

KONCEPCJA WSKAŹNIKA SYNTETYCZNEJ OCENY ROZJAZDÓW KOLEJOWYCH

Zbigniew Kędra

Dr inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Transportu Szynowego, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, e-mail: kedra@pg.gda.pl

Streszczenie. *W artykule przedstawiono metodę quasi-ciągłego pomiaru szerokości toru i różnicy wysokości toków szynowych w rozjazdach kolejowych za pomocą toromierzy ręcznych. Na podstawie otrzymanych pomiarów wyznaczono wskaźniki charakteryzujące stan utrzymania rozjazdu oraz przedstawiono koncepcję budowy wskaźnika syntetycznego. Do konstrukcji wskaźnika syntetycznej oceny geometrii rozjazdów kolejowych wykorzystano statystyczną metodę wielowymiarowej analizy porównawczej.*

Słowa kluczowe: *rozjazdy kolejowe, diagnostyka rozjazdów, pomiary rozjazdów*

1. Wprowadzenie

Jednym z bardziej złożonych problemów związanych z diagnostyką dróg kolejowych jest ocena stanu rozjazdów i skrzyżowań torów, szczególnie w warunkach niedoboru środków finansowych na ich prawidłowe utrzymanie. W wyniku ograniczenia napraw rozjazdów kolejowych, w znacznym stopniu są przekraczane obowiązujące odchyłki dopuszczalne. Taki stan prowadzi do przyspieszonej degradacji elementów rozjazdu, a w konsekwencji również do zmniejszenia bezpieczeństwa, a nawet wykolejenia pojazdów szynowych.

Obowiązująca obecnie instrukcja o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów [7] wskazuje na konieczność wykonania pomiarów szerokości toru i żłobków oraz przechyłki w sposób dyskretny, w miejscach wskazanych w arkuszu badania technicznego. W praktyce w rozjazdach zwyczajnych o promieniu $R \leq 300$ m, pomiar szerokości toru i różnicy wysokości toków szynowych wykonywany jest w ośmiu przekrojach (a , b , c , c_1 , d , d_1 , e i e_1). Dodatkowo wykonywany są pomiary: szerokości żłobków (i , i_1 , h , h_1); szerokość prowadzenia w krzyżownicy (f , f_1); minimalnej odległości pomiędzy odlegującą iglicą a opornicą (z , z_1) oraz przylegania iglicy do opornicy, opórek iglicowych i siodełek podiglicowych.

Plan utrzymania rozjazdów i skrzyżowań torów musi również uwzględniać dopuszczalne wartości eksploatacyjne parametrów zapisanych w Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności. Wartości graniczne, których nie należy przekraczać w eksploatacji, ustalone zostały jako granica działań bezpośrednich [3].

Do oceny geometrii rozjazdów kolejowych wykorzystuje się również pomiary ciągłe wykonane drezyną pomiarową lub toromierzem samorejestrującym [8, 9]. Dane uzyskane w ten sposób pozwalają dodatkowo na ocenę nierówności pionowych i poziomych oraz wchrowatości i gradientu szerokości toru.

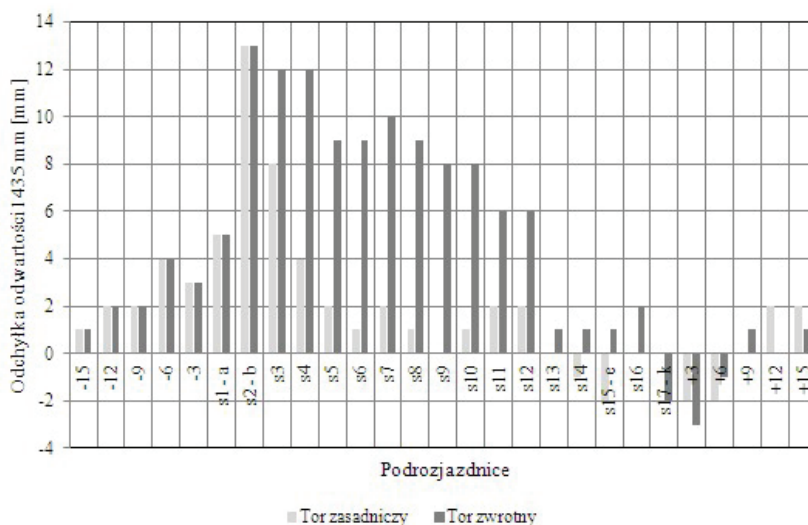
Duża liczba zmiennych diagnostycznych oraz różne metody pozyskiwania danych pomiarowych mogą być z powodzeniem wykorzystywane w procesie utrzymania, na najniższym poziomie, tj. w Sekcji Eksploatacji. Jednocześnie stan ten bardzo często uniemożliwia syntetyczną ocenę stanu infrastruktury, przydatną na wyższym poziomie zarządzania, np. Zakładu Linii Kolejowych.

