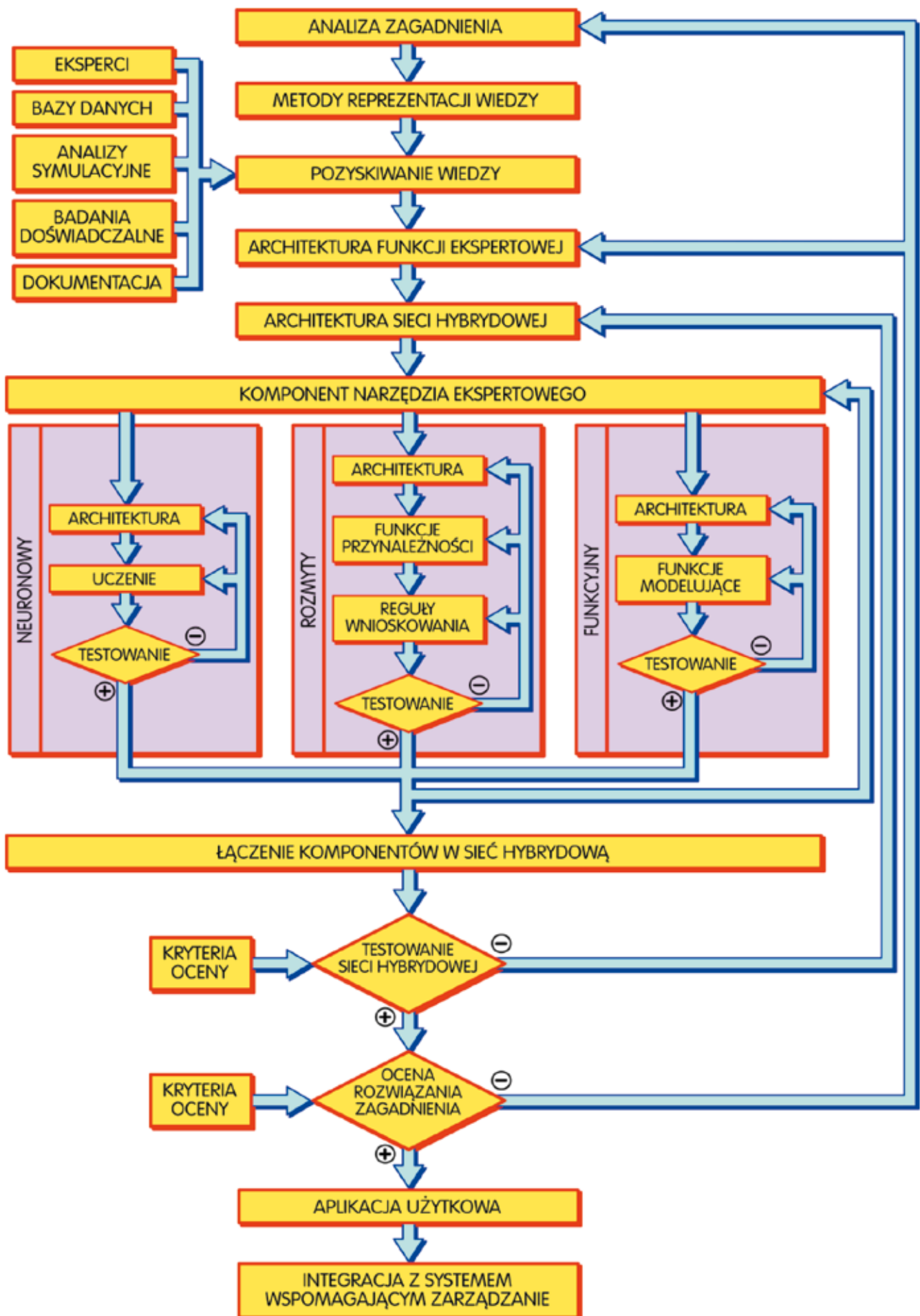
Obiekty mostowe w Polsce są bardzo ważnymi elementami krajowej oraz europejskiej sieci transportowej. Łączna długość sieci drogowej w krajach należących do Unii Europejskiej wynosi ponad 4 900 000 km, a linii kolejowych – prawie 215 000 km. Udział Polski jest znaczący i obejmuje ponad 412 000 km sieci drogowej oraz ponad 20 000 km linii kolejowych, czyli odpowiednio około 8% oraz ponad 9% długości rozpatrywanych systemów transportowych wszystkich krajów należących do Unii [20]. Drogowe obiekty mostowe w naszym kraju są stosunkowo młode: 37,6% ogólnej liczby obiektów liczy poniżej 20 lat, 32,7% obiektów jest w wieku od 20 do 50 lat, a 29,7% obiektów jest użytkowanych ponad 50 lat. Odmiennie przedstawia się sytuacja w zakresie kolejowej infrastruktury mostowej – blisko 45% obiektów jest w wieku powyżej 100 lat, a jedynie około 3,6% konstrukcji ma za sobą poniżej 20 lat użytkowania.

Nieuchronne procesy degradacji obiektów – przy jednocześnie zwiększających się wymaganiach eksploatacyjnych – powodują, że efektywne gospodarowanie infrastrukturą mostową staje się z roku na rok coraz ważniejszym problemem tak w Polsce, jak i praktycznie we wszystkich krajach świata. Stymuluje to rozwój systemów zarządzania utrzymaniem i eksploatacją obiektów mostowych. Związane z tym zagadnienia: efektywna diagnostyka oraz analiza wpływu

uszkodzeń na kondycję obiektów mostowych, ocena i prognozowanie zmian stanu konstrukcji, technologie rehabilitacji obiektów, wspomaganie procesów decyzyjnych z wykorzystaniem komputerowych narzędzi ekspertowych mają złożony wymiar interdyscyplinarny [1], [4], [7]. Na podstawie analizy aktualnie użytkowanych na świecie systemów zarządzania obiektami mostowymi oraz kierunków prowadzonych prac naukowo-badawczych można wyróżnić pięć ge-

Tab. 1: Generacje komputerowych systemów zarządzania obiektami mostowymi

Generacja systemów	Wykorzystywane technologie				
	bazy danych	procedury decyzyjne	bazy wiedzy i systemy ekspertowe	systemy uczące się	sterowanie parametrami konstrukcji
I	●				
II	●	●			
III	●	●	●		
IV	●	●	●	●	
V	●	●	●	●	●



