

# PROBLEMY MONITOROWANIA SZYN I ICH MIEJSCE W SYSTEMIE GIS-RAIL

## SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. System GIS-RAIL i współpracujące z nim systemy specjalistyczne
3. Cel i zakres systemu monitorowania szyn
4. System SMOS jako zaczątek zarządzania wiedzą w zakresie dróg kolejowych
5. Technika badań szyn
6. Uwagi końcowe

## STRESZCZENIE

*Spośród wszystkich części składowych nawierzchni kolejowej szyny mają największy wpływ na bezpieczeństwo jazdy. Bezpieczeństwo to zależy w dużej mierze od sposobu ich monitorowania. Proponowany system monitorowania szyn ma umożliwić przewidywanie potrzeb ich wymiany i ułatwić podjęcie decyzji co do możliwości pozostawienia w torze szyny z wykrytą wadą. System taki stanie się jednym ze specjalistycznych systemów współpracujących z systemem GIS-RAIL, który obejmie całą infrastrukturę kolejową eksploatowaną w Polsce. Wraz z opracowywaniem algorytmów i oprogramowania powinny rozpocząć się prace nad doskonaleniem techniki badań szyn. Przewiduje się w tym zakresie m.in. multimedialne badanie falistości. W dalszej perspektywie, w obszarze tym powinny powstać systemy zarządzania wiedzą*

## 1. WSTĘP

Monitorowanie (ang. *monitoring*) to zorganizowany i ciągły sposób długotrwałych obserwacji lub łącznie obserwacji i pomiarów, obiektów bądź urządzeń. Można rozróżnić dwa rodzaje monitorowania: z nadzorem, w którym wyniki obserwacji lub pomiarów są analizowane przez człowieka lub odpowiednio dobrany układ, oraz bez nadzoru, w którym wyniki obserwacji są jedynie gromadzone, najczęściej w postaci obrazów rejestrowanych na elektronicznych nośnikach informacji. Monitorowanie szyn musi więc charakteryzować się właściwą organizacją i ciągłością. Ciągłość należy rozumieć w tym przypadku nie tylko w sensie dosłownym, spełnianym przez urządzenia automatyki kolejowej, które natychmiast sygnalizują wystąpienie przerwy w toku szynowym, lecz również w sensie szerszym, jako stałe czynności kontrolno-pomiarowe i

systematyczne analizowanie ich wyników. Tak więc monitorowanie szyn jest monitorowaniem nadzorowanym.

Rozwój diagnostyki dróg kolejowych powinien przebiegać w dwóch nurtach. Są to: wprowadzanie coraz doskonalszych urządzeń i opracowywanie nowych metod oceny wyników uzyskiwanych za pomocą tych urządzeń. Ta ogólna zasada dotyczy również monitorowania szyn. Wprowadzenie systemu monitorowania szyn w Polsce, któremu nadano akronim SMOS [3], obejmującego nowe techniki pomiaru oraz metody analizy ich wyników, staje się koniecznością wynikającą głównie z dwóch powodów:

- zwiększającej się degradacji dróg kolejowych i rosnącego ryzyka wypadków spowodowanych m.in. stanem szyn,
- zamierzonym przez UE otwarciem rynków przewozów towarowych, co sprawi, że wszelkie zakłócenia niezawodności dróg kolejowych przestaną być wyłącznie sprawą wewnętrzną.

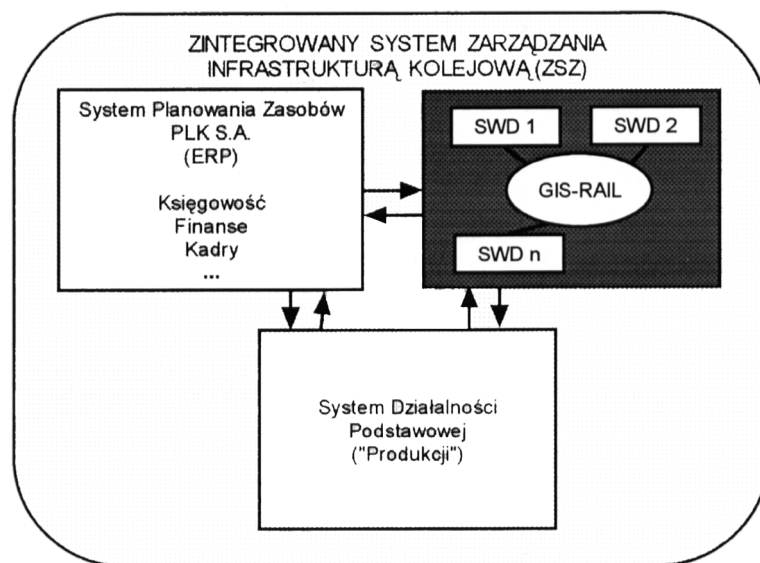
Wady szyn stały się w ostatnich latach przyczyną kilku głośnych wypadków. Między innymi w październiku 2000 roku na szynie z wadami kontaktowo-zmęczeniowymi, która rozpadła się na kilkadziesiąt części, wykoleił się pod *Hatfield* pociąg jadący z prędkością 188 km/h [15, 28]. W marcu tego samego roku doszło do wykolejenia pociągu kolei podziemnej w Tokio na krzywej przejściowej wskutek zbyt dużego współczynnika tarcia między szyną i kołem [29]. W styczniu 2004 wady szyn oraz duże oddziaływanie wagonu z płaskim miejscem na kole spowodowały wykolejenie pociągu towarowego na szlaku *Wronki – Miaty* [21].

Wykolejenia w Anglii i Japonii miały trzy wspólne cechy: pochłonęły ofiary śmiertelne, zapoczątkowały wielokierunkowe działania wspomagane przez rządy tych krajów i zwróciły uwagę na znaczenie badań oraz rolę kadry inżynierskiej w kolejnictwie.

Wspomniane wykolejenie na szlaku *Wronki – Miaty* mogło zakończyć się znacznie większą tragedią, niż tylko zranieniami ludzi i stratami materialnymi. Wzorem innych krajów powinniśmy więc wspólnie potraktować je jako sygnał do podjęcia działań zmniejszających poważne zagrożenia, do jakich doprowadziły rażące braki zasobów niezbędnych do normalnej eksploatacji dróg kolejowych.

## 2. SYSTEM GIS-RAIL I WSPÓŁPRACUJĄCE Z NIM SYSTEMY SPECJALISTYCZNE

System GIS-RAIL<sup>1</sup> będzie przestrzenno-eksploatacyjną bazą infrastruktury kolejowej, zintegrowaną ze specjalistycznymi systemami wspomaganie decyzji (SWD) i powiązaną z Systemem Planowania Zasobów (głównie księgowo-finansowym – ERP) oraz Systemem Działalności Podstawowej. Te trzy współpracujące ze sobą systemy będą tworzyły Zintegrowany System Zarządzania Infrastrukturą Kolejową (rys. 1).



Rys. 1. Miejsce systemu GIS-RAIL w Zintegrowanym Systemie Zarządzania Infrastrukturą Kolejową

Koncepcja GIS-RAIL [4, 8] zakłada zbudowanie w kilku etapach, począwszy od prototypu, oryginalnego systemu polegającego na powiązaniu informacji przestrzennych, dotyczących linii i stacji kolejowych – ze specjalistycznymi systemami wspomaganie decyzji, w tym z systemami eksperckimi, obejmującymi wąskie zagadnienia poszczególnych działów infrastruktury (dróg kolejowych, sterowania, sieci trakcyjnej, telematyki kolejowej itp.). W kolejnym etapie do tak zbudowanego systemu GIS-RAIL będą dowiązywane systemy zarządzania wiedzą w najważniejszych działach kolejnictwa (por. rozdz.4). Tak zarysowany system GIS-RAIL, nie mający dotychczas żadnego odpowiednika na innych kolejach, ułatwi w dużym stopniu podejmowanie decyzji na wszystkich szczeblach zarządzania infrastrukturą. Zawarte w nim informacje będą

<sup>1</sup> GIS (*Geographic Information System*) – system informatyczny służący do wprowadzania, gromadzenia oraz wizualizacji danych geograficznych, którego jedną z funkcji jest wspomaganie. Znane są również inne definicje GIS. W konkretnym przypadku infrastruktury kolejowej chodzi głównie o dowiązanie położenia obiektów do współrzędnych geograficznych.

wykorzystywane do raportowania, analizowania oraz planowania podstawowych zadań eksploatacyjnych i modernizacyjnych, sprawowania funkcji kontrolnych i podejmowania działań prewencyjnych.