W artykule przedstawiono koncepcję konstrukcji wskaźnika syntetycznej oceny stanu geometrii rozjazdów kolejowych z wykorzystaniem statystycznych metod wielowymiarowej analizy porównawczej.

2. Quasi-ciągły pomiar geometrii rozjazdów

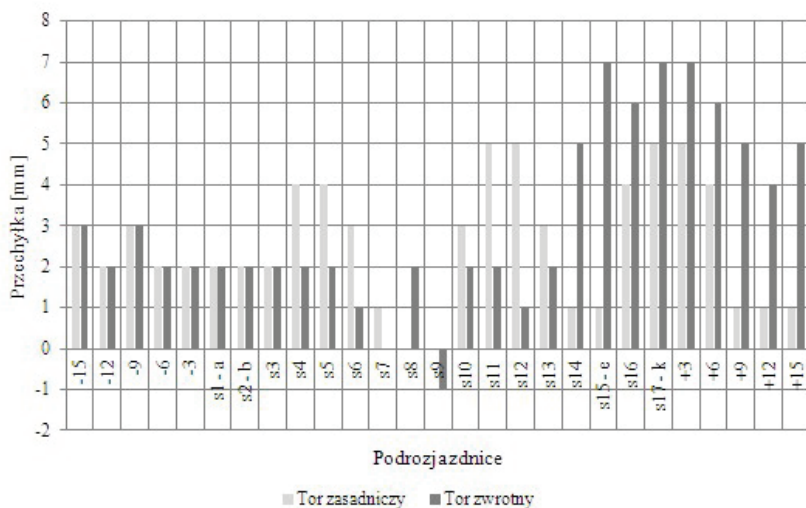
Pomiar szerokości toru i różnicy wysokości toków szynowych wykonany został toromierzem ręcznym zgodnie z normą [4], w zakresie odbioru robót prowadzonych w torach i rozjazdach na podsypce. Na długości rozjazdu pomiary wykonane zostały na początku rozjazdu (s1-przekrój a), w styku przedglicowym (s2-b), następnie co trzecią podrozjazdnicę, aż do dzioba krzyżownicy (s15-e) i na końcu rozjazdu (s17-k). Dodatkowo pomierzone zostały odcinki toru przyległe, przed i za rozjazdem kolejowym, co trzeci podkład (3, 6, 9, 12, 15), tj. na długości około 9 metrów z każdej strony [6, 10, 11].

Na rysunku 1 przedstawiono wykres odchyłek szerokości toru od wartości 1435 mm, w torze zasadniczym i zwrotnym w rozjeździe kolejowym Rz 60E1-190-1:9-lssd.



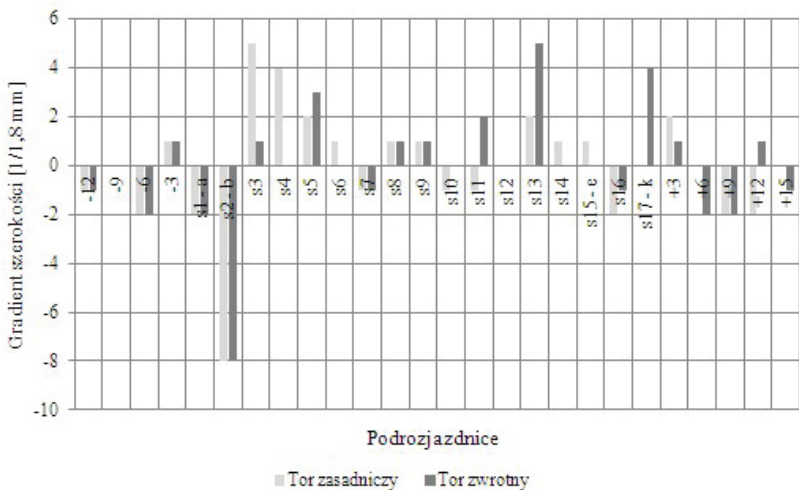
Rys. 1. Wykres odchyłek szerokości toru

W tych samych miejscach wykonano pomiary różnicy wysokości toków szynowych (przechyłki), a wyniki przedstawiono na rysunku 2.