1. Procedura tworzenia aplikacji ekspertowej z wykorzystaniem technologii sieci hybrydowych [1]

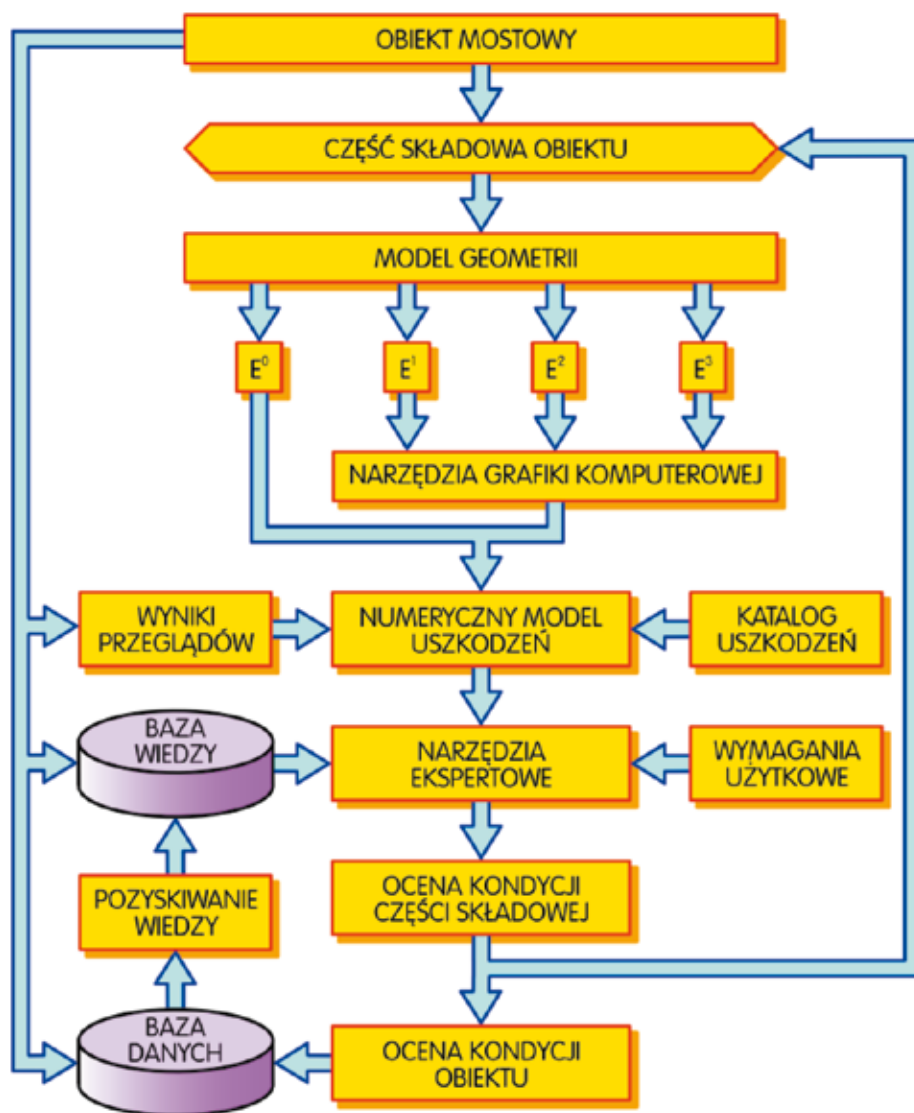
neracji systemów [3], które scharakteryzowano w tab. 1:

- systemy I generacji – wykorzystujące standardowe bazy danych z oprogramowaniem umożliwiającym wprowadzanie, podstawowe przetwarzanie i udostępnianie danych gromadzonych w systemie – decyzje zależą od indywidualnego przygotowania i doświadczenia użytkowników systemu,
- systemy II generacji – posiadające oprócz wyspecjalizowanej bazy danych także algorytmy decyzyjne określające procedury podejmowania decyzji na podstawie zgromadzonego zasobu danych,
- systemy III generacji – wyposażone dodatkowo w bazy wiedzy oraz narzędzia ekspertowe, co umożliwia wspomaganie procesu zarządzania z wykorzystaniem wiedzy gromadzonej w systemie,
- systemy IV generacji – wzbogacone w stosunku do systemów III generacji o zaawansowane narzędzia sztucznej inteligencji umożliwiające uczenie się systemu na podstawie gromadzonych danych i wykorzystywanie aktualizowanej wiedzy do wspomaganie procesów decyzyjnych,
- systemy V generacji – posiadające dodatkowo zdolność bezpośredniego oddziaływania na obiekty przy użyciu systemów sterujących parametrami konstrukcji (na przykład zmianami siły sprężającej w zależności od obciążenia), systemów sterujących ruchem itp.

Użytkowane w naszym kraju systemy wspomagające zarządzanie drogowymi ([1], [4], [13]) oraz kolejowymi ([1], [6], [10]) obiektami mostowymi można zakwalifikować do systemów I generacji, a niektóre z nich zawierają także elementy charakterystyczne dla systemów II generacji. Wyniki prowadzonych prac naukowo-badawczych stwarzają możliwości opracowania i wdrożenia w nieodległej przyszłości nowych systemów wspomagających zarządzanie, należących do III, a nawet IV generacji.