Rozpoczęcie prac nad systemem GIS-RAIL uzasadniają następujące czynniki:

1. **Złożona sytuacja w zarządzaniu infrastrukturą kolejową w Polsce**, wynikająca z jednej strony z ograniczonych zasobów na jej utrzymanie, z drugiej zaś z konieczności modernizacji dużej części sieci kolejowej, która powinna spełniać warunki przyjęte w UE. Podejmowanie trafnych decyzji w tych okolicznościach musi być wspomagane techniką informacyjną. Wykorzystanie systemów doradczych w podejmowaniu decyzji dotyczących infrastruktury, zwłaszcza zaś obiektów związanych bezpośrednio z bezpieczeństwem ruchu kolejowego (tory, mosty, układy sterowania itp.) ułatwia dostrzeżenie symptomów zagrożeń i odpowiednio wczesne zaplanowanie działań korygujących (napraw i wymian elementów infrastruktury, ograniczeń prędkości pociągów). Doświadczenia wynikające z eksploatacji systemów wspomaganego planowania na kolejach zagranicznych, np. z angielskiego systemu T-SPA (*Track Strategic Planning Application*) dowodzą, że można dzięki nim uzyskać znaczne oszczędności kosztów [26]. Zbiory charakterystyk stanu infrastruktury z okresów minionych umożliwiają wprowadzenie tzw. zarządzania historycznego (*historical management*) [14], stosowanego z dobrym skutkiem na kolejach japońskich. Gromadzenie w bazach danych opisów zdarzeń rzadkich ułatwia opracowywanie scenariuszy zagrożeń, tj. opracowań ułatwiających wychodzenie z sytuacji kryzysowych lub nawet minimalizujących wystąpienie zdarzeń niepożądanych.

Stale aktualizowane informacje dotyczące obiektów infrastruktury, wsparte odpowiednimi systemami wspomaganego planowania wpływają na znacznie szybsze i jakościowo lepsze opracowywanie studiów wykonalności linii kolejowych i zmniejszenie kosztów modernizacji<sup>2</sup>. Zakres tych prac w – związku z koniecznością modernizacji 5 tys. km linii kolejowych w Polsce i ich dostosowania do warunków UE – będzie w obecnym dziesięcioleciu ciągle wzrastał. Informacje nagromadzone w tych bazach danych umożliwią przejście do dalszych etapów systemów wspomaganego zarządzania infrastrukturą, tzn. do zarządzania wiedzą. Bez tego narzędzia przyszłe koleje nie będą się mogły obejść, podobnie, jak inne działy gospodarki [32].

2. **Nadanie pracom z zakresu wspomaganego planowania decyzji wysokiego priorytetu w całości preferowanych kierunków badań w Pol**

---

<sup>2</sup> Zastosowanie Systemu Oceny Konstrukcji Nawierzchni SOKON, przy opracowaniu studium wykonalności linii kolejowej *Warszawa–Gdynia* (a więc po raz pierwszy w tego rodzaju opracowaniach) pozwoliło ustalić, że na dziewięciu odcinkach tej linii o łącznej długości 53 km nie ma potrzeby wykonywania ciągłej wymiany nawierzchni, co oznacza zmniejszenie kosztów modernizacji o 80 mln zł.

s c e . Wśród tych kierunków w opracowaniu [20] na pierwszym miejscu wymieniono inżynierię oprogramowania, wiedzy i wspomaganie decyzji (m.in. modelowanie wiedzy w zarządzaniu współczesnych przedsiębiorstw) stwierdzając, że prace te mają zasadnicze znaczenie jakościowe. Wśród priorytetów wymieniono również tworzenie specjalistycznych systemów komputerowego sterowania, projektowania i zarządzania produkcją. Projektowane prace nad systemem GIS-RAIL wpisują się w dużej mierze w ustalone kierunki priorytetowe.

3. W i e d z a i d o ś w i a d c z e n i e n a u k o w c ó w z a j m u j ą c y c h s i ę p r o b l e m a t y k ą k o l e j n i c t w a , n a g r o m a d z o n a w c i ą g u o s t a t n i c h k i l k u n a s t u l a t , d o t y c z ą c a o p r a c o w y w a n i a s y s t e m ó w w s p o m a g a n i a d e c y z j i , w t y m s y s t e m ó w e k s p e r c k i c h o r a z u m i e j ę t n o ś ć k a d r y i n ż y n i e r y j n e j ( n a r ó ż n y c h s z c z e b l a c h z a r z ą d z a n i a i n f r a s t r u k t u r ą ) r o z p o w s z e c h n i a n i a i s t o s o w a n i a t y c h s y s t e m ó w<sup>3</sup>.

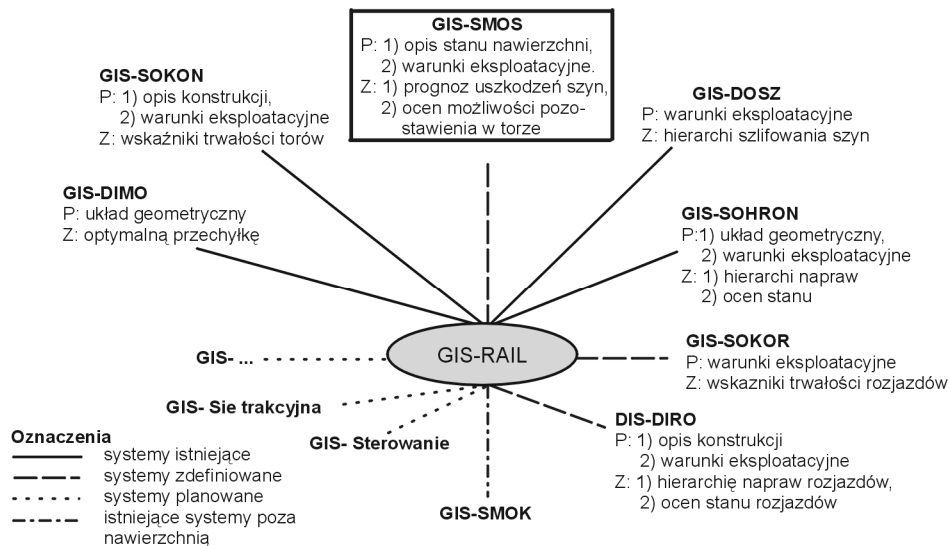
Ogólną koncepcję systemu GIS-RAIL przedstawia rysunek 2. Jego najistotniejszą cechą jest powiązanie informacji przestrzennych, statystycznych, diagnostycznych i technologicznych z systemami wspomaganie decyzji we wszystkich działach infrastruktury kolejowej, tj. z tymi systemami, które już istnieją, jak i z tymi, które będą dopiero tworzone. Założenie to wymaga, by system GIS-RAIL był budowany jako system otwarty, łatwo adoptujący specjalistyczne aplikacje, które będą powstawać nawet po jego opracowaniu w wersji zaawansowanej.

Koncepcje wiązania systemów GIS z aplikacjami specjalistycznymi znalazły już zastosowanie, m.in. w systemie zarządzania szybką koleją w Seulu [16]. Informacje zebrane w GIS są tam wykorzystywane w 13. podsystemach obejmujących różne działy infrastruktury i eksploatacji. Dostęp do informacji GIS zapewnia Internet. Dane do bazy, np. o wykonanych naprawach, są wprowadzane za pomocą łączności bezprzewodowej.

W angielskim systemie GIS, dotyczącym dróg samochodowych, pod symbolem HA GDMS, dane przestrzenne zebrane z użyciem skanerów laserowych umieszczonych na helikopterach, łączy się z informacjami statystycznymi, diagnostycznymi i danymi o wykonanych robotach [11].

---

<sup>3</sup> Umiejętność stosowania systemów wspomaganie decyzji w zakresie dróg kolejowych nabyło już kilkuset inżynierów przeszkolonych na specjalistycznych kursach i studiach podyplomowych, organizowanych w Centrum Naukowo-Technicznym Kolejnictwa i na Politechnice Gdańskiej.



Rys. 2. Ogólna koncepcja systemu GIS-RAIL: powiązania z systemami wspomaganie decyzji pokazano na przykładzie wybranych systemów z zakresu nawierzchni kolejowej

DIMO – Diagnostyka Przedmodernizacyjna, SOKON – Syntetyczna Ocena Konstrukcji Nawierzchni, SMOS – System Monitorowania Szyn, DOSZ – Decyzje o Szlifowaniu Szyn, SOHRON – System Określenia Hierarchii Robót Nawierzchniowych, SOKOR – System Oceny Konstrukcji Rozjazdów, DIRO – Diagnostyka Rozjazdów.

Jako przykład powiązań ogólnej bazy danych systemu GIS-RAIL ze specjalistycznymi aplikacjami, na rysunku 2 pokazano ważniejsze systemy wspomaganie decyzji opracowane w Centrum Naukowo-Technicznym Kolejnictwa i stosowane już w zakresie nawierzchni kolejowej na sieci PKP PLK S.A. Przy każdym z tych systemów, które docelowo będą połączone linkami z systemem GIS-RAIL, podano podstawowe informacje czerpane z jego ogólnej bazy (P) oraz ważniejsze zwracane wyniki (Z).