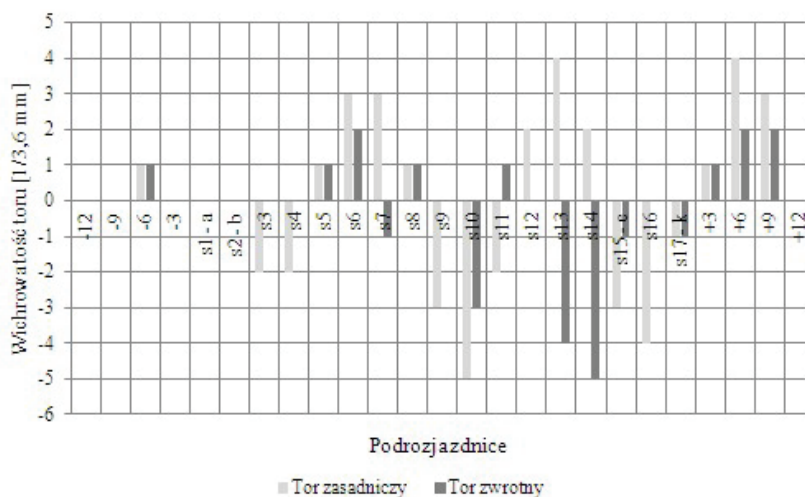


Rys. 2. Wykres różnicy wysokości toków szynowych

Na podstawie pomierzonej szerokości toru i różnicy wysokości toków szynowych (przechyłki) obliczony został gradient szerokości toru (rys. 3) na długości trzech podrozjazdnic (tj. 1,8 m) oraz wchrowatość toru (rys. 4) na długości sześciu podrozjazdnic (tj. 3,6 m).



Rys. 3. Wykres gradientu szerokości toru



Rys. 4. Wykres wibrowalności toru

3. Wskaźniki oceny geometrii rozjazdów kolejowych

Podstawą oceny geometrii rozjazdów kolejowych są dyskretne pomiary szerokości toru i żłobków oraz różnicy wysokości toków szynowych (przechyłki), wykonane zawsze w tych samych przekrojach [7].

Do oceny stanu rozjazdu kolejowego na podstawie pomiarów wykonanych w sposób dyskretny można stosować wskaźniki względne opisane w pracach [1,2]:

- wskaźnik syntetycznej dokładności utrzymania rozjazdów J_r , wyrażony w postaci:

$$J_r = \sum_{i=1}^n \frac{|\delta_i|}{n} \quad (1)$$

gdzie:

n – liczba miejsc, gdzie wykonywany jest pomiar szerokości toru i żłobków,
 δ_i – odchyłka od wymiaru nominalnego w przekroju i .

- wskaźnik maksymalnego przekroczenia odchyłki dopuszczalnej S_{pm} , opisany wyrażeniem:

$$S_{pm} = \frac{|x_{extr}|}{a} \quad (2)$$

gdzie:

x_{extr} – ekstremalna wartość pomierzona,
 a - górna lub dolna odchyłka dopuszczalna.

- wskaźnik rozległości przekroczeń E, który przedstawia informację o ogólnym stanie rozjazdu:

$$E = 100 \frac{w}{n[\%]} \quad (3)$$

gdzie:

w – liczba pomiarów szerokości torów i żłobków przekraczających odchyłki dopuszczalne.

- wskaźnik powtarzalności przekroczeń P, mówiący o częstotliwości wystąpienia przekroczeń odchyłek dopuszczalnych w tych samych przekrojach:

$$P = 100 \frac{r}{n} [\%] \quad (4)$$

gdzie:

r – liczba pomiarów, w których powtarzają się przekroczenia odchyłek dopuszczalnych.

Wskaźniki względne opisujące stan rozjazdu kolejowego mogą być również stosowane przy pomiarach quasi-ciągłych, a dodatkowo oblicza się wskaźniki bezwzględne, takie jak:

- wartość maksymalna - x_{\max} ,
- wartość minimalna - x_{\min} ,
- wartość średnia:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

gdzie:

x_i – pomierzone wartości określonego parametru,
n – liczba pomierzonych wartości.