Narzędzia ekspertowe w zarządzaniu obiektami mostowymi

Procesy decyzyjne w zarządzaniu eksploatacją i utrzymaniem obiektów mostowych wymagają wiedzy z różnych dziedzin, wykraczających często daleko poza inżynierię mostową. Stwarza to przestrzeń do zastosowań narzędzi ekspertowych posługujących się wiedzą zgromadzoną w systemie w formie numerycznej bazy wiedzy. Narzędzia ekspertowe przeznaczone do wykorzystywania w systemach wspomagających gospodarowanie infrastrukturą mostową to generalnie narzędzia o charakterze doradczym, pro-



2. Schemat procesu oceny kondycji obiektu mostowego z wykorzystaniem narzędzi ekspertowych

ponujące użytkownikowi rozwiązania, które powinien on ocenić i zaakceptować lub odrzucić. Stosowanie narzędzi ekspertowych prowadzi do istotnych korzyści w zakresie:

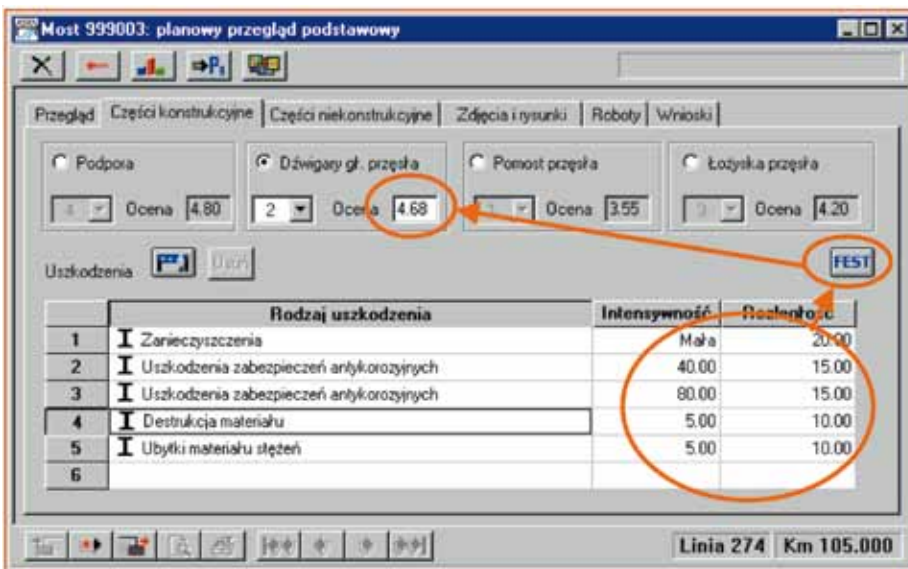
- poprawnego rozwiązywania specjalistycznych zagadnień bez osobistego udziału eksperta, co znacznie przyspiesza i obniża koszty uzyskania rozwiązania w porównaniu z metodami klasycznymi,
- wykorzystywania skumulowanej wiedzy wielu ekspertów, także z wielu różnych dziedzin, w jednym systemie ekspertowym,
- wykorzystywania tego samego systemu ekspertowego przez wielu użytkowników,
- powtarzalności rozwiązań zagadnienia przy tych samych danych wejściowych.

W nowoczesnych systemach zarządzania procesy decyzyjne mogą być wspomagane różnorodnymi specjalistycznymi narzędziami ekspertowymi wykorzystującymi bazy danych oraz bazy wiedzy. Termin „baza danych” określa uporządkowany zbiór danych przechowywanych na nośnikach komputerowych, wyposażony w oprogramowanie

i inne środki pozwalające na utrzymywanie, zabezpieczanie, przetwarzanie i udostępnianie. Stosunkowo nowe pojęcie „baza wiedzy” można ogólnie zdefiniować jako formę komputerowej reprezentacji wiedzy, wymagającą specyficznych technik jej akwizycji, numerycznej reprezentacji oraz udostępniania [1], [2], [7], [18], [19], [22], [24].

Można wyróżnić dwa podstawowe typy narzędzi ekspertowych:

- autonomiczne systemy ekspertowe – samodzielne narzędzia komputerowe, wyposażone w systemy wnioskujące wspomagające podejmowanie decyzji przy wykorzystaniu dziedzinowej bazy wiedzy, bez bezpośredniego powiązania z systemem zarządzania infrastrukturą transportową,
- funkcje ekspertowe – wydzielone funkcjonalnie części systemu wspomagającego zarządzanie infrastrukturą, przeznaczone do rozwiązywania problemów z wykorzystaniem bazy danych oraz bazy wiedzy systemu.



3. Funkcja Ekspertowa Stanu Technicznego (FEST) zaimplementowana w systemie „SMOK”

Technologia sieci hybrydowych

W narzędziach ekspertowych wykorzystywanych w inżynierii mostowej mamy do czynienia ze znacznym zróżnicowaniem źródeł oraz metod efektywnej reprezentacji wiedzy, co zachęca do stosowania metodyki „sieci hybrydowych” [1], [2], [9], integrującej różne sposoby reprezentacji wiedzy w jednym narzędziu ekspertowym.

Terminem „sieć hybrydowa” jest tu określany sposób mieszanej reprezentacji wiedzy przy wykorzystaniu wirtualnej struktury złożonej z poszczególnych komponentów sieci oraz relacji (połączeń) między tymi komponentami. „Komponent” to podstawowa część składowa sieci hybrydowej wykorzystująca określony sposób i technikę reprezentacji wiedzy. Podstawowe cechy definiujące każdy komponent to:

- liczba wejść i postać wprowadzanych danych;
- sposób i technika reprezentacji wiedzy;
- definiowalne zasoby komponentu;
- programowalne procedury przetwarzania danych w komponentcie;
- liczba wyjść i postać uzyskiwanych danych wyjściowych.