Oprócz podstawowych funkcji pokazanych na rysunku 2, część spośród systemów specjalistycznych spełnia rolę rozszerzoną i tak np. system DIMO zawiera programy optymalizacji układów geometrycznych toru.

Według scharakteryzowanej koncepcji system GIS-RAIL będzie, więc wykraczał zdecydowanie poza znane funkcje systemów należących do klasy systemów planowania zasobów infrastrukturalnych przedsiębiorstwa (*IRP-Infrastructure Resource Planning*). Te cechy systemu, podobnie jak jego nazwa, powinny wzbudzić nim zainteresowanie kolei innych krajów, na których mógłby znaleźć zastosowanie po dostosowaniu do ich lokalnej specyfiki.

Ze względu na czytelność rysunku nie uwidoczniono wszystkich systemów wspomaganie decyzji w zakresie nawierzchni kolejowej i tak np. nie znalazł się na nim system JAKON przeznaczony do oceny jakości robót, KLAN – wspomagający podział torów na klasy i rozdział poten-

cjału naprawczego oraz DONG, określający potrzebę wykonywania napraw głównych. Podano natomiast systemy już zdefiniowane, oczekujące na opracowanie jak SOKOR, DIRO i SMOS.

System SOKOR będzie przeznaczony do oceny trwałości rozjazdów, podobnie jak system SOKON w odniesieniu do torów; DIRO natomiast stanie się systemem diagnostycznym rozjazdów, określającym równocześnie hierarchię ich napraw i wymian.

System SMOS, stanowiący podstawową część niniejszego artykułu, będzie czerpał informacje m.in. z urządzeń optoelektroniki, zainstalowanych na specjalistycznym pojeździe szynowym do kontroli stanu powierzchni tocznych szyn oraz będzie zawierał podsystem rozpoznawania obrazów. Są to, więc również zagadnienia należące do priorytetowych kierunków badań wymienionych w opracowaniu [20].

Istniejące już w Polsce systemy wspomaganie decyzji w zakresie nawierzchni kolejowej przed powiązaniem z ogólnym systemem GIS-RAIL zostaną w różnym stopniu zmodyfikowane, bez zmiany jednak ich podstawowych funkcji. Modyfikacje te będą dotyczyły głównie interfejsów umożliwiających bezpośrednie komunikowanie się z ogólną bazą GIS-RAIL.

Na rysunku 2 zaznaczono również symbolicznie systemy z zakresu niektórych innych działań infrastruktury, które będą dopiero opracowywane.

### **3. CEL I ZAKRES SYSTEMU MONITOROWANIA SZYN**

System monitorowania szyn ma dwa podstawowe cele:

- 1) zmniejszyć ryzyko pęknięć szyn, mimo wzrastającej ciągle degradacji dróg kolejowych w Polsce;
- 2) umożliwić racjonalne użytkowanie szyn, w których stwierdzono pewne wady, poprzez ułatwienie podejmowania decyzji o terminach ich wymiany podejmowanych dotychczas w większości intuicyjnie.

Zmniejszenie ryzyka pęknięć szyn można osiągnąć przez:

- wprowadzenie do eksploatacji nowych technik badań (por. rozdz. 5),
- śledzenie narastania pojedynczych wymian szyn wskutek uszkodzeń lub nadmiernego zużycia,
- analizę przyczyn tych uszkodzeń i określanie powodów wymian ciągłych,
- obserwowanie, pomiary, rejestrowanie i analizowanie zjawisk oraz procesów, które wywierają największy wpływ na konieczność usuwania z toru szyn uszkodzonych lub zużytych.

Do zakresu czynności objętych monitorowaniem nie wchodzi natomiast szczegółowe badania szyn uszkodzonych, tj. badania laboratoryjne (metalograficzne, wytrzymałościowe itp.) oraz analizowanie rozwoju wad wewnętrznych, rejestrowanych w kolejnych kontrolach defektoskopowych. Te ostatnie, dotyczące konkretnej szyny, ponieważ mają charakter ekspertyz szczegółowych, powinny jednak wzbogacać metody obserwacji zakwalifikowanych szyn.

Śledzeniu narastania pojedynczych wymian szyn z próbą prognozowania tego zjawiska poświęcono już w Polsce wiele prac [2, 5, 11, 23, 24]. Zagadnienia związane z trwałością szyn, zwłaszcza zaś z ich pęknięciami w funkcji różnych wielkości, od wielu lat znajdowały odzwierciedlenie w pracach wielu autorów w USA [1], Niemczech [12], Anglii [22], Rosji [18, 27, 33] i innych krajów. Nowe interesujące wątki do tych zagadnień wniosły referaty [10, 19].

Wszystkie dotychczasowe prace dotyczące prognozowania szyn opierały się na analizach statystycznych. Duże możliwości, jakie stwarza obecnie technika komputerowa oraz rozwój teorii i praktyki budowy systemów doradczych, uzasadniają celowość podjęcia prac nad systemem wspomaganie decyzji diagnostycznych dotyczących szyn.

Mówiąc o racjonalnym użytkowaniu szyn, w których stwierdzono wady, należy przyjąć, że rozpoznanie ich istnienia oraz rozmiaru w chwili badania nie oznacza najczęściej zakończenia procesu decyzyjnego. Podjęcie decyzji diagnostycznej jest bowiem łatwe tylko w przypadku stwierdzenia jednego ze stanów skrajnych. Stanem skrajnym jest stan pełnej zdatności eksploatacyjnej  $E^{(1)}$ , oznaczający, że w szynie nie ma uszkodzeń zewnętrznych bądź wewnętrznych, stanowiących powód zmian cyklu diagnozowania, ograniczeń prędkości pociągów itp. oraz stan niezdatności eksploatacyjnej  $E^{(0)}$  równoważny ze stwierdzeniem takiego rozmiaru uszkodzeń, które wymagają niezwłocznej wymiany szyny [2].

Między tymi stanami skrajnymi istnieje przestrzeń stanów pośrednich, które stanowią zbiory rozmyte. Można tu wymienić: zbiór szyn zakwalifikowanych do obserwacji przy jednoczesnym ograniczeniu prędkości pociągów, zbiór szyn zakwalifikowanych do obserwacji bez ograniczenia prędkości pociągów, zbiór szyn z wadami wymagającymi miejscowego wzmocnienia poprzez złubkowanie w przekroju potencjalnego pęknięcia itp. Część z tych zbiorów można podzielić na podzbiory i tak np. w zbiorze szyn wymagających ograniczenia prędkości pociągów można wprowadzić podzbiory stopniujące to ograniczenie o  $\Delta v_i = 30$  km/h.

Duża pracochłonność wprowadzania do bazy danych informacji o szynach uszkodzonych w latach minionych stanie się opłacalna jedynie w tym przypadku, gdy posłużą one nie tylko do uzyskiwania różnorodnych opracowań statystycznych, lecz przede wszystkim do tworzenia prognoz, generowania ostrzeżeń, wysuwania konkluzji ułatwiających eksploatację nawierzchni i inicjujących podejmowanie działań zmierzających do zwiększenia bezpieczeństwa ruchu kole-



jowego. Informacje historyczne będą również przydatne przy budowie sztucznych sieci neuronowych (por. podrozdział 3.2)

Opracowanie metod kwalifikujących szynę mającą stwierdzone wady, zwłaszcza wewnętrzne, do ustalonych zbiorów uszkodzeń, przy znanych warunkach eksploatacyjnych byłoby nie tylko osiągnięciem poznawczym, lecz oznaczałoby również wyraźny postęp w diagnostyce nawierzchni. Zadaniem o jeszcze większym znaczeniu użytkowym, na którego rozwiązanie oczekują specjaliści zajmujący się kontrolą defektoskopową szyn, jest określenie czasu lub obciążenia, jakie może przenieść szyna, od chwili stwierdzenia rozmiaru wady wewnętrznej do czasu możliwego pozostawienia jej w konkretnym torze przy ustalonym ryzyku pęknięcia.

Scharakteryzowane okoliczności prowadzą do wniosku, że system SMOS powinien mieć dwa podstawowe moduły. Pierwszy z nich opierałby się na historii pęknięć szyn, drugi zaś byłby używany do oceny możliwości i czasu pozostawienia w torze szyny z wykrytą wadą. Modułowa struktura systemu SMOS wynika też z trzech dalszych powodów:

- 1) konieczności poprzedzenia budowy obu modułów pracami badawczymi z wykorzystaniem dużej liczby danych o uszkodzeniach szyn, zwłaszcza niezbędnych do budowy sztucznej sieci neuronowej;
- 2) ograniczonej liczby specjalistów z zakresu budowy systemów doradczych, obejmujących procesy degradacji i diagnostykę nawierzchni kolejowej;
- 3) uniknięcia koncentracji nakładów na budowę całego systemu.

