

CIOK Janusz¹
CISZEWSKI Tomasz²
CHRZAN Marcin³
ŁUKASIK ZBIGNIEW⁴

KONCEPCJA SYSTEMU EKSPERTOWEGO DLA POTRZEB KLASYFIKACJI DEFEKTÓW SZYN

Autorzy proponują wstępną koncepcję systemu ekspertowego wykorzystującego usystematyzowaną wiedzę pochodzącą z okresowych inspekcji ultradźwiękowych szyn w torze do klasyfikacji defektów szyn. Propozycja obejmuje wykorzystanie czterech wielowartościowych atrybutów rejestrowanych w ręcznych i automatycznych badaniach defektoskopowych: identyfikację problemu, umiejscowienie defektu, rodzaj i kierunek rozwoju defektu oraz rozszerzoną klasyfikację defektu. Na ich podstawie zbudowano tablicę decyzyjną pozwalającą wstępnie kategoryzować defekty i zaproponowano algorytm generowania kodów defektów.

CONCEPT OF THE EXPERT SYSTEM FOR RAILS DEFECTS CLASSIFICATION

The authors propose a preliminary concept of the expert system that uses structured knowledge derived from periodic ultrasonic inspection of rails to the classification of defects in rails. The proposal contains the use of four multi-valued attributes acquired in the manual and automatic ultrasonic tests: problem identification, defect location, type and direction of the defect and extended defect classification. On their basis the decision matrix was built which allows for the preliminary classification of defects. An algorithm to generate defect codes was also proposed.

1. WSTĘP

Systemy ekspertowe są narzędziami komputerowymi pozwalającymi wygodnie i efektywnie wykorzystywać gromadzoną wiedzę i na jej podstawie podejmować właściwe decyzje. Mogą one zarówno zastępować ludzi – ekspertów jak również oferować im

¹ Polskie Linie Kolejowe SA., E-mail: januszciok@o2.pl

² Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.
Tel: + 48 48 361-77-33, Fax: + 48 48 361-77-79, E-mail: t.ciszewski@pr.radom.pl

³ Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.
Tel: + 48 48 361-77-31, 361-77-07, Fax: + 48 48 361-77-79, E-mail: m.chrzan@pr.radom.pl

⁴ Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.
Tel: + 48 48 361-77-15, 361-77-07, Fax: + 48 48 361-77-79, E-mail: z.lukasik@pr.radom.pl

wsparcie w postaci rad, diagnoz czy zaleceń z obszaru ich działania. Podstawowym zadaniem systemu eksperckiego jest zatem usystematyzowanie reprezentacji wiedzy eksperckiej i jej efektywne wykorzystywanie do rozwiązywania problemów. Autorzy podejmują próbę zastosowania wiedzy eksperckiej z zakresu ultradźwiękowej diagnostyki szyn w torze i jej wykorzystania do rozwiązania problemu klasyfikacji defektów.

2. WIEDZA EKSPERCKA - KATALOG DEFECTÓW

Wiedza ekspercka ogranicza się do dwu źródeł: karty *UIC 712 R* [1] i powstałego na jej bazie *Katalogu wad w szynach* [2] (zawierają katalog defektów wraz z ich zdjęciami, oraz schemat numerowania tychże defektów) oraz kartotek ręcznych i automatycznych badań szyn obejmujących klasyfikację defektów tworzoną przez automatyczne procedury i co najważniejsze korygowaną przez operatorów w trakcie eksploatacyjnych badań szyn. Skrótowy wyciąg obejmujący typowe wady i schemat ich numerowania pokazano w tabeli 1.

Tab. 1 Typowe uszkodzenia szyn - schemat numeracji. Na podstawie [1, 2].

Wady na końcach szyn w główce (11 /12) i w szyjce(13)		Wady odległe od końców szyn w główce (21 /22) i w szyjce (23)	
111	Rozwijające się pęknięcia poprzeczne (nerkowane wady zmęczeniowe)	211	Rozwijające się pęknięcia poprzeczne (nerkowane wady zmęczeniowe)
		212	Pęknięcia poziome
112	Pęknięcia poziome	213	Wzdłużne pęknięcia pionowe
113	Wzdłużne pęknięcia pionowe	220	Zużycie
121	Defekt powierzchni tocznej	221	Defekt powierzchni tocznej
122	Łuszczenie powierzchni tocznej	222	Łuszczenie blaszkowate 2221 – Łuszczenie powierzchni tocznej 2222 – Łuszczenie krawędzi wewnętrznej główki 2223 - Head checking - szczeliny na wewnętrznej krawędzi główki
123	Zgniecenie		
124	Lokalne wgniecenia powierzchni tocznej		
125	Wybuksowania	223	Zgniecenie
132	Pęknięcia poziome 1321 - zaokrąglenie przejścia szyjka – główka 1322 – zaokrąglenie przejścia szyjka - stopka	224	Lokalne wgniecenia powierzchni tocznej
		225	Wybuksowania
		227	Squat - pęknięcia i lokalne zagłębienia powierzchni tocznej
133	Pęknięcia pionowe podłużne	232	Pęknięcia Poziome
134	Korozja	233	Pęknięcia pionowe podłużne
135	Pęknięcie promieniowe otworów połączenia łubkowego	234	Korozja
139	Zakładka	235	Pęknięcia promieniowe otworów innych niż łubkowe
		236	Ukośne pęknięcia poza otworami
		239	Zawalcowania
Wady na końcach szyn w stopce(15)		Wady odległe od końców szyn w stopce (25)	
153	Pęknięcie pionowe podłużne	253	Pęknięcie pionowe podłużne
154	Korozja	254	Korozja