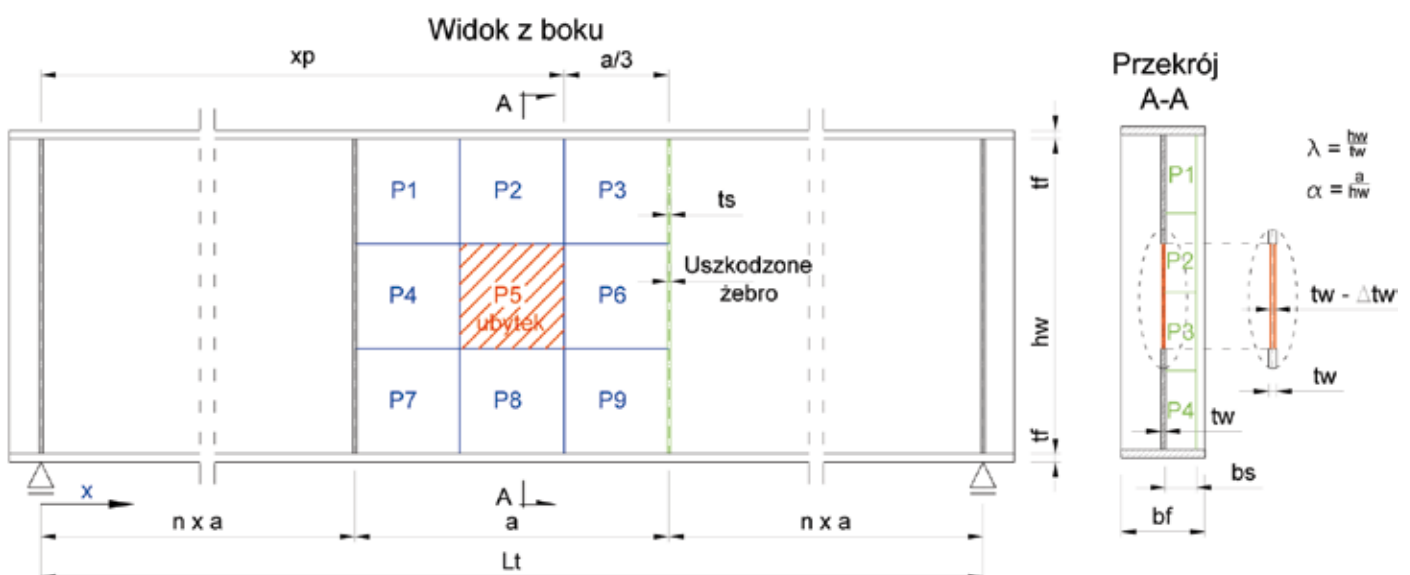
W prezentowanych sieciach hybrydowych mogą być stosowane trzy podstawowe typy komponentów:

- komponenty funkcyjne – wykorzystywane jako narzędzia symbolicznej reprezentacji wiedzy przy użyciu funkcji matematycznych; komponenty funkcyjne przetwarzają dane przedstawione w postaci liczb rzeczywistych;
- komponenty neuronowe – narzędzia niesymbolicznej reprezentacji wiedzy przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych ([1], [16], [18], [19], [22]); przetwarzane dane są liczbami rzeczywistymi;

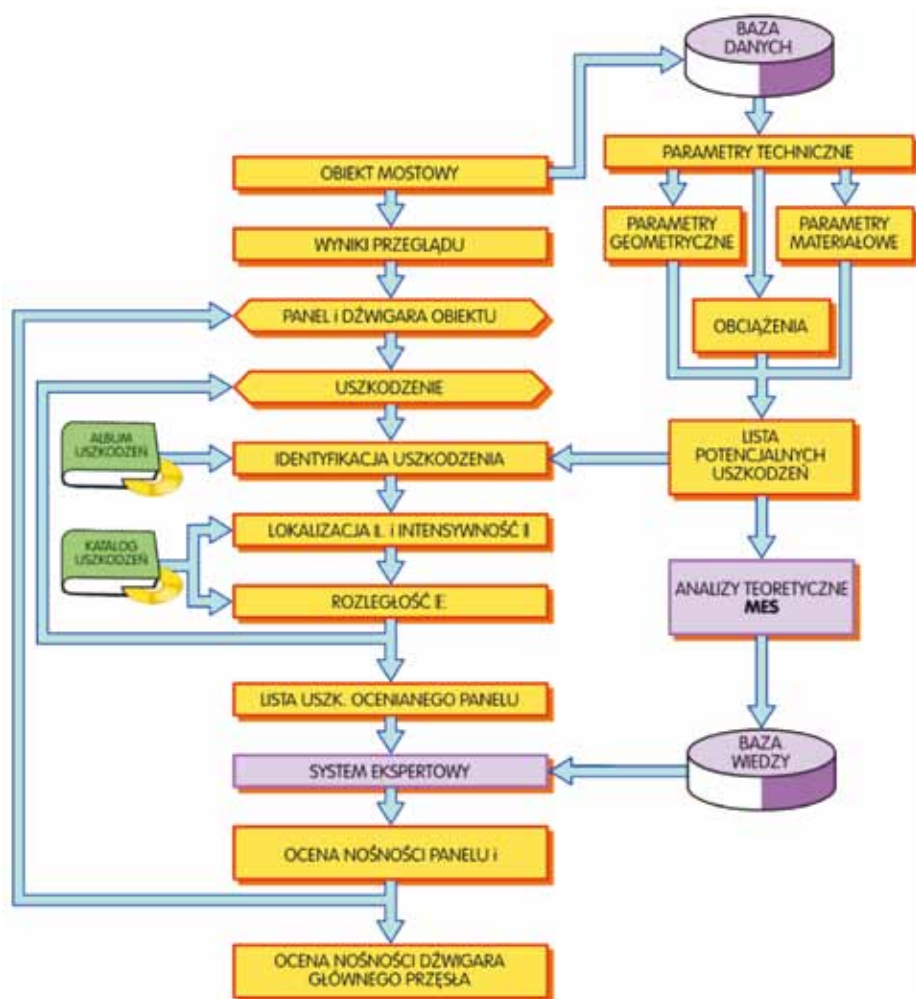
komponenty rozmyte – służące jako narzędzia symbolicznej reprezentacji obszarów wiedzy niepełnej i niepewnej przy wykorzystaniu metod logiki rozmytej ([21] - [24]); w komponentach tego typu możliwe jest stosowanie danych w postaci liczb rzeczywistych, wartości lingwistycznych lub liczb rozmytych.

Ogólny schemat procesu tworzenia aplikacji ekspertowej przedstawiono na rys. 1. Pierwszym etapem prac jest szczegółowa analiza zagadnienia stanowiącego dziedzinę projektowanej funkcji. Analiza ta ma na celu przede wszystkim określenie informacji istotnych dla rozpatrywanego problemu, co pozwala na zdefiniowanie zbiorów danych wejściowych oraz danych wyjściowych narzędzia ekspertowego. W trakcie wstępnej analizy zagadnienia należy także określić zasady ewentualnej integracji projektowanej aplikacji ekspertowej z pozostałą częścią systemu wspomagającego zarządzanie obiektami mostowymi. Kolejnym etapem projektowania jest analiza dostępnych zasobów wiedzy oraz dobór metod jej reprezentacji, a następnie pozyskanie niezbędnej wiedzy. Najczęściej wykorzystywanymi źródłami wiedzy są uznani eksperci w rozpatrywanej dziedzinie, bazy danych systemów zarządzania, wyniki symulacyjnych analiz konstrukcji, rezultaty doświadczalnych badań diagnostycznych oraz dokumentacja techniczna obiektów.

