

# Algorytmy wspomagające proces zarządzania drogowymi obiektami inżynierskimi



LUCJAN JANAS

Politechnika Rzeszowska  
ljanas@prz.edu.pl



ADAM KASZYŃSKI

Generalna Dyrekcja Dróg  
Krajowych i Autostrad  
akaszynski@gddkia.gov.pl



BARTOSZ MILLER

Politechnika Rzeszowska  
bmiller@prz.edu.pl

Na sieci dróg krajowych w Polsce znajduje się obecnie ponad 7,3 tys. obiektów mostowych. Obiektywne ustalenie, które obiekty należy remontować w pierwszej kolejności stwarza wiele trudności i w praktyce, przy tak dużej liczbie obiektów, jest niemożliwe. Zarządca dróg krajowych, tj. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, poszukiwał narzędzia, które oparte na istniejących bazach danych o obiektach mostowych ułatwi podejmowanie decyzji dotyczących kolejności remontów, tj. utworzy listę rankingową. Autorzy artykułu opracowali algorytm obliczeniowy pozwalający na utworzenie takiej listy.

Ważnym kryterium decydującym o kolejności remontu obiektu mostowego jest stan techniczny. Ocena stanu technicznego jest uzyskiwana w trakcie przeglądów wykonywanych co najmniej raz w roku, zgodnie z [3]. Poszczególne elementy konstrukcji i wyposażenia są oceniane w skali sześciostopniowej, od 0 do 5 (tab. 1). Wynikiem końcowym przeglądu jest tzw. ocena

na całego obiektu, która jest najmniejszą liczbą:

- ze średniej arytmetycznej oceny wszystkich elementów ocenianych w czasie przeglądu,
- z oceny konstrukcji pomostu,
- z oceny konstrukcji dźwigarów głównych,
- z oceny podpór.

Z praktyki wiadomo, że niekiedy konstrukcje, które miały wyższą ocenę (lepszy stan techniczny) wymagały wcześniejszego podjęcia działań utrzymaniowych, niż obiekty z niższą oceną stanu technicznego. Przyczyną było np. zagrożenie bezpieczeństwa wynikające z braku chodników, zbyt mała skrajnia na obiekcie lub pod nim. Ocena stanu technicznego jest więc ważnym czynnikiem wpływającym na kolejność remontów, ale nie oddaje w pełni i zadowalający sposób wszystkich istotnych cech obiektu. Problem ten został szerzej omówiony m.in. w [2].

Kolejnym, ważnym czynnikiem, który powinien mieć wpływ na pilność remontu jest bezpieczeństwo ruchu publicznego i konstrukcji. Na bezpieczeństwo ruchu publicz-

Tabela 1. Skala i kryteria oceny stanu technicznego elementów mostu [3]

Ocena	Stan	Opis stanu elementu
5	odpowiedni	bez uszkodzeń i zanieczyszczeń możliwych do stwierdzenia podczas przeglądu
4	zadowalający	wykazuje zanieczyszczenia lub pierwsze objawy uszkodzeń pogarszających wygląd estetyczny
3	niepokojący	wykazuje uszkodzenia, których nienaprawienie spowoduje skrócenie okresu bezpiecznej eksploatacji
2	niedostateczny	wykazuje uszkodzenia obniżające przydatność użytkową, ale możliwe do naprawy
1	przedawaryjny	wykazuje nieodwracalne uszkodzenia dyskwalifikujące przydatność użytkową
0	awaryjny	uległ zniszczeniu lub przestał istnieć

nego wpływa np. stan jezdni, chodników, balustrad, barier ochronnych, szerokość i wysokość skrajni. Bezpieczeństwo konstrukcji zależy głównie od stanu technicznego przęsła, pomostu i podpór. Należy również wziąć pod uwagę nośność oraz dopuszczalną prędkość przejazdu po obiekcie. Powyższe parametry opisują tzw. „przydatność do użytkowania” i są oceniane w ramach przeglądów w skali 0, 2 lub 5, zgodnie z tab. 2.