### **3.1. Moduł oparty na informacjach o pęknięciach szyn**

Moduł ten powinien:

- 1) umożliwiać prognozowanie trwałości szyn i – zależnie od stopnia degradacji – prognozowanie ich wymian ciągłych;
- 2) być podstawą opracowań statystycznych dotyczących złamań i pęknięć szyn oraz ich wymian spowodowanych zużyciem;
- 3) stanowić – z wykorzystaniem wyników z innych specjalistycznych systemów wspomaganie decyzji, które będą połączone z bazą GIS-RAIL, tj. z systemem SOKONA<sup>4</sup>, DONG<sup>5</sup> i UNIP<sup>6</sup> – jedno z narzędzi planowania wymian szyn oraz wczesnego ostrzeżenia o możliwości pojawienia się lawinowego rozwoju pęknięć i złamań;

---

<sup>4</sup> Syntetyczna Ocena Konstrukcji Nawierzchni.

<sup>5</sup> Decyzje O Naprawach Głównych.

<sup>6</sup> Ustalanie Nacisków i Prędkości.

- 4) przetwarzać informacje ułatwiające wyciąganie wniosków odnoszących się do otoczenia, tj.:
- skuteczności kontroli defektoskopowych (dokładności, terminowości, potrzeby wprowadzenia zmiennych cykli kontroli),
  - kursowania wagonów z kołami mającymi płaskie miejsca lub nalepy,
  - konieczności i zakresu szlifowania szyn (z jednoczesnym wykorzystaniem systemu DOSZ),
  - potrzeby zaostrzenia kontroli nad wybranymi odcinkami linii kolejowych lub wzmożonej obserwacji szyn określonej partii produkcji.

Informacje do tego modułu powinny być wprowadzane w postaci:

- a) raportów o szynach wymienionych (wg ustalonych wzorców, z podziałem na wymiany awaryjne i planowane, pojedyncze oraz ciągłe),
- b) wyników multimedialnych badań falistości szyn i stanu ich powierzchni tocznej, wykonywanych przez zmodernizowaną drezynę pomiarową EM 120 (por. rozdz. 5),
- c) zsyntetyzowanych wyników kontroli defektoskopowych,
- d) obserwacji doraźnych.

Informacje wprowadzone do tego modułu będą przechowywane, w zależności od ich charakteru, w lokalnych bazach danych o wymianach szyn i w module monitoringu, ważniejsze zaś wskaźniki syntetyczne – w bazie GIS-RAIL.

Moduł ten będzie modułem hybrydowym, tzn. mającym algorytmy obliczeń oparte w przeważającej mierze na podstawach empirycznych, oraz regułową bazę wiedzy, zawierającą kilkadziesiąt reguł heurystycznych, wykorzystywanych w algorytmie generacji rozwiązań.

Część algorytmiczna będzie dotyczyć m.in. prognozowania wymian szyn. Wyjściowym zadaniem stanie się przy tym podział linii eksploatowanych na odcinki o jednakowych warunkach eksploatacyjnych i konstrukcyjnych. W ten sposób otrzyma się 1, 2, ... ,  $n$  odcinków o różnej długości  $l_1, l_2, \dots, l_n$ . Przebieg narastania pęknięć szyn będzie opisany przez jedną z funkcji

$$k=f_j(Q) [1/\text{km}], \quad (1)$$

gdzie  $j = 1, 2, \dots$

$Q$  - przeniesione obciążenie całkowite [Tg].

Funkcja aproksymowana w przedziale  $\langle 0, Q \rangle$  lub  $\langle Q_p, Q \rangle$  będzie ekstrapolowana odpowiednio do granicy

$$\gamma = Q(1 + \alpha) \quad (2)$$

lub

$$\gamma = Q + \alpha(Q - Q_p) \quad (3)$$

Przyjęcie  $\alpha > 0,2$  obciąża prognozę dużym błędem i nie powinno występować, dlatego też gdy  $\gamma < k_g$ , tj. gdy granica ekstrapolacji nie osiągnie granicznej wartości pojedynczych wymian szyn, ukaże się komunikat, że nie zachodzi potrzeba planowania wymiany ciągłej. W przeciwnym przypadku zostanie wyznaczona wartość obciążenia granicznego  $Q_g$  oraz – przy znanym natężeniu przewozów  $q$  [Tg/rok] – czas  $t$ , po którym zostanie osiągnięta wartość  $k_g$

$$t = \frac{Q_\gamma - Q}{q} \quad (4)$$

Wartość  $k_g$  będzie zależała od kategorii linii, częściowo zaś – od dysponowanych zasobów na wymiany.

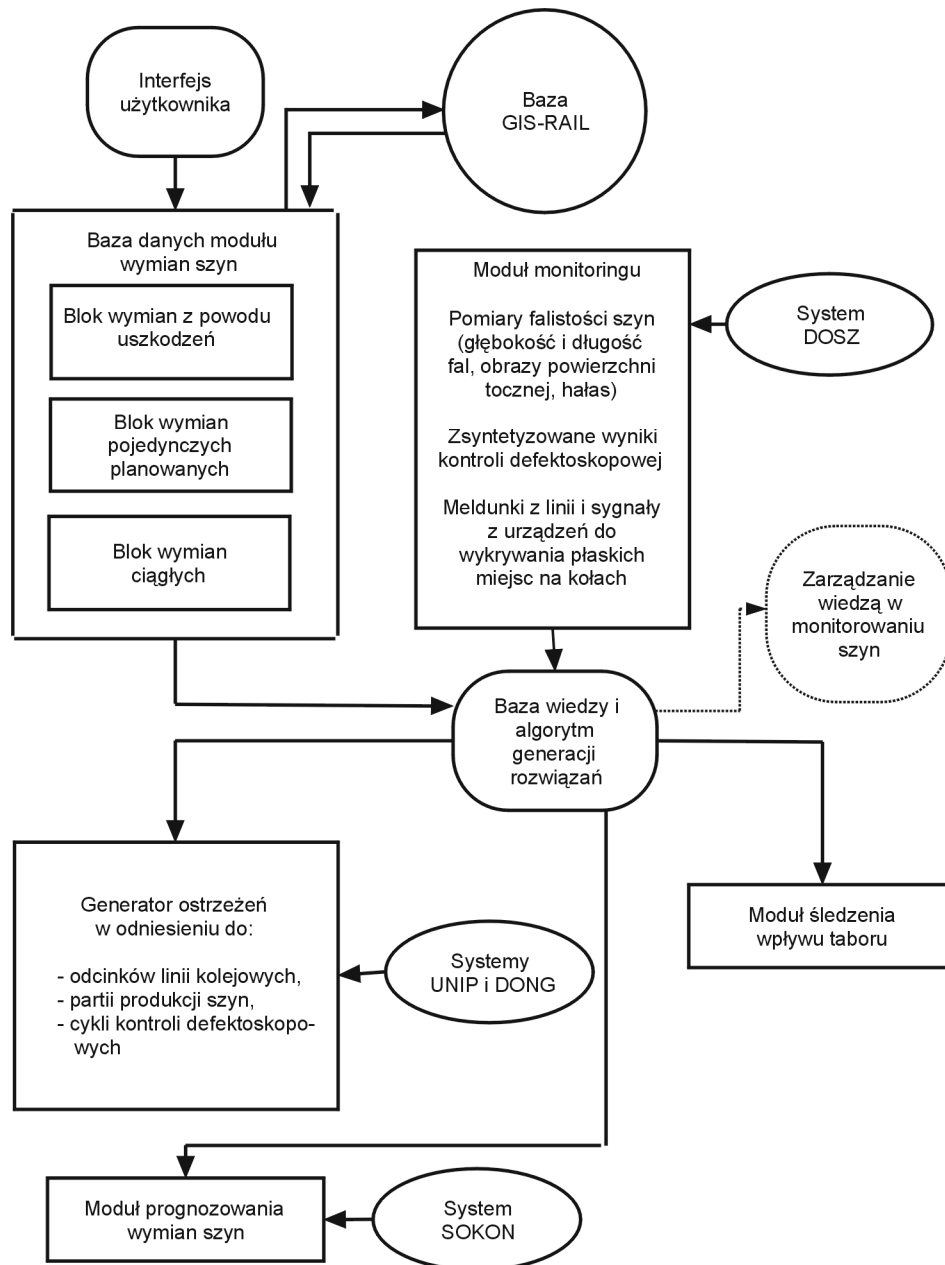
Przedstawiona zasada, opierająca się na założeniu ekstrapolacji trendu pęknięć szyn, nie daje możliwości korygowania prognozy, które może się okazać celowe, zwłaszcza gdy weźmie się pod uwagę, że pewne czynniki mające wpływ na pęknięcie szyn i szerzej – na degradację nawierzchni – mogą zmienić się w czasie odpowiadającym różnicy obciążeń  $Q_\gamma - Q$ . Korekta taka może się też okazać konieczna, gdy na podstawie dotychczasowych obserwacji stwierdzi się, jakie czynniki wpływają w największym stopniu, w podobnych warunkach eksploatacyjnych, na przebieg pęknięć.