Kolejne kroki w procesie tworzenia aplikacji ekspertowej to określenie ogólnej struktury i architektury funkcji ekspertowej, zaprojektowanie architektury wykorzystywanych sieci hybrydowych, a następnie przygotowanie poszczególnych komponentów



4. Parametry geometryczne dźwigara i uszkodzeń



5. Schemat procedury oceny nośności uszkodzonego dźwigara blachownicowego z wykorzystaniem systemu ekspertowego

wchodzących w skład sieci hybrydowej. Na rys. 1 uwzględniono trzy typy komponentów: neuronowy, rozmyty i funkcyjny, wraz z charakterystycznymi etapami kreowania poszczególnych typów komponentów.

Po uzyskaniu pozytywnych wyników testowania każdego z komponentów są one łączone w wielopoziomą sieć hybrydową. Wynikowa sieć podlega testowaniu, a jego pozytywny wynik upoważnia do włączenia sieci jako samodzielnego składnika funkcji ekspertowej. W analogiczny sposób kształtowane są – w miarę potrzeb – kolejne sieci hybrydowe, które wspólnie tworzą zaprojektowaną strukturę funkcji ekspertowej. Kompletnie narzędzie ekspertowe podlega ostatecznemu testowaniu pod kątem poprawności rozwiązań zagadnienia postawionego na początku procesu projektowania. Negatywna ocena zmusza do ponownej analizy problemu i poszukiwania innych rozwiązań. Ocena pozytywna pozwala na wygenerowanie aplikacji użytkowej oraz jej ewentualną integrację z pozostałą częścią systemu wspomagającego zarządzanie infrastrukturą mostową.

Ocena kondycji przęseł mostowych z uszkodzeniami

Jednym z bardzo ważnych obszarów zastosowań narzędzi ekspertowych w systemach zarządzania infrastrukturą mostową jest obiektywizacja ocen kondycji obiektów, na którą składa się ocena stanu technicznego konstrukcji oraz jej przydatności użytkowej jako elementu sieci transportowej. Określanie wpływu różnego typu uszkodzeń na kondycje obiektu, z uwzględnieniem ich lokalizacji, intensywności i rozległości, jest w większości przypadków skomplikowanym zagadnieniem znacznej, często interdyscyplinarnej, wiedzy. Poprawność i precyzja ocen stanu obiektów ma fundamentalne znaczenie dla bezpieczeństwa użytkowników i konstrukcji, a także decyduje o efektywności i skuteczności działań utrzymaniowych.

Schemat procedury oceny kondycji obiektów mostowych z użyciem wspomagających narzędzi ekspertowych zaprezentowano na rys. 2. W odniesieniu do każdej ocenianej części składowej obiektu niezbędne jest określenie sposobu modelowania

geometrii, a następnie zdefiniowanie numerycznego modelu uszkodzeń. Przy stosowaniu modeli geometrii typu E^1 (tworzonych z elementów jednowymiarowych), E^2 (z elementów dwuwymiarowych) oraz E^3 (z elementów trójwymiarowych) do generowania modelu uszkodzeń są z reguły używane narzędzia grafiki komputerowej [1], [2], [7]. Przy wykorzystaniu numerycznego opisu stwierdzonych uszkodzeń narzędzia ekspertowe generują oceny kondycji poszczególnych części składowych obiektu mostowego, a na podstawie tych ocen formułowana jest następnie ocena kondycji całego obiektu.