Tabela 2. Skala i kryteria oceny przydatności do użytkowania [3]

Ocena	Przydatność do użytkowania	Kryterium oceny
5	odpowiednia	parametr spełnia lub przewyższa wymagania użytkowników
2	ograniczona	parametr nie spełnia uzasadnionych oczekiwań użytkowników lub spełnia je częściowo – nie wymaga się natychmiastowych prac remontowych lub przebudowy
0	niedostateczna	parametr nie spełnia uzasadnionych oczekiwań użytkowników – wymagane jest natychmiastowe przeprowadzenie prac interwencyjnych, pilne wykonanie remontu lub przebudowy obiektu

Aby oceny stanu technicznego i przydatności do użytkowania były miarodajne opracowano *Zasady stosowania skali ocen punktowych stanu technicznego i przydatności do użytkowania drogowych obiektów inżynierskich* [4], w których przedstawiono szereg przykładów. Prowadzone są także specjalistyczne szkolenia dla inspektorów mostowych.

Na decyzje dotyczące remontów wpływają także: klasa drogi, w ciągu której obiekt się znajduje, natężenie ruchu

i długość objazdu. Istotna jest również lokalizacja obiektu. Mosty w obszarach przemysłowych i w aglomeracjach miejskich powinny być wcześniej remontowane, ponieważ zakłócenia ruchu drogowego na takich obszarach będą mieć większy wpływ na gospodarkę i życie mieszkańców niż zakłócenia ruchu na obszarach niezabudowanych, wiejskich. Jako priorytetowe uznano również utrzymanie konstrukcji zabytkowych – ze względu na dane dostępne w komputerowym Systemie Gospodarki Mostowej wyróżniono dwie klasy obiektów, tj. zabytkowy i niezabytkowy.

## Dane liczbowe do tworzenia list rankingowych

W pierwszej kolejności określono parametry i współczynniki, które mają wpływ na kolejność remontów i które pozwolą ustalić listę rankingową. Przyjęto, że listy rankingowe będą tworzone na podstawie trzech głównych współczynników:

- współczynnika stanu technicznego:  $W_s$ ,
- współczynnika bezpieczeństwa:  $W_b$ ,
- współczynnika znaczenia (rangi) obiektu dla sieci dróg:  $W_z$ .

### Współczynnik stanu technicznego

Współczynnik stanu technicznego  $W_s$  jest równy „ocenie całego obiektu” otrzymanej w wyniku ostatniego przeglądu podstawowego lub rozszerzonego, wykonanego zgodnie z [3] i [4].

### Współczynnik bezpieczeństwa

Współczynnik  $W_b$  uwzględnia bezpieczeństwo użytkowników i bezpieczeństwo konstrukcji. Jest obliczany jako średnia arytmetyczna z czterech współczynników częściowych, którymi są:

- a) współczynnik bezpieczeństwa ruchu publicznego, otrzymywany w czasie oceny przydatności do użytkowania, dokonywanej w ramach przeglądów rozszerzonych. Wartość współczynnika jest przyjmowana następująco:
  - $W_{b1} = 0$  gdy bezpieczeństwo ruchu jest niedostateczne, przy czym wymagane jest podjęcie natychmiastowych działań interwencyjnych,
  - $W_{b1} = 2$  gdy bezpieczeństwo jest ograniczone, lecz nie wymaga się podjęcia natychmiastowych działań interwencyjnych,
  - $W_{b1} = 5$  gdy bezpieczeństwo jest odpowiednie,
- b) współczynnik stanu technicznego uwzględniający fakt, że prawdopodobieństwo awarii obiektów w złym stanie technicznym jest większe, a zatem bezpieczeństwo takich obiektów jest niższe; współczynnik ten przyjmuje następujące wartości:
  - $W_{b2} = 0$  gdy  $W_s \leq 1$ ,
  - $W_{b2} = 2$  gdy  $1 < W_s < 3$ ,
  - $W_{b2} = 5$  gdy  $W_s \geq 3$ ,
- c) współczynnik nośności przyjmowany zgodnie z oceną dokonaną w ramach przeglądu rozszerzonego; współczynnik ten zależy od nośności użytkowej obiektu ( $N_u$ ) i przyjmuje następujące wartości:

- $W_{b3} = 0$  gdy  $N_u < 30$  t,
  - $W_{b3} = 2$  gdy  $30 \text{ t} \leq N_u < 42$  t,
  - $W_{b3} = 5$  gdy  $N_u \geq 42$  t,
- d) współczynnik rodzaju konstrukcji uwzględniający wpływ rodzaju konstrukcji na bezpieczeństwo; wartości współczynnika należy przyjąć w sposób następujący:
    - $W_{b4} = 0$  w przypadku konstrukcji tymczasowych, w tym mostów składanych, podpór wzmacnianych tymczasowym podparciem, dla dźwigarów uznanych za awaryjne,
    - $W_{b4} = 2$  w przypadku konstrukcji z dźwigarami, które niekiedy ulegały awariom,
    - $W_{b4} = 5$  w przypadku pozostałych konstrukcji.

### Współczynnik znaczenia obiektu dla sieci dróg

Współczynnik znaczenia obiektu  $W_z$  uwzględnia ważność (rangę) obiektu i jego przydatność do użytkowania. Ranga obiektu zależy m.in. od klasy drogi, w ciągu której obiekt się znajduje, natężenia ruchu, lokalizacji, znaczenia historycznego i długości objazdu. Przydatność do użytkowania zależy od nośności, ew. ograniczeń prędkości ruchu na obiekcie, szerokości i wysokości skrajni oraz skrajni pod obiektem. Współczynnik znaczenia obiektu dla sieci dróg jest obliczany jako średnia arytmetyczna z 10 współczynników częściowych. Współczynnikami częściowymi są:

- a) **współczynnik klasy drogi** przyjmowany następująco:
  - $W_{z1} = 0$  w przypadku dróg klasy A i S,  $W_{z1} = 2$  w przypadku dróg klasy GP,  $W_{z1} = 5$  w przypadku dróg klasy G,
- b) **współczynnik natężenia ruchu** uwzględniający oszacowanie jakościowe i ilościowe natężenia ruchu; w oszacowaniu jakościowym wzięto pod uwagę liczbę samochodów ciężarowych przejeżdżających przez obiekt; do celów algorytmu zaproponowano obliczenie wskaźnika średniego dobowego ruchu WSDR ze wzoru:

$$WSDR = SDR + 5 \times SDRSC,$$

w którym:

SDR – średni dobowy ruch pojazdów ogółem,  
 SDRSC – średni dobowy ruch pojazdów ciężarowych (bez przyczep i z przyczepami); składnik  $5 \times SDRSC$  uwzględnia większe znaczenie obiektów, przez które przejeżdża duża liczba pojazdów ciężarowych; koszty społeczne zamknięcia takich obiektów będą większe, niż koszty zamknięcia obiektów, po których przejeżdżają tylko samochody osobowe; współczynnik należy przyjmować w następujący sposób:

- $W_{z2} = 0$  gdy  $WSDR > 25000$ ,
  - $W_{z2} = 2$  gdy  $10000 < WSDR \leq 25000$ ,
  - $W_{z2} = 5$  gdy  $WSDR \leq 10000$ ,
- c) **współczynnik lokalizacji** uwzględniający fakt, że obiekty znajdujące się na obszarze przemysłowym lub obszarze aglomeracji miejskiej mają większe znaczenie dla sieci dróg (gospodarki) niż obiekty na obszarze miasta średniej wielkości, czy też na terenie wiejskim; ze względu na dostępność danych w systemie informatycznym SGM założono następujące wartości współczynnika:
    - $W_{z3} = 2$  jeśli obiekt znajduje się na obszarze miasta,
    - $W_{z3} = 5$  jeśli obiekt jest na obszarze wiejskim,

