

Henryk BAŁUCH  
CNTK, Warszawa

#### KONCEPCJA OCENY NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ Z ZASTOSOWANIEM SYSTEMÓW BAZ WIEDZY

**Streszczenie.** W pierwszej części referatu przedstawiono zdobycze techniki eksperymentalnej nawierzchni kolejowej w dwóch ostatnich dekadach oraz wyniki niektórych badań w tej dziedzinie. Scharakteryzowano również pewne problemy oczekujące rozwiązania. Druga część referatu obejmuje metodologiczne przykłady ilustrujące rozszerzenie teorii niezawodności nawierzchni kolejowej o nowe klasy analiz.

#### 1. WSTĘP

W ciągu ostatnich kilkunastu lat do badań nawierzchni kolejowej włączono nową technikę pomiarową. Ciągły pomiar sił na styku koła z szyną, przyspieszeń w pojazdach szynowych, jednocześnie wielopunktowe pomiary nierówności toków szynowych wykonywane wagonami pomiarowymi nowej generacji, wreszcie nie prowadzone dawniej na taką skalę systematyczne obserwacje zużycia i uszkodzeń szyn pozwoliły zgromadzić olbrzymią ilość wyników liczbowych, a wśród nich wyniki, które odbiegają od znanych modeli teoretycznych.

#### 2. PRZYKŁADY WYNIKÓW NIEKTÓRYCH BADAŃ NA TLE DOTYCHCZASOWYCH POGLĄDÓW

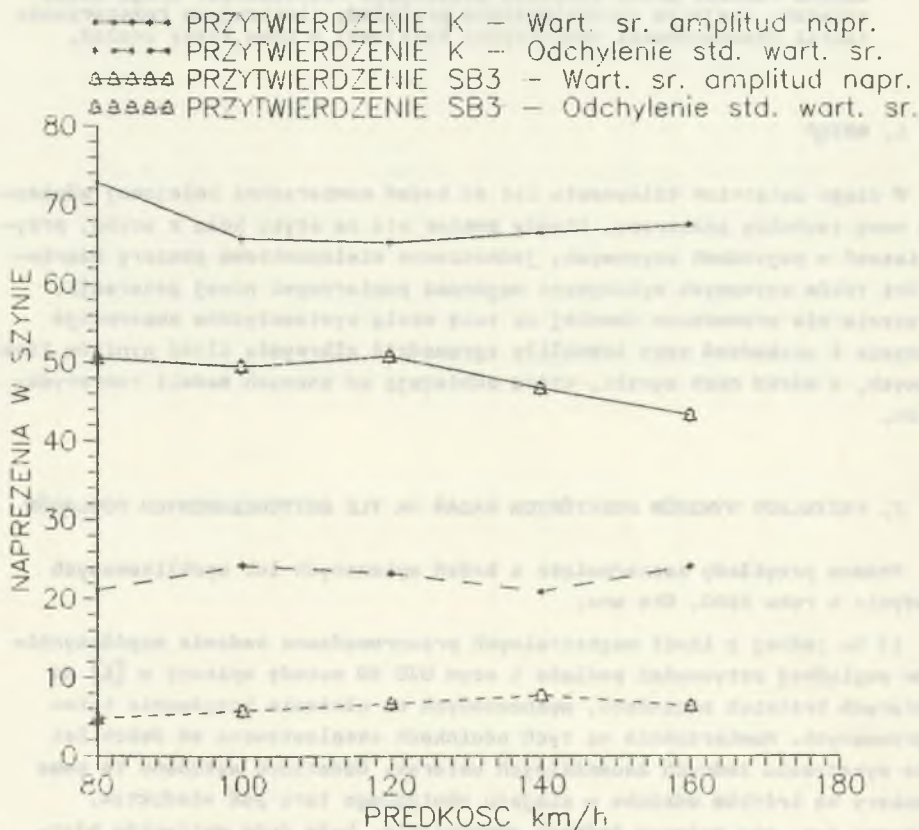
Podane przykłady zaczerpnięto z badań wykonanych lub opublikowanych jedynie w roku 1990. Oto one.