3. PODSTAWY DZIAŁANIA SYSTEMU EKSPERTOWEGO

W otaczającej nas rzeczywistości znalezienie dwu identycznych obiektów jest niemożliwe. Dokonując porównania nawet pozornie bardzo podobnych obiektów zawsze znajdziemy między nimi różnice. Warunkiem ich zróżnicowania jest uwzględnienie wystarczającej liczby ich atrybutów, z dostatecznie dużą dokładnością. Zmniejszenie precyzji opisu prowadzi do nierozróżnialności obiektów dotąd rozróżnialnych. Teoria zbiorów przybliżonych (ang. *rough set*) zajmuje się redukcją analizowanych atrybutów do niezbędnego minimum [4, 5].

Dla potrzeb klasyfikacji danych przedstawionych zebranych w katalogu defektów szyn [2] z uwzględnieniem zaleceń zawartych w [3] określona została przestrzeń rozważań obiektów U . Pojedynczy j -ty element tej przestrzeni został określony jako x_j . Każdy obiekt przestrzeni U został scharakteryzowany za pomocą jego wybranych cech. We wstępnej fazie definiowania systemu informacyjnego (SI) sprowadzono go do najprostszej postaci - czterech atrybutów - cech SI (1). Systemem informacyjnym nazywa się uporządkowaną czwórkę, gdzie U jest zbiorem obiektów, Q jest zbiorem ich atrybutów. Poszczególne cechy oznaczamy symbolami q_i . Wartości jakie przyjmują atrybuty odróżniają obiekty od siebie lub wskazują na ich wzajemne podobieństwo [4].

$$SI=(U, Q, V, f) \quad (1)$$

gdzie: U –zbiór obiektów, Q – zbiór atrybutów, V - zbiór wszystkich wartości atrybutów, f – funkcja informacyjna.

Wartość cechy q obiektu x oznaczona została jako v_q^x . Wektor wszystkich cech obiektu v^x (2, 3) przedstawia się opisując zbiór wszystkich możliwych wartości cech.

$$V = \bigcup_{q \in Q} V_q \quad (2)$$

$$v^x = [v_{q_1}^x, v_{q_2}^x, \dots, v_{q_n}^x] \quad (3)$$

Funkcją informacyjną f nazywamy (4)

$$f : U \times Q \rightarrow V \quad (4)$$

Można zatem zauważyć, że

$$v_q^x = f(x, q) \quad (5)$$

gdzie: $f(x, q) \in V_q$.

Szczególnym przypadkiem systemu informacyjnego są tablice decyzyjne. Tablica decyzyjną nazywamy uporządkowaną piątkę [4]:

$$DT=(U, C, D, V, f) \quad (6)$$

gdzie: C - cechy warunkowe, D - cechy decyzyjne.

Podstawowa różnica pomiędzy tablicą decyzyjną, a system informacyjnym polega na wyróżnieniu spośród atrybutów Q dwu części, z których jedna jest traktowana jako cechy warunkowe (C), a druga jako cechy decyzyjne (D). Tym sposobem tablice decyzyjne stają się wygodną metodą opisu reguł sytemu.

Dla niewielkiego zbioru cech system znajduje realizację w schematycznym algorytmie. W miarę rozbudowy tablicy o kolejne cechy lub angażując algorytmy numeryczne w ramach cech budowa diagramu czynności może okazać się niemożliwa.

4. KONCEPCJA SYSTEMU

Realizując system informacyjny określamy zatem zbiór obiektów U oraz ich atrybutów Q . Zatem dla n obiektów i czterech atrybutów jego realizacja ma postać (7, 8):

$$U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (7)$$

$$Q = \{q_1, q_2, q_3, q_4\} \quad (8)$$

W tabeli 2 zebrano cechy systemu informacyjnego i określono ich dziedziny.