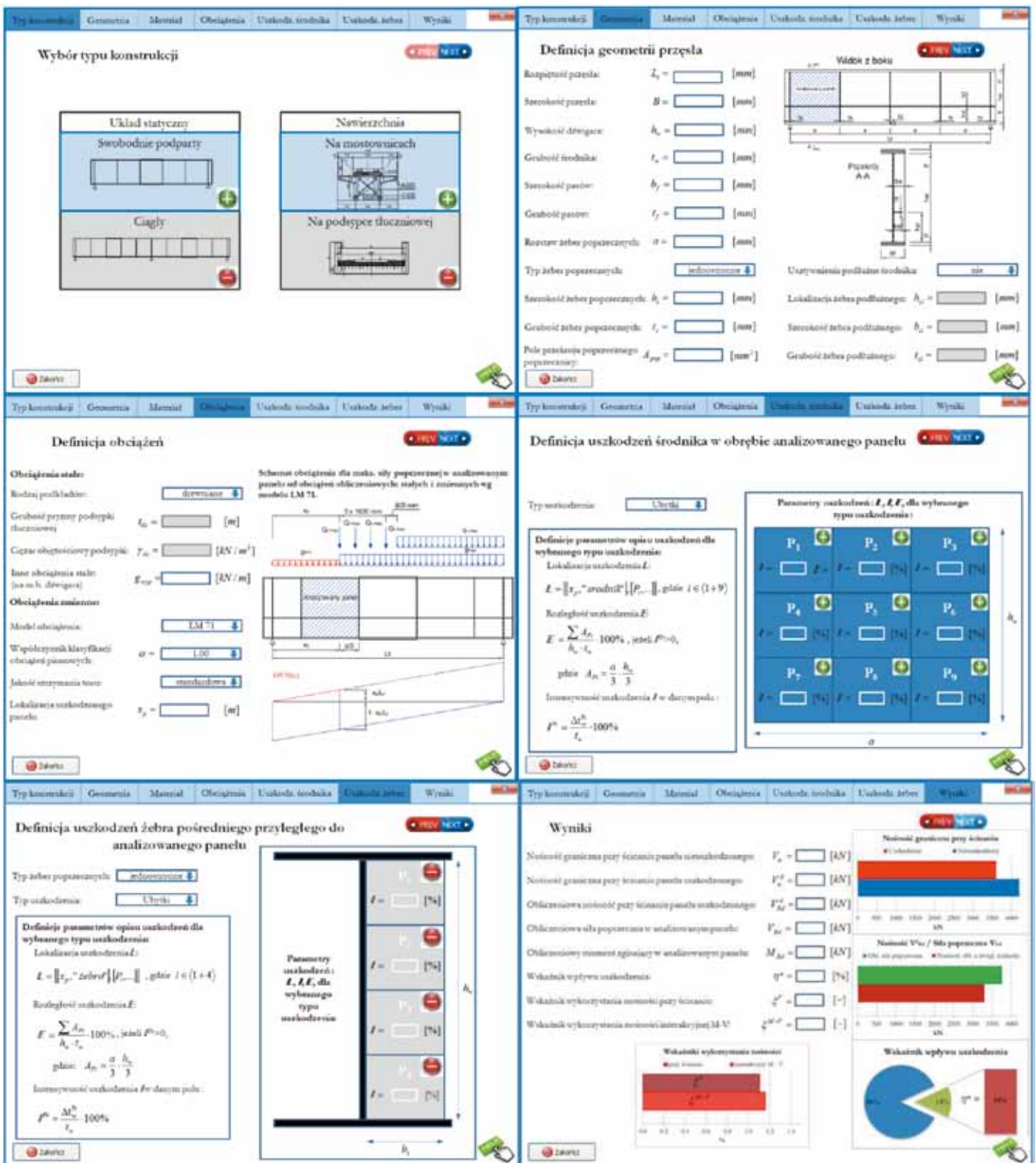
Funkcja Ekspertowa Stanu Technicznego

Pierwszym w naszym kraju praktycznym zastosowaniem narzędzia ekspertowego do wspomaganie oceny stanu technicznego obiektów mostowych było zaimplementowanie Funkcji Ekspertowej Stanu Technicznego (FEST) w Systemie Zarządzania Mostami Kolejowymi „SMOK” [6], [10], opracowanym na potrzeby Polskich Kolei Państwowych.

System wspomagał zarządzanie wszystkimi rodzajami kolejowych obiektów inżynierskich, przy wykorzystaniu interaktywnej numerycznej mapy linii i obiektów kolejowych, a oprócz klasycznej bazy danych zawierał także bazę wiedzy sporządzoną z wykorzystaniem wiedzy ekspertów. Do komputerowej implementacji bazy wiedzy zastosowano technologię wielopoziomowych sieci hybrydowych wykorzystujących technikę sztucznych sieci neuronowych, logikę rozmytą oraz komponenty funkcyjne [1], [9].

Procedura oceny stanu technicznego kolejowych obiektów mostowych z wykorzystaniem narzędzia ekspertowego „FEST” składa się z następujących etapów (rys. 3):

- identyfikacja i klasyfikacja rodzajów uszkodzeń stwierdzonych w wyniku przeglądów i badań konstrukcji, zgodnie z przyjętym „Katalogiem uszkodzeń”,
- określenie intensywności i rozległości każdego uszkodzenia, z uwzględnieniem metodyki i kryteriów przyjętych w systemie,
- aktywacja narzędzia ekspertowego „FEST”, które na podstawie zawartych w bazie systemu informacji o ukształtowaniu konstrukcji, rodzaju materiału, układzie statycznym, geometrii elementu oraz na podstawie danych o uszkodzeniach generuje ocenę stanu technicznego w skali od 0 (stan awaryjny) do 5 (stan bardzo dobry),
- inspektor mostowy odpowiedzialny za diagnostykę obiektu podejmuje decyzje o zaakceptowaniu lub korekcie oceny proponowanej przez funkcję ekspertową.



6. Interfejs systemu ekspertowego „NOBLA”:

a) wybór typu konstrukcji, b) definiowanie geometrii dźwigara, c) definicja obciążeń, d) opis uszkodzeń środnika, e) opis uszkodzeń zębów, f) wyniki

System ekspertowy „NOBLA”

Jednym z najistotniejszych problemów występujących w procesie oceny kondycji eksploatowanych obiektów mostowych jest określanie wpływu uszkodzeń na nośność konstrukcji. W ostatnich latach podjęto, uwiarygodnione powodzeniem, próby wspomaganie tego złożonego zadania przy wy-

korzystaniu narzędzi ekspertowych. Na potrzeby oceny nośności murowanych przęseł mostowych z uszkodzeniami opracowano system ekspertowy „MyBriDE” [4], [14], na potrzeby związane z uszkodzonymi przęsłami żelbetowymi – system „DAGA” [3], [17], a w zakresie oceny wpływu uszkodzeń na nośność blachownicowych dźwigarów mostowych – system „NOBLA” [8], [15]. Przezna-

czaniem narzędzia ekspertowego „NOBLA” (NOśność BLachownic) jest wspomaganie oceny nośności przy ścinaniu mostowych dźwigarów blachownicowych, z uwzględnieniem uszkodzeń w postaci ubytków materiału środnika oraz ubytków materiału poprzecznych zębów usztywniających dźwigarów. Przyjęto, że nośność przy ścinaniu rozpatrywanych blachownicowych dźwiga-

rów mostowych wyrażona jest w wartościach siły tnącej, która może być przenoszona przez poszczególne panele dźwigara na jego długości. Ukształtowanie dźwigara oraz oznaczenia jego charakterystyk geometrycznych przedstawiono na rys. 4.

Rozpatrywane uszkodzenia w postaci ubytków materiału są charakteryzowane przez następujące trzy podstawowe cechy (oznaczenia wg rys. 4):

- lokalizację uszkodzenia – podającą przestrzenne usytuowanie uszkodzenia. Lokalizacja uszkodzenia w obrębie rozpatrywanego panelu jest określona przy użyciu trzech parametrów: x_p – opisującego położenie uszkodzonego panelu na długości przęsła, „środek/żebro” – stringu określającego uszkodzoną część składową dźwigara, oraz P_i – określa położenie pojedynczego uszkodzenia na powierzchni danej części składowej dźwigara (patrz rys. 5), zgodnie ze wzorem:

$$L = [[x_p, „środek / żebro”], [P_i, …]] \quad (1)$$

gdzie $i \in \langle 1 \div 9 \rangle$ dla uszkodzeń środka oraz $i \in \langle 1 \div 4 \rangle$ w przypadku uszkodzeń żebra poprzecznego,