1) Na jednej z linii magistralnych przeprowadzono badania współczynników względnej sztywności podłoża i szyn UIC 60 metodą opisaną w [1] na czterech krótkich odcinkach, wyznaczonych do ułożenia krzyżownic kutozgrzewanych. Nawierzchnia na tych odcinkach eksploатовana od dwóch lat nie wykazywała żadnych zauważalnych usterek. Dodatkowo wykonano te same pomiary na krótkim odcinku w miejscu obniżonego toru pod wiaduktem. W torze tym, nie mającym żadnego odwodnienia, było dużo wytrysków błotnych, a stojąca woda sięgała prawie do górnej powierzchni podkładów. Współczynniki względnej sztywności podłoża i szyny w miejscu zabłoconej

podsyпки wynosiły około  $1,2 \text{ m}^{-1}$ , w pozostałych zaś przekrojach wahały się od  $1,1$  do  $1,2 \text{ m}^{-1}$ .

2) W pracy [9] Radomski przedstawił dużo wyników badań zużycia bocznego szyn w zależności od promieni ich krzywizn. W każdym przypadku z wyjątkiem jednego uzyskiwał istotną ujemną zależność korelacyjną. W jednym przypadku zależność ta okazała się dodatnia. Pomiary i ich analiza były przeprowadzone poprawnie. Ten sam Autor, prowadząc dokładne obserwacje uszkodzeń szyn w torach o łącznej długości ponad 1000 km stwierdził, że na dwóch porównywalnych odcinkach wskaźnik pęknięć szyn może się różnić nawet dwukrotnie.

3) Badania dynamiczne nawierzchni na podkładach drewnianych z przytwierdzeniem typu K oraz na podkładach betonowych z przytwierdzeniem typu SB 3, wykonane na linii Warszawa-Poznań wykazały, że średnia wartość oraz odchylenia standardowe naprężeń szyn w przedziale prędkości 80-160 km/h nie wykazują wzrostu (rys. 1).



Rys. 1. Amplitudy naprężeń w stopce szyny

Fig. 1. Stress amplitudes in rail foot

4) Shenton [10], syntetyzując badania wykonane przez Komitet ORE D 161 stwierdził, że rozmiar odkształceń nawierzchni jest bardzo zróżnicowany nawet na odcinkach wyglądających identycznie i przenoszących jednakowe obciążenie, a uzyskiwane współczynniki zmienności wynoszą od 0,25 do 0,75.

Przykłady te świadczą, że w nawierzchni kolejowej mogą wystąpić zjawiska nie poddające się tradycyjnemu opisowi. W pierwszym przykładzie tkwi niezgodność z uznawaną zasadą, że zanieczyszczenie i zawilgocenie podsypki zmniejsza jej sztywność. Na podstawie drugiego można uznać, że nawet w tych samych porównywalnych warunkach, uszkodzenia szyn są nie tylko funkcją obciążeń. W trzecim unaczyniono, jak ograniczoną przydatność mają różnorodne wzory współczynników dynamicznych w funkcji prędkości pociągów.

Przykładów takich jest więcej. Można je dostrzec też w praktyce nawierzchniowej bez posługiwania się technikami badawczymi. Do takich trudno wytłumaczalnych zjawisk należy np. zmiana kierunku pełzania szyn w torach klasycznych bez żadnej dostrzegalnej zmiany eksploatacyjnej lub konstrukcyjno-utrzymaniowej.

### 3. SYSTEMY BAZ WIEDZY O NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ

Zastanawianie się nad takimi przypadkami jak opisane w punkcie 2, prowadzi do stwierdzenia, że liczne zjawiska zachodzące w nawierzchni są słabo ustrukturalizowane, a więc nie dają się opisać funkcjami w postaci jawnej. Cechą uzyskiwanych wyników liczbowych jest też często ich duży rozrzut, nie dający się niekiedy logicznie wytłumaczyć.