- d) **współczynnik znaczenia historycznego**, który należy przyjąć następująco:
- $W_{z4} = 0$  w przypadku obiektów zabytkowych,
  - $W_{z4} = 5$  w przypadku obiektów niezabytkowych,
- e) **współczynnik długości objazdu**, który należy przyjąć w sposób następujący:
- $W_{z5} = 0$  gdy długość objazdu wynosi powyżej 50 km lub konieczne jest zbudowanie mostu tymczasowego,
  - $W_{z5} = 2$  gdy długość objazdu wynosi od 5 do 50 km,
  - $W_{z5} = 5$  gdy długość objazdu wynosi poniżej 5 km,
- f) **współczynnik nośności**, który uwzględnia fakt, że obiekty o małej nośności stanowią duże utrudnienie dla ruchu; współczynnik nośności należy przyjąć w następujący sposób:
- $W_{z6} = 0$  gdy  $Nu \leq 30$  t,
  - $W_{z6} = 2$  gdy  $30 \text{ t} < Nu < 42$ ,
  - $W_{z6} = 5$  gdy  $Nu \geq 42$  t,
- g) **współczynnik prędkości ruchu pojazdów**, który należy przyjąć zgodnie z oceną przydatności do użytkowania określoną w przeglądzie rozszerzonym, tj.:
- $W_{z7} = 0$  gdy dopuszczalna prędkość ruchu na obiekcie jest mniejsza o ponad 30 km/h od dopuszczalnej prędkości ruchu na dojazdach,
  - $W_{z7} = 2$  gdy dopuszczalna prędkość ruchu na obiekcie jest mniejsza o 10–30 km/h niż dopuszczalna prędkość na dojazdach,
  - $W_{z7} = 5$  gdy dopuszczalna prędkość na obiekcie jest nie mniejsza niż na dojazdach,
- h) **współczynnik szerokości skrajni** na obiekcie, który należy przyjąć zgodnie z ocenami przydatności do użytkowania stosowanymi w ramach przeglądu rozszerzonego, tj.:
- $W_{z8} = 0$  gdy skrajnia jest niedostateczna,
  - $W_{z8} = 2$  gdy skrajnia jest ograniczona,
  - $W_{z8} = 5$  gdy skrajnia jest odpowiednia,
- i) **współczynnik wysokości skrajni** na obiekcie, który należy przyjąć zgodnie z ocenami przydatności do użytkowania określonymi w ramach przeglądu rozszerzonego, tj.:
- $W_{z9} = 0$  gdy skrajnia jest niedostateczna,
  - $W_{z9} = 2$  gdy skrajnia jest ograniczona,
  - $W_{z9} = 5$  gdy skrajnia jest odpowiednia,
- j) **współczynnik skrajni/światła** pod obiektem, który należy przyjąć zgodnie z oceną przydatności do użytkowania określoną w przeglądzie rozszerzonym, tj.:
- $W_{z10} = 0$  gdy skrajnia/światło pod obiektem jest niedostateczne,
  - $W_{z10} = 2$  gdy skrajnia/światło pod obiektem jest ograniczone,
  - $W_{z10} = 5$  gdy skrajnia/światło pod obiektem jest odpowiednie.

## Algorytmy tworzenia listy rankingowej obiektów wymagających działań remontowych

### Uwagi ogólne

Przystępując do opracowania algorytmu poszukiwano „wzorca odniesienia”. W tym celu powołano zespół 7 eks-

pertów i wybrano 103 obiekty zróżnicowane pod względem stanu technicznego, bezpieczeństwa i znaczenia dla sieci dróg. Ekspertci otrzymali szczegółowy opis każdego obiektu wraz z dokumentacją fotograficzną, wyniki przeglądu rozszerzonego oraz inne dane dostępne w systemach informatycznych GDDKiA. Zadaniem ekspertów było ustalenie optymalnej kolejności remontów. Po analizie, eksperci wypracowali listę rankingową, na początku której znalazły się obiekty wymagające prac remontowych w pierwszej kolejności. Listę tę nazwano „Listą ekspertów”. Zadaniem autorów niniejszego artykułu było opracowanie algorytmu obliczeniowego, który bazując na danych liczbowych będzie tworzył analogiczną listę rankingową bez udziału ekspertów. Podstawowym sprawdzeniem algorytmu będzie oczywiście szeregowanie wybranych 103 obiektów i porównanie wyników szeregowania numerycznego z „Listą ekspertów”. Wstępnie opracowano trzy algorytmy: algorytm z priorytetem stanu technicznego, algorytm z priorytetem bezpieczeństwa i algorytm ekspercki z wykorzystaniem sieci neuronowych.