Tab. 2. Cech rozważanego systemu informacyjnego i ich dziedziny

Q	Nazwa Cechy	Dziedzina cechy	
q_1	Ogólna identyfikacja problemu	Końce szyn	1
		Poza końcami szyn	2
		Wady sp. uszk. Szyn	3
		Wady pow. pod. łącz. szyn lub nap.	4
q_2	Umiejscowienie, sposób łączenia	Cały przekrój	1
		Główka	2
		Powierzchnia główki	3
		Szyjka	4
		Stopka	5
		Całość szyny	6
		Zgrz. elektr. isk.	7
		Spaw. Termitowe	8
		Spaw. Łukowe	9
		Napawanie	10
		Inne met. łączenia szyn	11
q_3	Rodzaj, kierunek rozwoju defektu	Zużycie	1
		Poprzeczny	2
		Poziomy	3
		Pionowy wzdłużny	4
		Korozja	5
		Od otw. śrub łubkowych	6
		Zawalcowanie	7
		Uszk. pow. Tocznej	8
		Łuszczenie blaszkowate	9
		Zgniecenie	10
		Miejscowe wgniecenie	11
		Wybuksowanie	12
		Pękn. miejsc. zagł. pow. Tocznej	13
		Poza otworami śrub łubkowych	14
		Uderzenie	15
		Niewłaściwa obróbka	16
		Trwałe odkształcenie	17
		Poziomy lub łuszczenie się	18

q_4	Rozszerzona klasyfikacja	Brak	1
		Przejście szyjki w główkę	2
		Przejście szyjki w stopkę	3
		Krótką falą	4
		Długa fala	5
		Boczne	6
		Nadmierne zużycie pionowe	7
		Powierzchnia toczna	8
		Krawędź wewnętrzna główki	9
		Szczeliny na kraw. wew. Główki	10
		Pojedyncze wybuksowanie	11
		Wielokrotne wybuksowanie	12

Znając możliwe wartości atrybutów możemy przedstawić system informacyjny defektów szyn. W rozważanej przestrzeni obejmuje on 55 obiektów (U), a jego fragment pokazano w tabeli 3. Został on uzupełniony o trzy dodatkowe atrybuty: kod defektu (q_5), jego kwalifikację (q_6) i grupę obserwacyjną (q_7), które w docelowej tablicy decyzyjnej staną się atrybutami decyzyjnymi ($d_1 - d_3$).

Tab. 3. Cechy (q_i) rozważanego systemu informacyjnego i ich dziedziny; atrybuty warunkowe (c_i) i decyzyjne (d_i)

U	q_1 c_1	q_2 c_2	q_3 c_3	q_4 c_4	q_5 d_1	q_6 d_2	q_7 d_3
X_1	Końce szyn	Cały przekrój	Zużycie	Brak	1000	Złamanie poprzeczne bez widocznej przyczyny	Inna
X_2	Końce szyn	Główka	Poprzeczny	Brak	1110	Pęknięcie poprzeczne postępujące (pęknięcie zmęczeniowe)	I
X_3	Końce szyn	Główka	Poziomy	Brak	1120	Pęknięcie poziome	II
...							
X_{11}	Końce szyn	Szyjka	Poziomy	Przejście szyjki w stopkę	1322	Pęknięcia poziome na przejściu szyjki w stopkę	II
X_{12}	Końce szyn	Szyjka	Pionowy wzdłużny	Brak	1330	Pęknięcie pionowe podłużne	III
X_{13}	Końce szyn	Szyjka	Korozja	Brak	1340	Korozja	Inna
X_{14}	Końce szyn	Szyjka	Od otw. śrub łubkowych	Brak	1350	Pęknięcie promieniowe z otworów dla śrub łubkowych	VI
...							
X_{55}	Wady pow. pod. łącz. szyn lub nap.	Inne met. łączenia szyn	Poprzeczny	Brak	4810	Pęknięcie poprzeczne przy łącznikach szynowych	Inna