Prognozy oparte wyłącznie na obliczeniach trendu narastania pojedynczych wymian szyn nie mogą więc uwzględnić licznych cech opisowych, wpływających na uszkodzenia. Po odpowiednim zapełnieniu bazy, prognozy dalszego przebiegu pęknięć, a co za tym idzie - plany wymian ciągłych, zostaną oparte nie tylko na ekstrapolacji trendu, lecz będą również korygowane w zależności od warunków słabo ustrukturalizowanych, tj. m.in. od takich cech, których nie można wyrazić liczbowo.

Cechy te można jednak wykorzystać w bazie wiedzy. Budowa tej bazy rozpocznie się od kreślenia wartości atrybutów. Będą to:

- wartości lingwistyczne, np. *zły stan złącz*,
- cechy alternatywne, np. na pytanie czy odcinek jest położony w miejscu rozruchu lub hamowania pociągów może to być udzielona odpowiedź *tak*.

W bazie wiedzy mogą się również znaleźć wartości liczbowe, np. przedziały promieni łuków, odchylenia standardowe nierówności toru, naciski osi. Po określeniu wartości wszystkich atrybutów przystąpi się do tworzenia reguł typu *if-then-else*.



Rys. 3. Struktura modułu

W elipsach pokazano istniejące już aplikacje, które będą współdziałały z systemem SMOS

Informacje gromadzone w module umożliwią uzyskiwanie wyników ułatwiających racjonalne planowanie wymian szyn i ich szlifowania oraz wyników o charakterze ostrzegawczym, tj. o dużym prawdopodobieństwie wystąpienia sytuacji krytycznych. Zależnie od szczegółowego zadania, wyniki będą miały charakter liczbowy lub postać konkluzji słownych. Wyniki te można podzielić na następujące grupy:

1. Statystyki wymian z podziałem na przyczyny, rodzaje wad, warunki eksploatacyjne, roczniki i ewentualnie partie produkcji szyn, geografie sieci kolejowej, warunki klimatyczne, konstrukcję nawierzchni, syntetyczną ocenę jej utrzymania itp. kryteria.

2. Konkluzje informujące o konieczności wymian i ich hierarchii, celowości ograniczeń prędkości pociągów i zmianie cykli kontroli defektoskopowych.
3. Prognozy dotyczące przewidywanej trwałości szyn na poszczególnych odcinkach linii kolejowych i komunikaty wczesnego ostrzegania o mogących wystąpić w niedługim czasie niekorzystnych zjawiskach.
4. Komunikaty o zagrożeniach mogących wystąpić w najbliższym okresie.

Ogólny schemat tego modułu przedstawia rysunek 3. Edytowane wyniki będą uzupełniane przez dotychczasowe, wymienione już systemy wspomaganie decyzji, współpracujące z systemem GIS-RAIL.

### 3.2. Moduł oceny możliwości i czasu pozostawienia w torze szyn z wykrytą wadą

Od dłuższego już czasu są wysuwane postulaty opracowania w miarę obiektywnych zasad, określających czas lub obciążenie, które może przenieść szyna z wykrytą wadą. Zasady te powinny ułatwić zakwalifikowanie szyn mających wady do poszczególnych podzbiorów różniących się okresem pozostawiania w torze i dopuszczalną prędkością. Konieczność rozpatrywania, przy kwalifikowaniu szyn do takich podzbiorów, czynników słabo ustrukturalizowanych nasuwa koncepcję zastosowania do tego celu hybrydowego systemu eksperckiego. W części algorytmicznej tego modułu byłyby obliczane m.in. zmieniające się charakterystyki geometryczne szyn w funkcji rozwoju wad oraz intensywność tego rozwoju.

Mając oszacowane powierzchnie pęknięć zmęczeniowych (na podstawie kontroli defektoskopowej) można określić względne zmniejszenie wskaźników wytrzymałości szyn  $W_i$  oraz  $W_{i+1}$  w stadium badań  $i$  oraz  $i+1$ .

$$\Delta W_i^q = 100 \frac{W_i - W_{i+1}}{\Delta q_i W_{nom}} \quad [\%/Tg] \quad (5)$$

gdzie:

$\Delta q_i$  – przyrost obciążenia w okresie  $(i+1) - i$ ,

$W_{nom}$  – nominalna wartość wskaźnika wytrzymałości szyny.

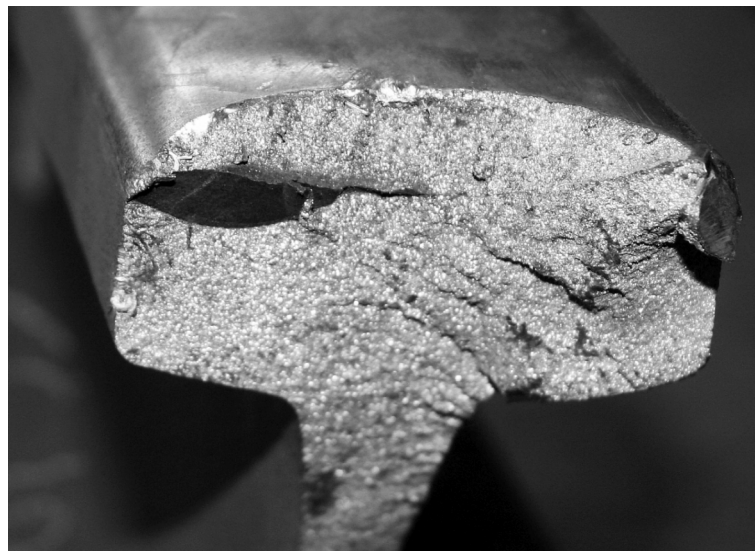
Przykład: badanie w kwietniu  $W_i = 321 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ , badanie w październiku  $296 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ ,

$W_{nom} = 335,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ ,  $\Delta q = 7 \text{ Tg}$ ,

$$\Delta W_i^q = 100 \frac{321 - 296}{7 \cdot 335,5} = 1,06 \quad [\%/Tg]$$



Rys. 4. Pęknięcie zmęczeniowe w jednym z przełomów szyny na szlaku *Wronki–Miały*.  
Zmniejszenie wskaźnika wytrzymałości tej szyny wynosi wskutek tego pęknięcia ok. 13 %.



Rys. 5. Stare, zardzewiałe pęknięcie w główce szyny oraz wychodząca z niego szczelina w prawo (również jeden z przełomów na szlaku *Wronki– Miały*)

Wynik obliczeń oparty na przyroście między dwoma badaniami nie daje jednak pełnego obrazu stopnia szkodliwości wady. Składa się na to kilka przyczyn. Pierwszą jest trudność określenia kształtu wady podczas kontroli defektoskopowej. Wady te mają zwykle kształty nieregularne, w związku z czym wynik obliczeń jest tylko wynikiem przybliżonym (rys. 4). Drugą, jeszcze ważniejszą przyczyną, jest trudność określenia wpływu karbu, jaki tworzy pęknięcie zmęczeniowe, oraz połączone niekiedy z nim rozchodzące się wąskie szczeliny (rys. 5). Przyczyna trzecia to nieliniowy charakter funkcji

$$\frac{\Delta W}{W_{nom}} = \varphi(T, v, N, K), \quad (6)$$

gdzie:

$v$  – prędkość,

$N$  – nacisk osi,

$K$  – cechy konstrukcyjno-utrzymeniowe nawierzchni,

$T$  – charakterystyka i stan taboru (poza naciskami osi).

Znajomość funkcji (6) umożliwiłaby obliczenie prawdopodobnych maksymalnych naprężeń w szynie w znanych warunkach eksploatacyjnych. Ich wartość nie jest jednak całkowicie wystarczająca. Dodatkowo potrzebna byłaby wiedza o spektrum obciążeń uwzględniającym również przypadki skrajne, jak oddziaływanie kół z płaskim miejscem, zmieniających się własnościach sprężysto-tłumiącym podłoża i innych jeszcze cechach, które mogą wpływać na intensywność rozwoju wad wewnętrznych.

Część wymienionych czynników można oszacować na podstawie udzielanych, przez użytkowników, odpowiedzi na pytania wynikające z reguł heurystycznych zawartych w bazie wiedzy systemu eksperckiego.

Można więc, sądzić, że taki system, dobrze zbudowany, mógłby w znacznym stopniu wspomóc osobę podejmującą decyzję o terminie wymiany szyny, w której wykryto wadę, bądź o potrzebie jej obserwacji.