- odchylenie standardowe:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

- wskaźnik zmienności:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (7)$$

- rozstęp:

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (8)$$

Wskaźniki bezwzględne obliczane są dla następujących parametrów: szerokość toru, różnica wysokości toków szynowych, gradient szerokości i wichrowatość

toru. W przyszłości należy również uwzględnić w analizie nierówności pionowe i poziome oraz stopień degradacji elementów rozjazdu kolejowego.

4. Istota wielowymiarowej analizy porównawczej

Jednym z istotnych problemów badawczych w diagnostyce dróg kolejowych jest ocena stanu nawierzchni kolejowej w funkcji czasu i obciążenia oraz możliwość porównania obiektów znajdujących się w różnych lokalizacjach pomiędzy sobą. Do oceny stanu geometrii rozjazdów kolejowych można wykorzystać statystyczne metody wielowymiarowej analizy porównawczej. Istotą tej metody jest możliwość porządkowania i porównywania obiektów wielowymiarowych, tj. takich, które opisywane są przez wiele zmiennych [5, 12].

Duża liczba zmiennych opisujących obiekt, będących przy tym nośnikami różnych informacji, powoduje konieczność wyboru do analizy wskaźników najważniejszych z punktu prowadzonych badań. Dobór zmiennych diagnostycznych można przeprowadzić metodami statystycznymi lub heurystycznymi, a po dokonaniu redukcji zbioru wyjściowego cech W pozostają zmienne zaliczane do zbioru cech diagnostycznych X [14].

Niech O oznacza zbiór obiektów:

$$O = \{O_1, O_2, \dots, O_n\}$$

gdzie:

n – liczba badanych obiektów (rozjazdów).

Każdy obiekt (rozjazd kolejowy) opisany jest przez zbiór zmiennych diagnostycznych:

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$$

gdzie:

m – liczba zmiennych diagnostycznych, wykorzystana do opisu stanu rozjazdu kolejowego.

W badaniach statycznych (bez uwzględnienia zmiany w czasie) analizuje się stan obiektów w jednym z wybranych okresów, a dane tworzą wówczas macierz dwuwymiarową:

$$X_{i,j} = \begin{bmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \dots & X_{1,m} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & \dots & X_{2,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n,1} & X_{n,2} & \dots & X_{n,m} \end{bmatrix}$$

gdzie:

X_{ij} - oznacza realizację zmiennej X_j w obiekcie O_i .

W pierwszej kolejności po doborze zmiennych diagnostycznych należy określić charakter ich oddziaływania na badane zjawisko. W praktyce możemy wyróżnić trzy typy zmiennych: stymulanty (X^S), destymulanty (X^D) i nominanty (X^N).

Stymulantami nazywamy zmienne, których wysokie wartości są pożądane (np. trwałość). Do destymulant zaliczamy zmienne, których duże wartości są niepożądane (np. koszt utrzymania rozjazdu). Nominantami natomiast są zmienne, których odchylenie od przedziału wartości najkorzystniejszych (np. dopuszczalnych) jest niepożądane z punktu widzenia rozpatrywanego zjawiska.

Ujednocilenie zmiennych diagnostycznych polega najczęściej na zamianie destymulant i nominant na stymulanty. Taka transformacja zmiennych nazywana jest stymulacją i wykonywana jest według przekształcenia ilorazowego lub różnicowego [14].

W przypadku destymulant wykorzystano przekształcenie różnicowe, które można wyrazić w postaci [14]:

$$x_{ij}^S = a - bx_{ij}^D \quad (9)$$

gdzie:

a - maksymalna wartość j-tej zmiennej we wszystkich i-tych obiektach:

$$a = \max_i \{x_{ij}^D\}$$

b – wartość stała, przyjmowana najczęściej jako równa 1.

a stymulacja nominant przyjmie postać:

$$x_{ij}^S = -|x_{ij}^N - x_j^N| \quad (10)$$

gdzie:

x_j^N – nominalna (pożądana) wartość j-tej zmiennej,

x_{ij}^N – wartość j-tej zmiennej nominanty w i-tym obiekcie.