- rozległość uszkodzenia – charakteryzującą wielkość obszaru występowania uszkodzenia wewnątrz danej ścianki środka. Rozległość uszkodzenia w obrębie danej części składowej (panelu lub przyległego do niego żebra poprzecznego) określana jest jako procentowy udział powierzchni obszarów uszkodzonych $\sum A_{pi}^d$ w całej powierzchni rozpatrywanego elementu $\sum A_{pi}$, zgodnie ze wzorem:

$$E = \frac{\sum A_{pi}^d}{\sum A_{pi}} \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie $A_{pi} = \frac{a}{3} \cdot \frac{h_w}{3}$ lub $A_{pi} = b_s \cdot \frac{h_w}{4}$, odpowiednio dla uszkodzeń środka i żebra,

- intensywność uszkodzenia – opisującą poziom zaawansowania uszkodzenia w polu P_i . Wartości funkcji intensywności uszkodzenia jest równa procentowemu ubytkowi grubości ścianki środka w poszczególnych polach P_i i jest wyrażona wzorem:

$$I^s = \frac{\Delta t_w}{t_w} \cdot 100\% \quad \text{lub} \quad I^z = \frac{\Delta t_z}{t_z} \cdot 100\%, \quad (3)$$

odpowiednio dla uszkodzeń środka i żebra.

W celu zgromadzenia wiedzy niezbędnej do stworzenia systemu ekspertowego, wybrane konstrukcje blachownicowych przęseł mostowych poddano numerycznym analizom geometrycznym i fizycznie nieliniowym z imperfekcjami (GMNIA). Ogólny schemat zastosowanej procedury oceny nośności dźwigarów głównych przęseł blachownicowych przedstawia rys. 5. Obliczenia przeprowadzono Metodą Elementów Skończonych z wykorzystaniem modeli klasy e^2, p^3 (prze-strzenny układ dwuwymiarowych elementów powłokowych) [2]. Łącznie przeanalizowano kilka tysięcy przypadków konstrukcji o różnych parametrach geometrycznych oraz o różnych cechach uszkodzeń (lokalizacja, rozległość, intensywność). Przeprowadzone analizy numeryczne umożliwiły określenie nośności granicznej konstrukcji przy ścinaniu oraz jej analizę we wszystkich fazach – sprężystej, nadkrytycznej, nośności granicznej i zniszczenia, z uwzględnieniem zastępczych imperfekcji geometrycznych poszczególnych elementów dźwigarów oraz sprężysto-plastycznej (bilinearnej) charakterystyki materiału z izotropowym wzmocnieniem. Uzyskane wyniki wykorzystano do stworzenia bazy wiedzy, stanowiącej podstawę systemu „NOBLA”.

Wykorzystanie prezentowanego systemu ekspertowego wymaga wykonania następujących podstawowych kroków:

- zdefiniowanie geometrii rozpatrywanego dźwigara blachownicowego przez podanie jego podstawowych wymiarów (rys. 6a),
- charakteryzowanie uszkodzeń środka stwierdzonych w wyniku przeglądu obiektu – dla każdego rozpatrywanego panelu (rys. 6b) – przy użyciu parametrów opisu uszkodzeń (lokalizacja, rozległość i intensywność),
- zdefiniowanie parametrów uszkodzeń żebra poprzecznego przyległego do analizowanego panelu na podstawie zadeklarowanych wartości intensywności uszkodzenia w poszczególnych obszarach P_i (rys. 6c),
- analiza wyników przedstawionych przez system ekspertowy (rys. 6d) – wykorzystując model uszkodzeń rozpatrywanej sekcji dźwigara, narzędzie ekspertowe „NOBLA” określa nośność dźwigarów głównych przy ścinaniu w analizowanym panelu bez uwzględniania uszkodzeń, z uwzględnieniem stwierdzonych uszkodzeń, jak również wskaźniki uszkodzenia określające wpływ uszkodzeń na nośność dźwigarów.

Wykorzystanie prezentowanego systemu ekspertowego wymaga wykonania następujących podstawowych kroków:

- zdefiniowanie geometrii rozpatrywanego dźwigara blachownicowego przez podanie jego podstawowych wymiarów (rys. 6a),
- charakteryzowanie uszkodzeń środka stwierdzonych w wyniku przeglądu obiektu – dla każdego rozpatrywanego panelu (rys. 6b) – przy użyciu parametrów opisu uszkodzeń (lokalizacja, rozległość i intensywność),
- zdefiniowanie parametrów uszkodzeń żebra poprzecznego przyległego do analizowanego panelu na podstawie zadeklarowanych wartości intensywności uszkodzenia w poszczególnych obszarach P_i (rys. 6c),
- analiza wyników przedstawionych przez system ekspertowy (rys. 6d) – wykorzystując model uszkodzeń rozpatrywanej sekcji dźwigara, narzędzie ekspertowe „NOBLA” określa nośność dźwigarów głównych przy ścinaniu w analizowanym panelu bez uwzględniania uszkodzeń, z uwzględnieniem stwierdzonych uszkodzeń, jak również wskaźniki uszkodzenia określające wpływ uszkodzeń na nośność dźwigarów.

Podsumowanie

Zagadnienia związane z zarządzaniem infrastrukturą mostową stanowią przedmiot wielu prac naukowo-badawczych oraz rozwojowych prowadzonych w większości rozwiniętych gospodarczo krajów, a także są tematem współpracy na forum międzynarodowym (np. projekty badawcze „Sustainable Bridges” [5], [11], „SAMCO” [12]).

Wśród tematów prowadzonych prac badawczych znaczące miejsce zajmują zagadnienia zastosowań narzędzi ekspertowych wykorzystujących komputerową reprezentację wiedzy do wspomagania procesów decyzyjnych w zarządzaniu infrastrukturą mostową. Problematyka ta jest także obecna w badaniach prowadzonych w naszym kraju – zarówno w pracach na stopniu naukowym (m. in. [1], [14], [15], [17]), jak i w ramach ogólnokrajowych projektów badawczych:

- „Komputerowe wspomaganie zarządzania infrastrukturą mostową z wykorzystaniem narzędzi ekspertowych” – projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (2007-2010),
- „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju”, projekt realizowany w ramach „Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka”, finansowany z funduszy Unii Europejskiej oraz Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (2010-2014).