Inną metodą wspomagającą podejmowanie decyzji o możliwości pozostawienia w torze szyn mających wykryte wady wewnętrzne może się stać sztuczna sieć neuronowa. W warstwie wejściowej takiej sieci powinno być kilkanaście neuronów dotyczących:

- charakterystyki eksploatacyjnej danego odcinka linii kolejowej,
- charakterystyki konstrukcji drogi kolejowej,
- stanu nawierzchni i podtorza,
- rozmiaru wady i intensywność jej rozwoju,
- cech stali szynowej,
- charakterystyk taboru.

W warstwie wyjściowej znalazłyby się trzy neurony:

- czas, przez jaki określona szyna może pozostawać w torze (szczególnym przypadkiem byłby tu czas równy 0, tj. konkluzja o konieczności natychmiastowej wymiany),
- prędkość, przy której szyna ta może być eksploatowana,
- cykle kontroli defektoskopowej.

Zaletą sztucznej sieci neuronowej, w porównaniu z systemem eksperckim, jest możliwość wykrywania takich związków przyczynowo-skutkowych, które mogą ująć uwadze eksperta tworzącego bazę wiedzy. Do zbudowania takiej sieci neuronowej potrzeba jednak kilku tysięcy przykładów tworzących ciągi uczące i testowe. Powstanie omawianego modułu systemu SMOS, w odróżnieniu od modułu pierwszego, wymaga więc dłuższego czasu. Gromadzenie danych historycznych powinno jednak rozpocząć się jak najszybciej. Nie jest wykluczone, że dalszy rozwój metod wykrywania wad będzie polegał na wbudowaniu sieci neuronowej jako implementacji sprzętowej do aparatury kontrolno-pomiarowej. Ocena szkodliwości wad byłaby wówczas w dużym stopniu zautomatyzowana i oparta na zasadach obrazowo-porównawczych.

## **4. SYSTEM SMOS JAKO ZACZĄTEK ZARZĄDZANIA WIEDZĄ W ZAKRESIE DRÓG KOLEJOWYCH**

### **4.1. Celowość rozpoczęcia prac nad zarządzaniem wiedzą w monitorowaniu szyn**

Zarządzanie wiedzą jest systemem, w którym przedsiębiorstwo gromadzi, organizuje, rozdziela i analizuje wiedzę indywidualnych osób i zespołów w danej organizacji w sposób wpływający bezpośrednio na jej działalność. Jest ono jednym z najczęstszych systemów zarządzania w Europie Zachodniej i USA.

Różnica między informacją a wiedzą jest istotna. Wiedzą bowiem jest informacja połączona z doświadczeniem, którą można wykorzystać w konkretnych okolicznościach. Wiedza polega w mniejszym stopniu na ilości informacji, w większym zaś na liczbie połączeń między informacjami [26]. Informacja jest niezależna od kontekstu, natomiast wartość wiedzy w dużym stopniu od niego zależy [31]. Osoby dysponujące informacją mogą udzielić odpowiedzi na pytania: *co? kto? gdzie? kiedy?* Osoby zaś mające wiedzę potrafią ponadto wyjaśnić *jak?* i *dlaczego?* Odpowiedź na dwa ostatnie pytania w odniesieniu do uszkodzeń szyn, różnic ich trwałości i sposobów jej zwiększenia w konkretnych warunkach eksploatacyjnych ma znaczenie decydujące.

Wiedza dotycząca tych zagadnień powinna być udostępniana właściwym pracownikom we właściwym czasie. Istnieje ogólny pogląd o łatwości uzyskania w obecnych czasach informacji, którą ponadto można znacznie łatwiej skodyfikować. Informację dostarczają czasopisma, książki, Internet oraz Intranet. Nie można jednak tego poglądu odnieść do diagnostyki dróg kolejowych, nie ma bowiem w tym obszarze Intranetu, natomiast w Internecie można znaleźć informacje niezbyt szczegółowe, a takie czasopisma jak *Drogi Kolejowe*, czy *Przegląd Kolejowy* przestały dawno istnieć. Lukę po nich stara się wypełnić kwartalnik *Problemy Kolejnictwa*.



System zarządzania wiedzą, mający też funkcje dzielenia się nią w danej organizacji, przeciwdziała częściowo również zjawisku tzw. *retencji wiedzy*, tj. jej utracie powodowanej odchodem pracowników. Istnieje nawet pojęcie *lepkości wiedzy*, tj. jej przywiązania do określonych osób lub pewnych tylko działów przedsiębiorstwa, o której inni zainteresowani wcale nie wiedzą [29]. Można spotkać się z opinią, że organizacja o średniej wielkości traci w ciągu 5 ÷ 10 lat połowę nagromadzonej wiedzy wskutek odejść jej pracowników. Straty tego rodzaju powstały również w dziedzinie dróg kolejowych. Jest to też jednym z czynników przemawiających za podjęciem prac nad wprowadzeniem zarządzania wiedzą, które przyczynią się do wzrostu kwalifikacji oraz innowacyjności. Zarządzanie wiedzą jest obecnie najpopularniejszą koncepcją zarządzania w Europie Zachodniej i USA [31].

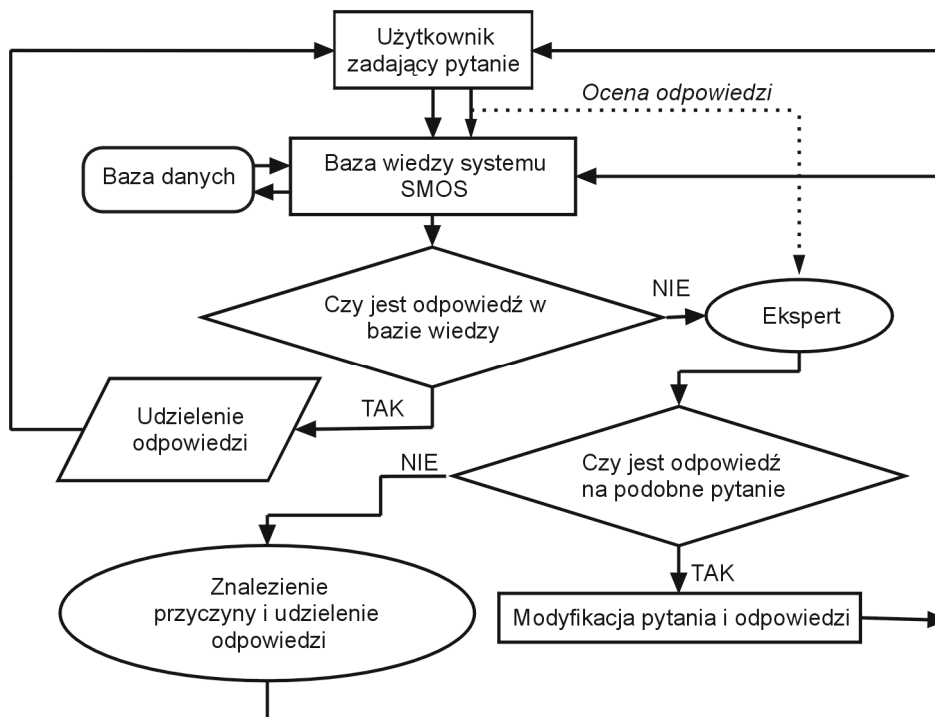
Do szczegółowego opracowania systemu zarządzania wiedzą w monitorowaniu szyn należałoby przystąpić po uruchomieniu pierwszego modułu systemu SMOS i zebraniu doświadczeń z jego co najmniej rocznego użytkowania. Wprowadzenie systemu zarządzania wiedzą w monitorowaniu szyn miałyby dwojakie znaczenie:

- 1) stanowiłoby pierwszy moduł zarządzania wiedzą w diagnostyce nawierzchni, a później w całej infrastrukturze kolejowej i umożliwiłoby zebranie doświadczeń z budowy tego systemu, które można by następnie wykorzystać w innych systemach specjalistycznych, połączonych z systemem GIS-RAIL;
- 2) ułatwiłoby wyciąganie wniosków z nietypowych, a więc rzadko spotykanych, wyników obserwacji złamań i pęknięć szyn, które są zawsze związane z bezpieczeństwem jazdy.

#### **4.2. Struktura zarządzania wiedzą w zakresie monitorowania szyn**

System zarządzania wiedzą w zakresie monitorowania szyn przedstawiony na rysunku 6 opiera się na zasadzie pytań i odpowiedzi. Użytkownik natrafiający na problem z identyfikacją przyczyny pęknięcia szyny, przedwczesnego zużycia, celowości zmiany cykli kontroli defektoskopowych itp. zadaje pytanie posługując się znanymi mu kodami lub słowami kluczowymi, system zaś wyszukuje odpowiedź w bazie wiedzy. Gdy w bazie tej nie ma gotowej odpowiedzi, wówczas użytkownik zostaje o tym powiadomiony krótkim komunikatem, a pytanie zostaje skierowane do eksperta lub kilku ekspertów jednocześnie.