Jednym z głównych wymagań metody WAP jest porównywalność zmiennych diagnostycznych. Oznacza to konieczność ujednocilenia jednostek pomiarowych i zastąpienia różnych zakresów zmienności. Proces ten nazywa się standaryzacją zmiennych i pozwala na unormowanie zmiennych diagnostycznych w przedziale zmienności [0;1].

Ogólną formułę normalizacji zmiennych diagnostycznych można przedstawić w następującej postaci [14]:

$$z_{ij} = \left(\frac{x_{ij} - a}{b} \right)^p \quad (11)$$

gdzie:

z_{ij} – znormalizowana wartość j-tej zmiennej w i-tym obiekcie,

a, b, p – parametry normalizacyjne.

Do normalizacji można zastosować zarówno miary klasyczne, jak i pozycyjne, a w konsekwencji możemy wyróżnić trzy podstawowe przekształcenia: standaryzację, unitaryzację i przekształcenie ilorazowe.

W pracy zastosowano unitaryzację, której celem jest ujednoczenie zakresu zmiennych decyzyjnych w przedziale [0; 1], a parametry normalizacyjne przyjmują wartości [14]:

$$p = 1, \quad a = \begin{cases} 0 \\ \max\{x_{ij}\} \\ \min\{x_{ij}\} \end{cases}, \quad b = \max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}$$

zatem ogólna formuła normalizacyjna j-tej zmiennej po wszystkich i-tych obiektach przyjmie postać:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (12)$$

Do uporządkowania obiektów zastosowano metodę bezwzorcową opartą o zmienne syntetyczne, jako średnią ważoną według formuły:

$$s_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m z_{ij} w_j \quad (13)$$

gdzie:

w_j - waga przypisana j-tej zmiennej.

Wartości wag zmiennych decyzyjnych mogą zostać obliczone z wykorzystaniem metod statystycznych lub heurystycznych [14].

5. Przykład konstrukcji wskaźnika oceny rozjazdów

Zastosowanie wielowymiarowej analizy porównawczej przedstawiono na przykładzie budowy syntetycznego wskaźnika oceny stanu rozjazdów. Do obliczeń przyjęto zmienne diagnostyczne z przeprowadzonych pomiarów szerokości toru i różnicy wysokości toków szynowych oraz obliczonej wichrowatości i gradientu szerokości w rozjazdach kolejowych ułożonych w torach bocznych o promieniu $R = 190$ m, tj:

x_1 – średnia szerokość toru (odchyłka od wartości 1435 mm) [mm],

x_2 – odchylenie standardowe odchyłki szerokości toru [mm],

x_3 – średnia wartość przechyłki [mm],

x_4 – odchylenie standardowe przechyłki [mm],

x_5 – odchylenie standardowe wichrowatości na bazie 3,6 m [mm],

x_6 – odchylenie standardowe gradientu szerokości na długości 1,8 m [mm].

Wartości zmiennych diagnostycznych w poszczególnych rozjazdach (obiek-
tach) przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Macierz wartości zmiennych diagnostycznych w rozjazdach

| Nr rozjazdu | Zmienne diagnostyczne | | | | | |
|-----------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 |
| O ₁ | 11,0 | 8,4 | 5,9 | 5,9 | 5,8 | 5,4 |
| O ₂ | 9,7 | 5,7 | 2,2 | 9,4 | 6,4 | 9,6 |
| O ₃ | 7,7 | 7,1 | 4,8 | 5,9 | 5,6 | 5,5 |
| O ₄ | 4,7 | 7,0 | 2,5 | 10,5 | 6,6 | 12,6 |
| O ₅ | 7,2 | 8,2 | 1,4 | 6,6 | 5,0 | 6,6 |
| O ₆ | 6,5 | 8,3 | 8,0 | 5,6 | 6,2 | 6,0 |
| O ₇ | 7,6 | 6,7 | 4,1 | 8,5 | 6,8 | 6,2 |
| O ₈ | 13,8 | 11,9 | 1,0 | 12,1 | 5,7 | 9,0 |
| O ₉ | 12,5 | 9,8 | 2,9 | 14,4 | 7,1 | 8,4 |
| O ₁₀ | 3,2 | 4,1 | 2,8 | 1,9 | 2,4 | 2,1 |