### Algorytm z priorytetem stanu technicznego

Algorytm ten oparto przede wszystkim na ocenach stanu technicznego. W pierwszej kolejności do napraw wybierano obiekty o najniższej ocenie stanu technicznego  $W_s$ . Jeżeli kilka obiektów miało tę samą ocenę, to o kolejności na liście decydował współczynnik bezpieczeństwa  $W_b$ . Jeżeli występowały obiekty o takiej samej ocenie stanu technicznego i ocenie bezpieczeństwa to o kolejności remontu decydował współczynnik znaczenia obiektu dla sieci dróg  $W_z$ . W praktyce miejsce obiektów na liście rankingowej ustalano na podstawie sortowania, kolejno wg: współczynników stanu technicznego  $W_s$ , współczynników bezpieczeństwa  $W_b$ , współczynników znaczenia obiektu  $W_z$ . Wyniki obliczeń (sortowania) znacznie odbiegały od poglądów ekspertów, np. obiekt, który wg ekspertów powinien być na 38 pozycji listy, wg powyższego algorytmu był sytuowany dopiero na 60 miejscu. Średni błąd określenia pozycji obiektu na liście rankingowej utworzonej w taki sposób wynosił 4.3 pozycji, maksymalny błąd 28 pozycji.

### Algorytm z priorytetem bezpieczeństwa

Kolejny algorytm w pierwszej kolejności uwzględnia współczynnik bezpieczeństwa  $W_b$ . Na początku listy rankingowej zostały usytuowane obiekty o najniższej ocenie bezpieczeństwa. Jeżeli kilka obiektów miało tę samą ocenę, to o ich kolejności decydował współczynnik stanu technicznego  $W_s$ . Jeżeli występowały obiekty o takiej samej ocenie bezpieczeństwa i ocenie stanu technicznego to o kolejności decydował współczynnik znaczenia obiektu dla sieci dróg  $W_z$ . Miejsce obiektów na liście rankingowej jest ustalane na podstawie sortowania, kolejno wg: współczynników  $W_b$ ,  $W_s$  i  $W_z$ . Uzyskana lista lepiej odzwierciedla pogląd ekspertów niż lista z priorytetem stanu technicznego – średni błąd na liście rankingowej wynosił 2.5 pozycji, maksymalny 16 pozycji.