Ekspert, pod którym to pojęciem należy rozumieć również wytypowane zespoły wyspecjalizowanych jednostek badawczych, sprawdza, czy w bazie wiedzy nie znajduje się odpowiedź na pytanie sformułowane nieco inaczej i w przypadku pozytywnym wprowadza to pytanie do bazy, skąd trafia też ono do osoby pytającej wraz z odpowiedzią.



Rys. 6. Schemat zarządzania wiedzą w monitorowaniu szyn

W przypadku braku odpowiedzi w bazie wiedzy, ekspert znajduje związki przyczynowo-skutkowe między warunkami eksploatacyjnymi, konstrukcyjnymi, technologicznymi itp. a zaistniałym uszkodzeniem lub powodami wymian ciągłych, formułuje odpowiedź, wprowadza ją do tej bazy, skąd dociera ona do użytkownika. Tenże po uzyskaniu odpowiedzi powinien ją ocenić w skali punktowej<sup>7</sup>. Oceny takie, przypisane do udzielonych odpowiedzi, ułatwiają ekspertom wprowadzenie ewentualnych modyfikacji. Muszą też oni stale aktualizować bazę wiedzy i usuwać te jej fragmenty, które utraciły aktualność, co sprawia, że budowa konkretnego systemu zarządzania wiedzą nie ma oznaczonego końca. Dzięki takiemu cyklowi wiedza wykorzystywana zyskuje na wartości i odwrotnie – wiedza, z której w ogóle się nie korzysta – stopniowo eroduje.

Kluczowe znaczenie w budowie bazy wiedzy z zakresu monitorowania szyn, a następnie z diagnostyki dróg kolejowych, ich utrzymania itd. będzie mieć właściwe sklasyfikowanie zagadnień. W niektórych opracowaniach, np. [17] można spotkać stwierdzenia, że o skuteczności zarządzania wiedzą decyduje zasada *taksonomia przed technologią*<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> Na przykład w systemie zarządzania wiedzą pod nazwą *Pyton Enterprise* opisanym w Internecie ([www.pyton.pl/km3.asp](http://www.pyton.pl/km3.asp)) jest skala pięć punktowa.

<sup>8</sup> W ścisłym tego słowa znaczeniu taksonomia jest nauką o klasyfikacji roślin i zwierząt. W literaturze angielskojęzycznej, np. w *Roget's International Thesaurus*, można jednak spotkać jej szersze znaczenie, tj. jako nauki o wszelkiej klasyfikacji.

W bazie wiedzy monitorowania szyn trzeba będzie zastosować kilka poziomów klasyfikacji. Fragment jednego z możliwych przykładów (z pominięciem kodowania) przedstawia tablica 1.

Tablica 1

**Fragment klasyfikacji systemu zarządzania wiedzą w monitorowaniu szyn**

Poziom 1	Poziom 2	Poziom 3	Poziom 4
... Wymiany ciągłe ...	... Charakterystyka eksplo- atacyjna ...	... Nacisk osi ...	... Wpływ nacisku na po- wstanie wady <i>head checking</i>
	Cechy materiałowe ...	Twardość ...	... Wpływ na zużycie boczne
Złamania	Zmęczeniowe ...	Wielkość wady ...	... Rozwój w kolejnych kon- trolach defektoskopowych

Zarysowana koncepcja zakłada, że system zarządzania wiedzą w monitorowaniu szyn byłby budowany jako system wyspecjalizowany od samego początku. Warto jednak zauważyć, że istnieje już wcale niemała liczba gotowych systemów, w których tylko trzeba uzupełnić bazę wiedzy i adaptować niektóre moduły.

W bazie wiedzy monitorowania szyn powinna być gromadzona wiedza ekspertów, a nie informacje, które bez większego trudu można znaleźć w podręcznikach, przepisach i instrukcjach, te bowiem mogą być przechowywane w bazie danych. Wiedzę ekspertów należy gromadzić zawczasu, zbierając zwłaszcza obserwacje z przypadków rzadkich, np. z dobrze zbadanych przyczyn wykolejeń, ekspertyz opartych na podstawach naukowych, obserwacji nowych technologii itp.<sup>9</sup> Archiwizować trzeba również odpowiedzi na zadawane przez użytkowników pytania.

## 5. TECHNIKA BADAŃ SZYN

Z budową systemu SMOS wiąże się modernizacja drezyny pomiarowej EM-120, tj. jej dostosowanie, pod względem sprzętowym i oprogramowania, do multimedialnych pomiarów falistości szyn oraz badań ich powierzchni tocznych, z ewentualną, dodatkową opcją kontroli defektoskopowej [3].

<sup>9</sup> Pewien zasób wiedzy zgromadzono prowadząc np. takie badania, jak przyczyny wykolejenia w Reptowie i złamań szyn na szlaku *Wronki-Miały*. Przyniosły one część obserwacji nie znanych wcześniej.

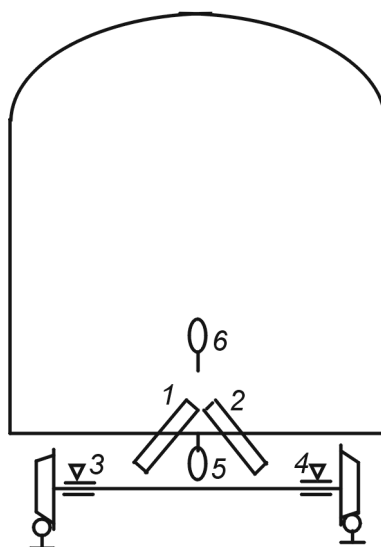
Podstawowe wyposażenie pomiarowe tej drezyny to:

- 1) układ nadajników przyspieszeń, jako źródło sygnałów do określania krótkich nierówności na powierzchni tocznej toków szynowych;
- 2) kamery do rejestracji wad na powierzchni tocznej szyn;
- 3) mikrofony do pomiaru hałasu we wnętrzu drezyny oraz na jej podwoziu;
- 4) standardowe wyposażenie do pomiaru nierówności toru.

Dalsze analizy mogą wykazać celowość wyposażenia drezyny w dodatkowe, następujące urządzenia:

- a) dwa dalmierze laserowe do pomiaru odległości budynków od osi toru (czynnik przy ocenie celowości szlifowania szyn, jako zabiegu zmniejszającego hałas),
- b) głowice defektoskopowe ultradźwiękowe i indukcyjne (te ostatnie do wykrywania wad umiejscowionych bezpośrednio pod powierzchnią toczną, umożliwiające ich rejestrację przy prędkości pomiarowej 80 – 100 km/h,
- c) układ pozycjonowania satelitarnego GPS.

Oprócz pomiaru nierówności na powierzchni tocznej szyn, wykonywanego przez układ z nadajnikami przyspieszeń 3 i 4 (rys. 7) byłyby rejestrowane: obraz powierzchni główek przez kamery 1 i 2 oraz hałas na poziomie kół, mierzony przez układ z mikrofonem 5 i hałas w wagonie, rejestrowany przez ten sam układ, lecz z mikrofonem 6. Tak wyposażony pojazd pomiarowy, spełniający również inne funkcje, głównie zaś mierzący wszystkie nierówności toru, umożliwi uzyskanie pełnego obrazu nawierzchni, co niewątpliwie ułatwi jej oszczędne, a zarazem bezpieczne utrzymanie.

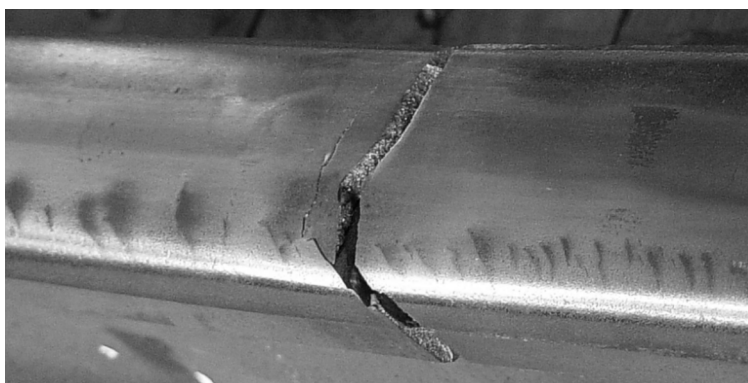


Rys. 7. Schemat ideowy pojazdu do multimedialnego badania falistości szyn

Wymienione urządzenia powinny być oprogramowane z zachowaniem zasady, iż wyniki pomiarów będą edytowane, po wyborze odpowiednich kanałów, na ekranach monitorów znajdujących się w dreźnie i przenoszone do lokalnej bazy systemu SMOS w celu dalszego wykorzystania. Wskaźniki syntetyczne z tej bazy będą trafiały do ogólnej bazy systemu GIS-RAIL. Przekroczenia określonych wielkości zagrażających bezpieczeństwu jazdy będą sygnalizowane w dreźnie w chwili ich zarejestrowania.