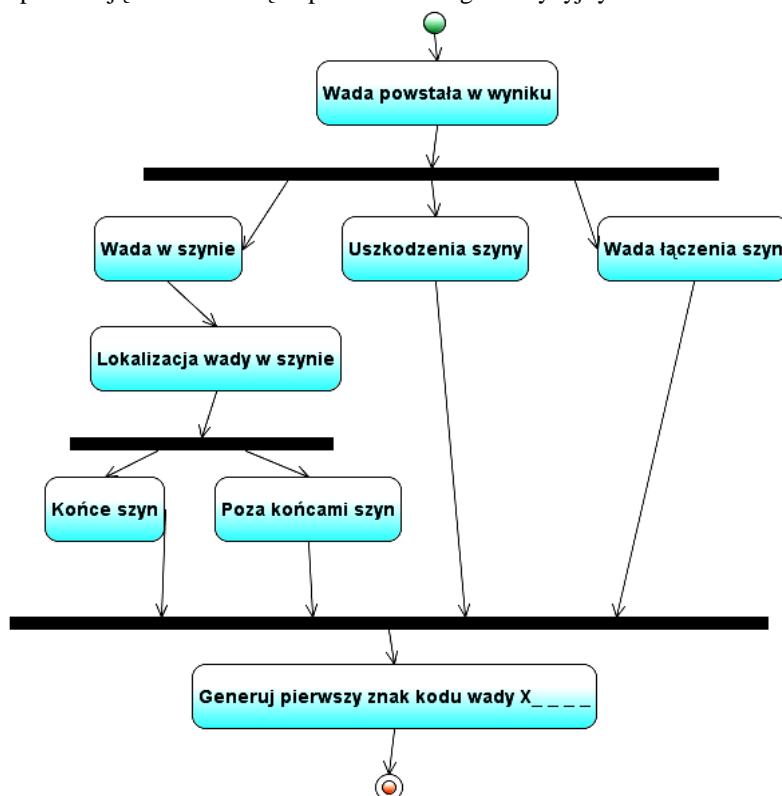
Zawarte w tabeli decyzyjnej zależności można także zapisać wykorzystując analizę reguł. I tak przykładowo na podstawie cech obiektu 11 można utworzyć następującą regułę:

R^{11} : **JEŻELI** $c_1 = (\text{Końce szyn})$ **I** $c_2 = (\text{Szyjka})$ **I** $c_3 = (\text{Poziomy})$ **I** $c_4 = (\text{Przejście szynki w stopkę})$ **TO** $d_3 = (\text{Gr. Obser. II})$

Przykładowy proces decyzyjny dla określenia pierwszego znaku w kodzie oznaczenia wady pokazano na rys. 1.

5. WNIOSKI

W teorii zbiorów przybliżonych jeśli pewne dwa obiekty x_a i $x_b \in U$ mają takie same wartości wszystkich uwzględnianych cech, a winny być rozróżnialne zaleca się rozszerzyć dziedzinę o kolejne cechy [4]. W celu precyzyjniejszej klasyfikacji wady (podział na więcej kategorii) można zatem rozszerzyć zbiór atrybutów warunkowych i autorzy rozważają podjęcie takich działań. Dodatkowymi atrybutami mogą być np. wykrywalność w trakcie oceny wizualnej, czy rodzaje głowic ultradźwiękowych, którymi można wykryć defekt (normalna, kątowna, ...). Rozważana mogą być jednak jedynie takie cechy dla których dostępna jest wiedza ekspercka (pochodząca z prowadzonych badań diagnostycznych szyn w torze) i pozwalająca na budowę odpowiednich reguł decyzyjnych.



Rys.1. Algorytm kodowania pierwszego znaku kodu defektu

System ekspertowy podobnie jak każdy system informatyczny posiada plusy i minusy. Abstrahując od metod realizacji warstwy prezentacji, metod komunikacji z użytkownikiem (które nie są przedmiotem niniejszych rozważań) najwięcej uwagi należy poświęcić na zestawienie wiedzy posiadanej przez człowieka – będącej wynikiem regularnych inspekcji szyn - i przełożenia jej na system reguł oraz zaawansowanych obliczeń numerycznych.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Code UIC 712 R, 4th edition, Catalogue of Rail defects, February 2002
- [2] Podymniak-Fijolek E., Moszczyński R., Katalog wad w szynach, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Biuro Dróg Kolejowych Centrum Diagnostyki, Warszawa 2005
- [3] Instrukcja kolejowa id -14 Instrukcja o dokonywaniu pomiarów, badań i oceny stanu torów
- [4] Rutkowski L.: *Metody i techniki sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006
- [5] Mulawka J.: *Systemy ekspertowe*, WNT, Warszawa 1996
- [6] Lesiak P., Ratyńska J.: *System ekspertowy w badaniach nieniszczących na przykładzie ultradźwiękowej defektoskopii szyn kolejowych*, Szczyrk –2002. Zeszyty Problemowe, Badania Nieniszczące, Zeszyt Nr 7, Warszawa 2002
- [7] Lesiak P., Ratyńska J.: *An Approach to Expert-Aided Ultrasonic Flaw Detection of Railway Rails*. The Archives of Transport, No 1, Vol. XV, 2003
- [8] Bałuch H.: *Wspomaganie decyzji w drogach kolejowych*, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1994
- [9] Bałuch H.: *Konieczność budowy systemu monitorowania szyn*, Materiały VI Seminarium diagnostyki Nawierzchni Szynowych, Gdańsk 2004
- [10] Bałuch H., Kędra Z.: *Prototyp sytemu doradczego monitorowania pęknięć szyn (MOPS)*, Materiały II Seminarium Diagnostyki Nawierzchni Kolejowych. Politechnika Gdańska Katedra Inżynierii Kolejowej, Gdańsk 2000.