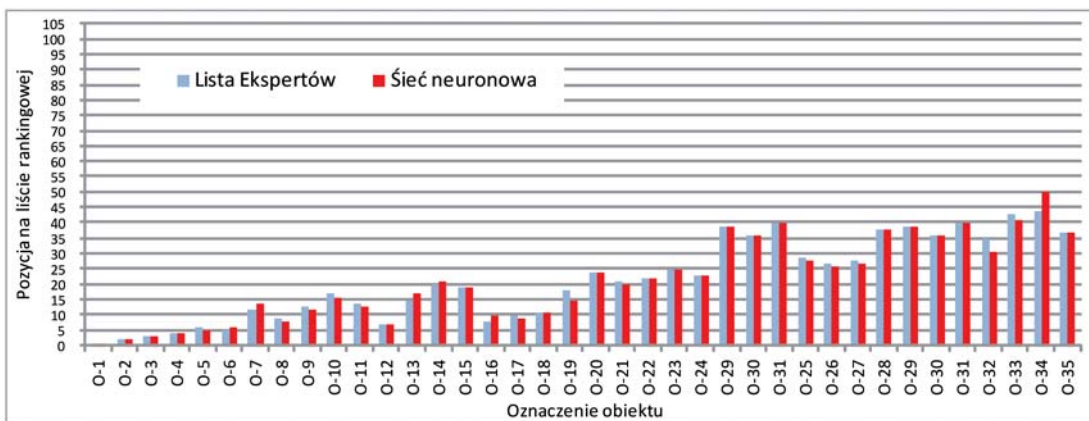


## Algorytm ekspercki z wykorzystaniem sieci neuronowej

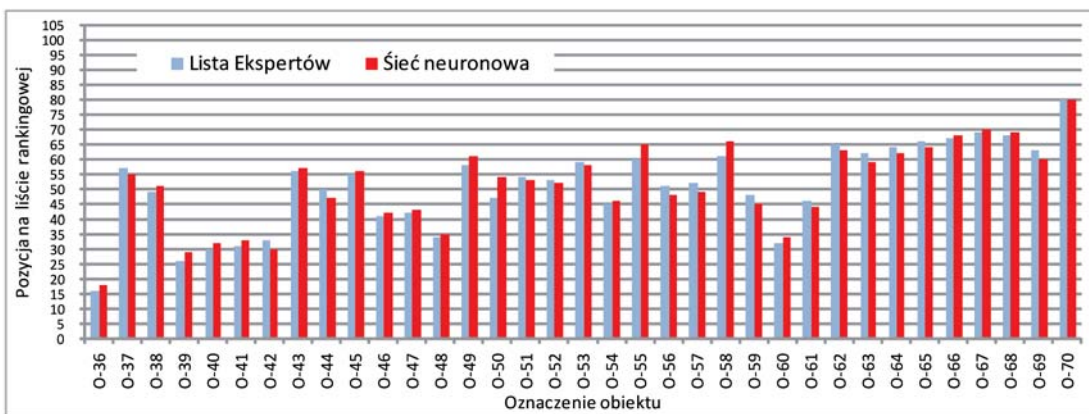
Ponieważ wyżej opisane algorytmy nie dawały zadowalających rezultatów, opracowano kolejny, w którym nie ma potrzeby określania *a priori* ważności współczynników. Podobnie jak poprzednio przyjęto, że szeregowanie drogowych obiektów inżynierskich będzie opierać się na trzech współczynnikach (stanu technicznego, bezpieczeństwa, znaczenia obiektu dla sieci dróg). W celu szeregowania obiektów utworzono sieć neuronową, w której wektor wejściowy ma trzy elementy, a jedyne wyjście jest interpretowane jako liczba punktów pozwalająca umieścić dany obiekt mostowy na odpowiednim miejscu listy rankingowej. W rozważanym zagadnieniu zastosowano sieć warstwową (neurony są zgrupowane w warstwach), jednokierunkową

(sygnał przechodzi przez sieć w jednym kierunku: od wejść do wyjść, nie ma żadnych sprzężeń zwrotnych), o wstecznej propagacji błędów (swobodne parametry sieci są ustalane na podstawie błędów obliczonych w przypadku wektorów wyjściowych). Sieci tego typu szerzej opisano m.in. w [1, 5].

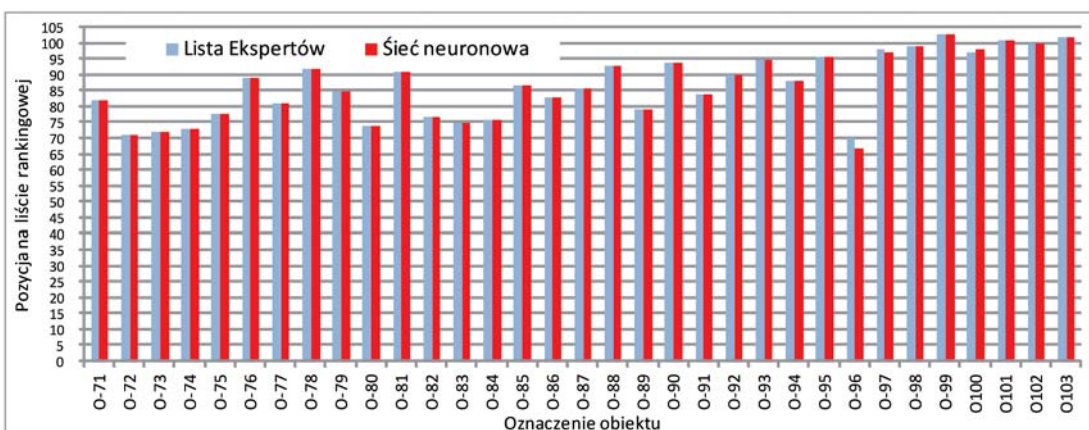
W celu ustalenia optymalnej architektury sieci oraz wartości jej parametrów (wag i biasów) potrzebna jest baza danych, która zawiera rzetelne informacje obejmujące pełny zakres zmiennych wejściowych, występujących z dużym prawdopodobieństwem w rzeczywistości. Baza powinna obejmować dane wejściowe i odpowiadające zmienne wyjściowe (wzorce). W omawianym zadaniu dysponowano łącznie 103 wzorcami, z czego 62 wykorzystano podczas uczenia sieci, do weryfikacji wykorzystano 21 wzorców (obiektów) i do testowania 21. Końcowe testowanie wyko-