Wszystkie wyniki pomiarów zostaną odniesione do kilometrażu danej linii kolejowej. W pewnych punktach charakterystycznych będą zapisywane również współrzędne GPS, wiążące te wyniki z ogólną bazą GIS-RAIL.

Modernizacja tej dreźny stworzy możliwości multimedialnego badania falistości szyn, wykraczającego znacznie poza pomiar i ocenę samego zużycia falistego. Sprawi to głównie jedna z trzech funkcji tego badania, tj. rejestrowanie obrazu powierzchni główek szyn, a zatem możliwość wykrywania znajdujących się na nich wad o charakterze kontaktowo-zmęczeniowym, przede wszystkim nadpęknięć znanych pod nazwą *head checking* [19]. Nie usunięte w porę nadpęknięcia na powierzchni tocznej mogą się stać przyczyną pęknięć i złamań szyn, podobnych do przedstawionego na rysunku 8. Niebezpieczne jest zwłaszcza takie stadium nadpęknięć, których głębokość sprawia, że ich usunięcie podczas szlifowania wymagałoby zdjęcia zbyt grubej warstwy stali.



Rys. 8. Pęknięcie szyny zapoczątkowane rysą na zaokrągleniu główki (*head checking*)

Adaptacja dreźny pomiarowej EM 120 do pełnienia proponowanych funkcji mogłaby mieć charakter stopniowy i tak np. pierwszym układem dodanym do istniejącego w niej standardowego układu pomiaru nierówności toru mógłby być układ optyczny, którego potrzeba w świetle ostatnich doświadczeń staje się bardzo odczuwalna.

## 6. UWAGI KOŃCOWE

Przez wiele jeszcze lat stan nawierzchni kolejowej w Polsce będzie się pogarszał. Zaległości w jej wymianach i naprawach są bowiem tak duże, że zasoby, jakimi dysponują PLK SA są niewystarczające do powstrzymania procesu degradacji nawierzchni w skali całej eksploatowanej sieci. Zapewnienie bezpieczeństwa ruchu kolejowego w tych warunkach będzie coraz trudniejsze. Pomocą kadrze technicznej odpowiedzialnej za to bezpieczeństwo powinny się stać m.in. nowoczesne narzędzia informatyczne. Proponowany system monitorowania szyn, zintegrowany z systemem GIS-RAIL jest takim właśnie narzędziem. Jego opracowanie i wprowadzenie na całą sieć kolejową w Polsce stanowiłoby nie tylko istotny krok w kierunku zmniejszenia groźnych następstw, jakie stwarzają pęknięcia i złamania szyn, lecz przyczyniłoby się również do usprawnienia gospodarki nawierzchniowej poprzez ułatwienie hierarchizowania napraw w ramach bardzo ograniczonych zasobów. Oprócz rozpoczętych ostatnio prac nad bazą rozjazdów pod nazwą ROZBA-R1 [9] prace nad systemem SMOS powinny należeć do grupy najważniejszych aplikacji, jakie będą dostosowane całkowicie do współpracy z ogólną bazą systemu GIS-RAIL.

W dalszej perspektywie w systemie tym znajdują się również systemy zarządzania wiedzą. Nie jest to jednak przyszłość tak daleka jakby się mogło wydawać.

## BIBLIOGRAFIA

1. *Armstrong R.A., Wells T.R., Stone D.H., Zaremski A. M.*: Impact of car loads on rail defect occurrences. Second International Heavy Haul Conference, Colorado Springs 1982.
2. *Bałuch H.*: Diagnostyka nawierzchni kolejowej. WKŁ, Warszawa 1978.
3. *Bałuch H.*: Koncepcja systemu monitorowania szyn. Praca CNTK, nr 8065/61. Warszawa 2004.
4. *Bałuch H.*: Koncepcja systemu wspomagającego eksploatację i modernizację infrastruktury kolejowej. Praca CNTK nr 4133/11, Warszawa 2005.
5. *Bałuch H.*: Numeryczna metoda prognozowania ciągłych wymian szyn. Archiwum Inżynierii Łądowej 1973, nr 1.
6. *Bałuch H.*: System wspomagania decyzji o szlifowaniu szyn "DOSZ". Cz. 1. Założenia i algorytm. Praca CNTK nr 3134/11, Warszawa 2003.

7. *Bałuch H.*: Trwałość i niezawodność eksploatacyjna nawierzchni kolejowej. WKŁ, Warszawa 1980.
8. *Bałuch H.*: Wskaźniki syntetyczne opisujące infrastrukturę kolejową. Praca CNTK nr 4135/11, Warszawa 2005.
9. *Bałuch H., Bałuch M.*: Szczegółowa koncepcja bazy elektronicznego toromierza ręcznego ROZBA-R1. Praca CNTK nr 4118/11, Warszawa 2005.
10. *Dietrich I., Socha G.*: Monitorowanie rozwoju uszkodzeń zmęczeniowych w jednoosiowym i złożonym stanie naprężeń. Seminarium CNTK „Właściwości szyn i ich znaczenie w eksploatacji w świetle wymagań europejskich“, Warszawa 2005.
11. *Duffel C., Rudrum M., Willis M.*: Automated remote sensing techniques for earthworks asset management. *Rail Engineering*, London 2004.
12. *Fastenrath F.*: Die Eisenbahnschiene. Verlag Von Wilhelm & Sohn, 1977.
13. *Fijałek M.*: Badanie i analiza trwałości nawierzchni kolejowej. Praca doktorska, Warszawa 1976.
14. *Hidaka H., Yamagata T., Suzuki Y.*: Structuring a new maintenance system. *Japanese Railway Engineering* 1998, nr 141.
15. How the rail shattered at Hatfield. *Railway Gazette International* 2001, nr 3.
16. *Jeong-Ryol Shin and oth.*: Computerized maintenance information system for urban transit infrastructure using information system technology. *Rail Engineering*, London 2004.
17. *Koenig M.*: The third stage of KM emerges. *KMWorld*, vol. 3, 3.1. 2002.
18. *Melentev L.P.* (red.): Relsy povyšennoj pročnosti dla osobo tiazelych uslovij eksploatacji. *Trudy VNIIZT*, Moskwa 1970 nr 428.
19. *Miklaszewicz I.*: Próba interpretacji wady head checking i udarność szyn. Seminarium CNTK „Właściwości szyn i ich znaczenie w eksploatacji w świetle wymagań europejskich“, Warszawa 2005.
20. *Priorytetowe kierunki badawcze. Opracowanie PAN oparte na pracach Komitetu Prognoz Polska 2000 Plus*, przy Prezydium PAN, 2005.
21. Przyczyny złamań szyn w torze nr 1 na szlaku Wronki-Miały w km 66,380. Praca zbiorowa CNTK. nr 4078/11, pod kier. *H. Bałucha*, Warszawa 2004.
22. *Purbrick M.C.*: The use of rail on British Railways. Second International Heavy Haul Conference, Colorado Springs 1982.
23. *Radomski R.*: Analiza uszkodzeń szyn wraz z prognozowaniem ich trwałości eksploatacyjnej. *Drogi Kolejowe* 1990, nr 12.

24. *Radomski R.*: Racjonalna gospodarka szynami w świetle badań eksploatacyjnych. Sympozjum Naukowo-Techniczne Zakładu Dróg Kolejowych CNTK, Warszawa 1987.
25. *Rodes A., Harrison J., Temple A.*: New decision support tool for track asset management. *Rail Engineering*, London 2004, nr
26. *Scheer A.W., Kocjan C., Markus U.*: Od modelowania danych do modelowania wiedzy struktury, narzędzia. *Informatyka* 1998, nr 2.
27. *Skvorcov O.S., Švarc J.F., Gračeva L.F.*: Techničeskaja diagnostika nadežnosti i sroka služby relsov. *Vestnik VNIŽT* 1969, nr 4.
28. *Smulders J.*: Management and research tackle rolling contact fatigue. *Railway Gazette International* 2003, nr 7.
29. *Strojny M.*: Teoria i praktyka zarządzania wiedzą. *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa* 2000, nr 10, s. 6–8.
30. *Tuzuka K.*: To know what is unknow. Quarterly Report RTRI 2003, nr. 1.
31. *Villegas, Jr. R.*: Knowledge Management White. [www.ismkt.com/kmwhite.htm](http://www.ismkt.com/kmwhite.htm)
32. *Wierzbicki A.P.*: Zagrożenia i szanse epoki informacji. Wywiad. *Informatyka* 1999, nr 2.
33. *Zaronceva G.V.*(red.): Kontrol relsov. Transport, Moskwa 1986.