Ten - zdawałoby się - niezrozumiały stan narastających wątpliwości przy głębszym wnikaniu w zjawiska, których do niedawna nie można było badać przy użyciu takiej aparatury, urządzeń i metod, jakimi się dysponuje obecnie, można wytłumaczyć na gruncie teorii zbiorów rozmytych [8]. Jej twórca, Zadeh stwierdził już znacznie wcześniej, że jeśli rośnie złożoność problemu, to możliwości opisanego go w kategoriach precyzyjnych maleją - innymi słowy - złożoność i precyzja opisu są ze sobą w sprzeczności. Z tego właśnie wywodzi się lingwistyczne podejście do analizy systemów, które zyskało już sobie dużą popularność.

Praktyka lingwistycznej oceny stanu toru jest zapewne tak długa, jak długo istnieje kolej. Jeszcze w okresie dysponowania wagonami pomiarowymi stosowano na PKP (a gdzieś tam stosuje się jeszcze obecnie) ocenę stanu toru na podstawie "rzutów wagonu", dzieląc te rzuty na bardzo silne, silne, przeciętne i słabe, przy czym zgodność tego wyczcucia wśród praktyków jest zaskakująco duża.

Przedstawione spostrzeżenia, a więc zawodność niektórych uznawanych dotychczas zasad opisu stanu nawierzchni, stawiają w trudnej sytuacji osoby, które muszą podejmować decyzje ograniczone z jednej strony ekonomią, z drugiej zaś bezpieczeństwem ruchu kolejowego. W okresie wprowa-

dzania na PKP dużych prędkości pociągów należy z góry wykluczyć, aby takie rozstrzygnięcia jak dopuszczalna prędkość pociągów lub największe nacięki osi przy konkretnym stanie nawierzchni, czy też konieczność wykonania określonej naprawy (zwłaszcza zaś bardzo kosztownych napraw głównych) opierały się jedynie na intuicji.

Sytuacja ta skłoniła autora do podjęcia próby opracowania nowych w swej koncepcji teoretycznej metod oceny nawierzchni kolejowej. Te nowe metody to zastosowanie w diagnostyce nawierzchni komputerowych systemów doradczych oraz nowa teoria wartościowania cech nawierzchni (teoria degradacji).

#### 4. KONCEPCJA KOMPUTEROWYCH SYSTEMÓW DORADCZYCH

Istotą tej koncepcji jest połączenie dotychczasowych metod algorytmicznych z reprezentacją wiedzy zgromadzonej przez ekspertów. Przy określaniu dopuszczalnych nacięków i prędkości pociągów częścią numeryczną systemu diagnostycznego będą znane lub zmodyfikowane metody obliczeń naprężeń w szynach, podkładach, podsypce i podtorzu oraz parametrów kinematycznych zależnych od układu geometrycznego (przyspieszeń i ich przyrostów), natomiast część ekspertowa będzie dotyczyć stanu podsypki i podtorza, stopnia zużycia podkładów i przytwierdzeń szyn oraz pewnych cech dynamicznych pojazdów szynowych.

W części ekspertowej będą utworzone pliki atrybutów i ich wartości, tworzące pewne przestrzenie stanów (przestrzenie rozpoznania), np. stanu podsypki, podtorza, podkładów, pliki reguł decyzyjnych oraz pliki konkluzji, do których dochodzi się od atrybutów poprzez reguły logiczne. Struktura wnioskowania w takich przypadkach jest strukturą drzewiastą, a więc mającą szereg konkluzji pośrednich.