Rys. 1. Porównanie pozycji obiektu na „Liście ekspertów” z pozycją na liście utworzonej z wykorzystaniem sieci neuronowej – obiekty od O-1 do O-35

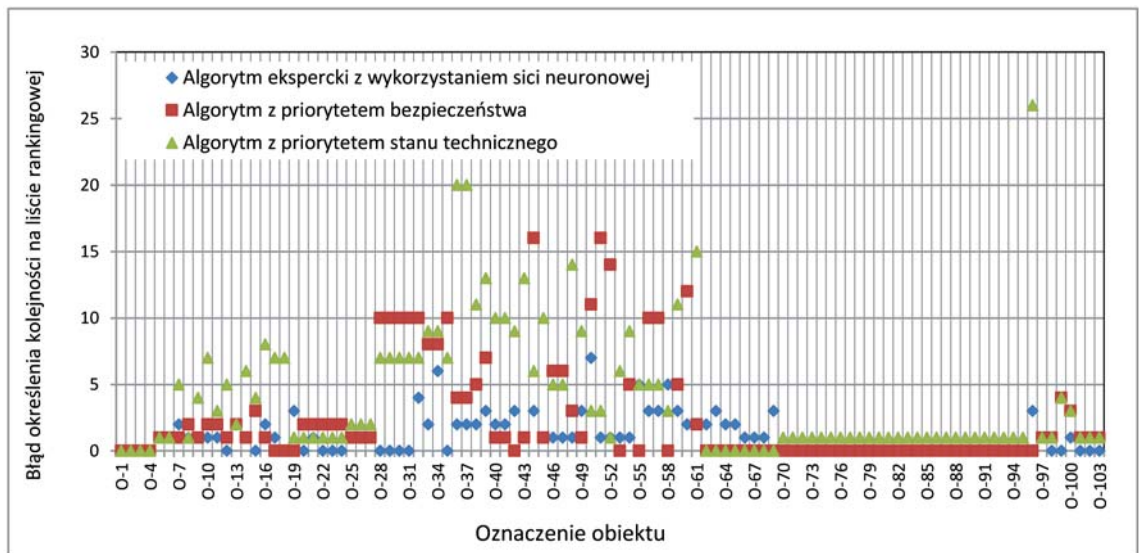


Rys. 2. Porównanie pozycji obiektu na „Liście ekspertów” z pozycją na liście utworzonej z wykorzystaniem sieci neuronowej – obiekty od O-36 do O-70



Rys. 3. Porównanie pozycji obiektu na „Liście ekspertów” z pozycją na liście utworzonej z wykorzystaniem sieci neuronowej – obiekty od O-71 do O-103

Rys. 4. Zestawienie błędów określenia pozycji obiektów mostowych na listach rankingowych



nano na dodatkowych wzorcach, które zostały utworzone po zakończeniu procesu doboru i uczenia sieci. Ostatecznie przyjęto liczbę neuronów ukrytych równą 3 i ustalono architekturę 3-3-1. Średni błąd określenia miejsca obiektu na liście rankingowej utworzonej z wykorzystaniem sieci neuronowej wynosi 1.1 pozycji, maksymalny błąd 7 pozycji.

Na rysunkach od 1 do 3 porównano wzorcową „Listę ekspertów” z listą uzyskaną na podstawie obliczeń z wykorzystaniem sieci neuronowej. Widoczna jest dobra zgodność obu list. Największą rozbieżność można zauważyć w przypadku obiektu oznaczonego O-34 (rys. 1), dla którego eksperci ustalili 43 pozycję na liście a algorytm oparty na sieci neuronowej 50 pozycję.