Stymulacja zmiennych diagnostycznych, tj. przekształcenie zmiennych z destymulant na stymulanty, wykonano z wykorzystaniem przekształcenia różnicowego, a wyniki przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Macierz zmiennych decyzyjnych po stymulacji

| Nr rozjazdu | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| O ₁ | 2,8 | 3,5 | 2,1 | 8,5 | 1,2 | 7,2 |
| O ₂ | 4,1 | 6,2 | 5,8 | 5,1 | 0,6 | 3,1 |
| O ₃ | 6,1 | 4,8 | 3,2 | 8,5 | 1,4 | 7,1 |
| O ₄ | 9,1 | 4,9 | 5,5 | 3,9 | 0,4 | 0,0 |
| O ₅ | 6,6 | 3,7 | 6,6 | 7,8 | 2,0 | 6,0 |
| O ₆ | 7,3 | 3,6 | 0,0 | 8,8 | 0,8 | 6,6 |
| O ₇ | 6,2 | 5,2 | 3,9 | 5,9 | 0,2 | 6,4 |
| O ₈ | 0,0 | 0,0 | 7,0 | 2,3 | 1,3 | 3,6 |
| O ₉ | 1,3 | 2,1 | 5,1 | 0,0 | 0,0 | 4,2 |
| O ₁₀ | 10,6 | 7,8 | 5,2 | 12,5 | 4,6 | 10,5 |

Do normalizacji zmiennych diagnostycznych wykorzystano unitaryzację, a wyniki ujednolicenia zakresu zmiennych w przedziale [0;1] przedstawia tabela 3

Tabela 3. Macierz zmiennych decyzyjnych po normalizacji

| Nr rozjazdu | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| O ₁ | 0,26 | 0,45 | 0,30 | 0,68 | 0,26 | 0,69 |
| O ₂ | 0,39 | 0,79 | 0,83 | 0,40 | 0,13 | 0,29 |
| O ₃ | 0,58 | 0,62 | 0,46 | 0,68 | 0,30 | 0,68 |
| O ₄ | 0,86 | 0,63 | 0,79 | 0,31 | 0,09 | 0,00 |
| O ₅ | 0,62 | 0,47 | 0,94 | 0,62 | 0,43 | 0,57 |
| O ₆ | 0,69 | 0,46 | 0,00 | 0,70 | 0,17 | 0,63 |
| O ₇ | 0,58 | 0,67 | 0,56 | 0,47 | 0,04 | 0,61 |
| O ₈ | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,18 | 0,28 | 0,34 |
| O ₉ | 0,12 | 0,27 | 0,73 | 0,00 | 0,00 | 0,40 |
| O ₁₀ | 1,00 | 1,00 | 0,74 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Stosując metodę bezwzorcową, opartą na miarach klasycznych, zmienna syntetyczna opisująca dowolny rozjazd (przyjmując wartości wag równe 1) jest średnią arytmetyczną unormowanych zmiennych decyzyjnych. W tabeli 4 przedstawiono wyniki obliczeń zmiennych syntetycznych z uwzględnieniem wszystkich zmiennych diagnostycznych (kolumna 1). W kolumnie 2 w obliczeniach pominięta została zmienna x_1 (odchyłka średniej szerokości toru), a w kolumnie 3 dodatkowo zmienna x_3 (średnia wartość przechyłki).

Analizując zmienne syntetyczne należy zwrócić uwagę, że im wyższa jest wartość wskaźnika, tym lepszy stan geometrii rozjazdu. Pomiar w rozjeździe numer 10 (O_{10}) wykonano po jego wymianie i podbiciu, zatem charakteryzuje się on maksymalną wartością zmiennej syntetycznej. W pozostałych rozjazdach zarejestrowano liczne przekroczenia odchyłek dopuszczalnych, a ich stan oceniono jako dostateczny, zły i niedopuszczalny.

Tabela 4. Zmienne syntetyczne

| Nr rozjazdu | Zmienne decyzyjne uwzględnione w obliczeniach | | |
|-------------|-----------------------------------------------|---------------------------|----------------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| | $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ | x_1, x_2, x_4, x_5, x_6 | x_2, x_4, x_5, x_6 |
| O_1 | 0,44 | 0,52 | 0,52 |
| O_2 | 0,44 | 0,40 | 0,40 |
| O_3 | 0,55 | 0,57 | 0,57 |
| O_4 | 0,45 | 0,26 | 0,26 |
| O_5 | 0,61 | 0,53 | 0,53 |
| O_6 | 0,44 | 0,49 | 0,49 |
| O_7 | 0,49 | 0,45 | 0,45 |
| O_8 | 0,30 | 0,20 | 0,20 |
| O_9 | 0,25 | 0,17 | 0,17 |
| O_{10} | 0,96 | 1,00 | 1,00 |

Takie podejście do obliczenia zmiennych syntetycznych może być z powodzeniem wykorzystane do opracowania wskaźnika oceny stanu rozjazdów kolejowych, jak również do porządkowania i grupowania obiektów oraz analizy statystycznej zmiennych diagnostycznych w funkcji obciążenia i prędkości.