Dotychczasowe doświadczenia i rezultaty uzyskane w trakcie prac badawczych oraz wdrożeniowych potwierdzają poprawność przyjętych kierunków rozwoju technologii komputerowej reprezentacji wiedzy oraz praktyczną przydatność systemów ekspertowych w rozwiązywaniu nawet tak trudnych zagadnień jak ocena nośności konstrukcji z uszkodzeniami. Obiecujące wyniki prowadzonych prac naukowo-badawczych oraz pilotażowych implementacji stwarzają możliwości opracowania i wdrożenia w nieodległej przyszłości nowej generacji systemów wspomagających zarządzanie infrastrukturą mostową, odpowiadających aktualnym potrzebom w tym zakresie. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Bień J.: Modelowanie obiektów mostowych w procesie ich eksploatacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2002.
- [2] Bień J.: Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych. WKŁ, 2010.
- [3] Bień J.: Modelling of structure geometry in Bridge Management Systems, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2011, Vol. XI, No. 3, s. 519–532.
- [4] Bień J., Bień B., Banakiewicz A., Gładysz M., Kamiński T.: Knowledge-based expert tools in bridge management, 5th International Conference “Bridge Maintenance, Safety, Management and Life-Cycle Optimization”, 2010, s. 575–582.

- [5] Bień J., Gładysz M.: Sustainable Bridges – Research Project of European Community, 6th International Bridge Engineering Conference, 2005, s. 501-508.
- [6] Bień J., Król D., Rawa P., Zwolski J.: Komputerowe wspomaganie przeglądów obiektów mostowych w systemie SMOK. Inżynieria i Budownictwo, 2006, nr 7–8, s. 384–390.
- [7] Bień J., Kużawa M., Bień B.: To See is to Know: Visualization in Bridge Inspection and Management, 5th International Conf. "Bridge Maintenance, Safety, Management and Life-Cycle Optimization", 2010, s. 267–574.
- [8] Bień J., Kużawa M.: Assessment of time-dependent load capacity of corroded bridge plate girders, XII International Conf. "Metal Structures", 2011, s. 356-363.
- [9] Bień J., Rawa P.: Hybrid Knowledge Representation in BMS, Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2004, Vol. IV, No. 1, s. 41–55.
- [10] Bień J., Rewiński S.: SMOK - kompleksowy system zarządzania mostami kolejowymi, Inżynieria i Budownictwo, 1996, nr 3, s. 180-184.
- [11] Guideline for Inspection and Condition Assessment of Railway Bridges. 2007, www.sustainablebridges.net.
- [12] Guideline for the Assessment of Existing Structures, Final Report. Research Project "Structural Assessment Monitoring and Control – SAMCO", 2006.
- [13] Hutnik A., Bednarczyk M., Trochymiak W.: Modernizacja Systemu Gospodarki Mostowej. Drogownictwo, 2001, nr 2, s. 54–57.
- [14] Kamiński T.: Nośność graniczna przęseł mostów murowanych z uwzględnieniem wpływu uszkodzeń (rozprawa doktorska), Raporty Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Nr PRE-1/2008, 2008.
- [15] Kużawa M.: Nośność graniczna przy ścinaniu blachownicowych dźwigarów mostowych z uwzględnieniem wpływu uszkodzeń (rozprawa doktorska), Raporty Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Nr PRE-1/2013, 2013.
- [16] Knosala i in.: Zastosowania metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji, WNT, 2002.
- [17] Maksymowicz M.: Evaluation of load capacity of concrete railway slab spans with defects, PhD Thesis, University of Minho, Portugal, 2008.
- [18] Masters T. Sieci neuronowe w praktyce. WNT, 1996.
- [19] Osowski S.: Sieci neuronowe do przetwarzania informacji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2000.
- [20] Panorama of Transport. Office for Official Publications of the European Community, 2011.
- [21] Piegat A.: Modelowanie i sterowanie rozmyte. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, 1999.
- [22] Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L.: Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte. PWN, 1999.
- [23] Yager R.R., Filev D.P.: Podstawy modelowania i sterowania rozmytego, WNT, Warszawa, 1995.
- [24] Zadeh L.A.: Making Computers Think Like People. IEEE Spectrum, 1984, s. 26–32.

Materiały źródłowe do artykułu:

Czech K. R.: „Wpływ rodzaju nawierzchni drogowej i obciążeń dynamicznych od pojazdów na poziom drgań powierzchniowych propagowanych do otoczenia”, s. 11-17

- [1] Bata M.: Effects on buildings of vibrations caused by traffic. Building Science, Vol. 6, 1972, s. 221-246.
- [2] Ciesielski R., Maciąg E.: Drgania drogowe i ich wpływ na budynki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1990.
- [3] Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E.: Ocena wpływu wibracji na budowle i ludzi w budynkach. ITB, Warszawa, 1993.
- [4] Fung Y. C.: Podstawy mechaniki ciała stałego (tłum. z angielskiego). PWN, Warszawa, 1969.
- [5] Leonard D. R., Grainer J. W., Eyre R.: Loads and vibrations caused by eight commercial vehicles with gross weights exceeding 32 tons. Transport and Road Research Laboratory. Laboratory Report 582, 1974.
- [6] Maciąg E.: Interakcja układu budynek - podłoże gruntowe w świetle doświadczalnego badania drgań parasejsmicznych. Inżynieria Morska i Geotechnika. 2006, nr 4.
- [7] Maciąg E.: Oceny oddziaływań dróg i ruchu drogowego na otoczenie w zakresie drgań. GDDP – Oceny oddziaływań dróg na środowisko. Aneks C.
- [8] Maciąg E., Tatar T., Chełmecki J.: Badania drgań gruntu i niskich budynków od wpływu komunikacji miejskiej. Inżynieria i Budownictwo, Nr 3/2005.
- [9] Stypuła K.: Rola podłoża gruntowego w przenoszeniu oddziaływań parasejsmicznych na budowle. XX Ogólnopolska konferencja Warsztat pracy projektanta konstrukcji. Wisła – Ustroń. 2005.
- [10] Whiffin A. C., Leonard D. R.: A survey of traffic-induced vibrations. Road Research Laboratory. Report LR 418, Crowthorne, Berkshire, 1971.
- [11] Instrukcja 348/98. Diagnostyka dynamiczna i zabezpieczenia istniejących budynków mieszkalnych przed szkodliwym działaniem drgań na właściwości użytkowe budynków. ITB, Warszawa, 1998.
- [12] PN-85/B-02170 – Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.