Na rysunku 4 porównano błędy usytuowania obiektów na listach rankingowych, utworzonych trzema omówionymi algorytmami, w odniesieniu do „Listy ekspertów”. Można zauważyć, że algorytm ekspercki, oparty na sieciach neuronowych daje zdecydowanie najlepsze wyniki, najbliższe oczekiwaniom Ekspertów.

## Podsumowanie i wnioski

Kluczem do tworzenia miarodajnych list rankingowych jest wiarygodna, poprawna baza danych. W związku z tym konieczne jest systematyczne prowadzenie kontroli poprawności danych, prowadzenie dodatkowych szkoleń dla inspektorów mostowych (szczególnie w zakresie ocen przydatności do użytkowania) oraz gromadzenie i przetwarzanie danych z przeglądów w sposób poprawny i regularny.

Ponieważ algorytm ekspercki, oparty na sieciach neuronowych, daje najlepsze i zadowalające efekty, został wskazany jako podstawowy do tworzenia listy rankingowej. Algorytm ten już od kilku lat jest stosowany w administracji GDDKiA. Zalecono, aby w pierwszych latach tworzenia list rankingowych, w celach porównawczych, stosowano również pozostałe dwa algorytmy. Zalecenie takie nie pociąga zwiększonych kosztów tworzenia list – wszystkie algorytmy opierają się na tej samej bazie danych.

Opracowany algorytm jest stosowany nie tylko w odnie-

sieniu do obiektów mostowych. Obejmie również pozostałe rodzaje drogowych obiektów inżynierskich – tj. przepusty, tunele i konstrukcje oporowe.

Oczywiście celem algorytmu jest jedynie wspomaganie zarządzania drogowymi obiektami inżynierskimi i ułatwienie obiektywnego wyboru spośród zbioru kilku tysięcy obiektów tych, które wymagają napraw w pierwszej kolejności. Algorytm nie zastąpi kadry inżynierskiej zarządzającej infrastrukturą drogową, ma jedynie pomagać podejmować racjonalne decyzje a tym samym przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa i do coraz bardziej efektywnego wykorzystania środków budżetowych.

Opracowany algorytm z powodzeniem może być również stosowany przez innych zarządców dróg publicznych, w zarządzie których znajduje się bardzo duża liczba drogowych obiektów inżynierskich. W zasadzie jedynym warunkiem stosowania jest to, aby oceny punktowe stanu technicznego i przydatności do użytkowania wystawiane w trakcie obowiązkowych kontroli rocznych i pięcioletnich były zgodne z „Zasadami stosowania skali ocen punktowych stanu technicznego i przydatności do użytkowania drogowych obiektów inżynierskich” [4].

## Bibliografia

- [1] Miller, B. (2010), Application of Semi-Bayesian Neural Networks in the Identification of Load Causing Beam Yielding, in Konstantinos Diamantaras; Wlodek Duch & Lazaros Iliadis, ed., 'Artificial Neural Networks – ICANN 2010', Springer Berlin / Heidelberg, , pp. 97-100.
- [2] Woodward R. J., et al.: Bridge Management in Europe (BRIME) – Final Report, Project funded by the European Commission under the Transport Rtd. Programme of the 4<sup>th</sup> Framework Program, 2001
- [3] Zarządzenie GDDKiA nr 14/2005, Instrukcje przeprowadzania przeglądów drogowych obiektów inżynierskich, GDDKiA, Warszawa 2005 (opr. Janas L., Jarominiak A., Michalak E.)
- [4] Zarządzenie GDDKiA nr 64/2008, Zasady stosowania skali ocen punktowych stanu technicznego i przydatności do użytkowania drogowych obiektów inżynierskich, Warszawa 2008 (opr. Janas L., Michalak E.)
- [5] Ziemiański, L.; Miller, B. & Piątkowski, G. (2007), *Intelligent Computational Paradigms in Earthquake Engineering*, Idea Publishing Group, chapter Application of Neurocomputing to Parametric Identification Using Dynamic Responses, pp. 362–392.