6. Wnioski

Prawidłowe ustalenie zbioru zmiennych diagnostycznych wymaga wykonania pomiarów kilkuset rozjazdów w okresie ich kilkuletniej eksploatacji. Wybierając zmienne należy posługiwać się metodami statystycznymi, oceniając współczynnik, ich zmienność i korelację z pozostałymi zmiennymi oraz metodami heurystycznymi, oceniając ich wpływ na stan rozjazdu kolejowego i bezpieczeństwo.

Wielowymiarowa analiza porównawcza z powodzeniem może być stosowana zarówno do oceny stanu rozjazdów kolejowych, jak również torów szlakowych. Analiza statystyczna z wykorzystaniem metody WAP pozwoliłaby na grupowa-

nie infrastruktury o jednorodnej charakterystyce, a w konsekwencji poszukiwanie przyczyny i miejsca występowania zjawisk jeszcze do końca niezbadanych.

Bibliografia

- [1] Bałuch H., Bałuch M., Eksploatacyjne metody zwiększania trwałości rozjazdów kolejowych. Centrum Naukowo Techniczne Kolejnictwa, Warszawa 2009.
- [2] Bałuch M., Interpretacja pomiarów i obserwacji nawierzchni kolejowej. Monografie Nr 79. Politechnika Radomska, Radom 2005.
- [3] Decyzja Komisji z dnia 26 kwietnia 2011 r. dotycząca technicznej specyfikacji interoperacyjności podsystemu „infrastruktura” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych. 2011/275/UE.
- [4] FprEN 13231-1:2012: Railway applications - Track - Acceptance of works - Part 1: Works on ballasted track - Plain line, switches and crossings.
- [5] Grabiński T., Wydymus S., Zeliaś A., Metody taksonomii numerycznej w modelowaniu zjawisk społeczno-gospodarczych. PWN, Warszawa 1989.
- [6] Inspekcja rozjazdów, skrzyżowań, przyrządów dylatacyjnych i wyrzutni hamulców płozowych. DB Netz AG, Dyrektywa 821.2005.
- [7] Instrukcja o oględzinach badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów Id-4 (D6). Zarządzenie Nr 15 Zarządu PKP PLK S.A. z dnia 18.05.2005 r. Biuletyn PKP PLK S.A. załącznik B nr 02 z dnia 10.06.2005 r. poz. 16.
- [8] Kędra Z., Ciągły pomiar geometrii rozjazdów kolejowych. Przegląd Komunikacyjny, 3-4/2011, s. 16 – 23.
- [9] Kędra Z., Ciągły pomiar szerokości i przechyłki w rozjazdach kolejowych. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP. Z. 154, nr 95/2010, s. 263-274.
- [10] Kędra Z., koncepcja przeglądów okresowych rozjazdów. Technika Transportu Szynowego. 7-8/2009, s. 50-51.
- [11] Kędra Z., koncepcja systemu diagnostyki rozjazdów. Logistyka, 6/2009, s. 6.
- [12] Kukuła K., Propozycja budowy rankingu obiektów z wykorzystaniem cech ilościowych oraz jakościowych. Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych. Katedra Ekonometrii i Statystyki SGGW, Warszawa 2012, Tom XIII/1, s. 5-16.
- [13] Łączyński J., Rozjazdy kolejowe. Wydawnictwo Komunikacyjne, Warszawa 1958 r.
- [14] Panek T., Statystyczne metody wielowymiarowej analizy porównawczej. Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Warszawa 2009.

-
- [15] PN-EN 13232-2+A1:2012. Kolejnictwo - Tor - Rozjazdy i skrzyżowania - Część 2: Wymagania dotyczące projektowania geometrii.
- [16] PN-EN 13232-3+A1:2012. Kolejnictwo -Tor - Rozjazdy i skrzyżowania - Część 3: Wymagania dotyczące oddziaływania koło-szyna.