#### 5. ISTOTA TEORII DEGRADACJI NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ

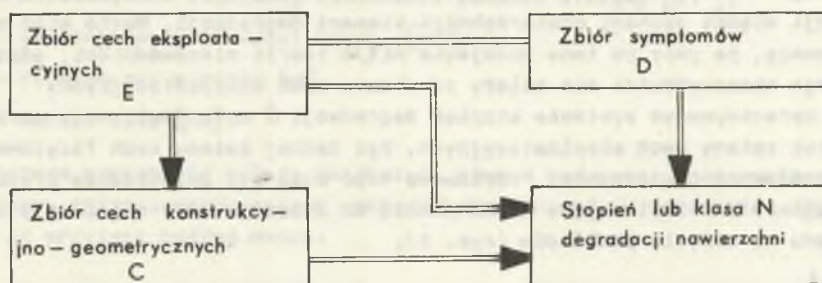
Rozpoznawanie degradacji nawierzchni kolejowej polega na przyporządkowaniu jej elementów do jednej ze skończonej liczby możliwych klas na podstawie znajomości cech eksploatacyjnych, konstrukcyjno-geometrycznych oraz symptomów diagnostycznych uzyskiwanych z pomiarów i obserwacji.

Zbiór cech konstrukcyjno-geometrycznych, tj. takich jak typ szyn, gatunek stali i rodzaj obróbki cieplnej, rodzaj, liczba i typ podkładów, promienie łuków, długości krzywych przejściowych itp. jest zbiorem  $c \in C$ ,  $c = (c_1, c_2, \dots, c_k)$ , którego elementy tworzące wektor cech pozostają nie zmienione w całym cyklu eksploatacji nawierzchni.

Własnością wektora symptomów diagnostycznych  $d \in D$ ,  $d = (d_1, d_2, \dots, d_w)$ , gdzie  $w$  - liczba symptomów, jest zmienność wartości elementów, np. zużycia szyn, stopnia zanieczyszczenia podsypki, docisku łapek itp. Zmiany te

są najczęściej funkcjami skumulowanego obciążenia lub czasu i stanowią przedmiot badań teorii degradacji.

Ograniczenie rozważań do zbiorów C i D umożliwia posługiwanie się dobrze znanym aparatem teorii niezawodności. Teoria degradacji nawierzchni wprowadza do rozważań trzeci zbiór cech, tj. zbiór cech eksploatacyjnych  $e \in E$ ,  $e = (e_1, e_2, \dots, e_z)$ . Do najważniejszych spośród tych cech należy prędkość pociągów, naciski osi (ewentualnie inne charakterystyki pojazdów szynowych), rodzaj ruchu, potencjał naprawczy nawierzchni itp. Cechy te nie zależą od symptomów diagnostycznych (zbioru D), mają natomiast wpływ na dobór charakterystyk konstrukcyjno-geometrycznych (zbiór C) oraz poprzez wpływ na symptomy - na stopień degradacji nawierzchni (rys. 2).



Rys. 2. Powiązania między cechami nawierzchni  
Fig. 2. Connections between railway track features

Wartości  $c_i$ ,  $d_i$ ,  $e_i$  mogą być całkowitoliczbowe (np. liczba podkładów na 1 km toru), rzeczywiste (np. zużycie boczne szyn), tekstowe (np. "duże" zachwaszczenie łąw torowiska) i dyskretyzowane (np. naciski osi w przedziale 180-200 kN).

Identyfikacja cech zbiorów C, D, E oraz odpowiedni algorytm rozpoznawania pozwalają zaliczyć nawierzchnię lub jej określony składnik do jednej z N klas degradacji  $j \in \{1, 2, \dots, N\}$ , tj. przyporządkować jej numer określonej klasy lub wartości z przedziału  $\langle 0, 1 \rangle$ , tzn. określić stopień degradacji  $\delta$ .

Określenie  $j$  na podstawie wprowadzonych informacji odnoszących się do  $c$ ,  $d$ ,  $e$ , a więc:

$$j = \Phi(c, d, e)$$

jest zadaniem budowanego systemu ekspertowego UNIP (Ustalanie Nacisków i Prędkości).

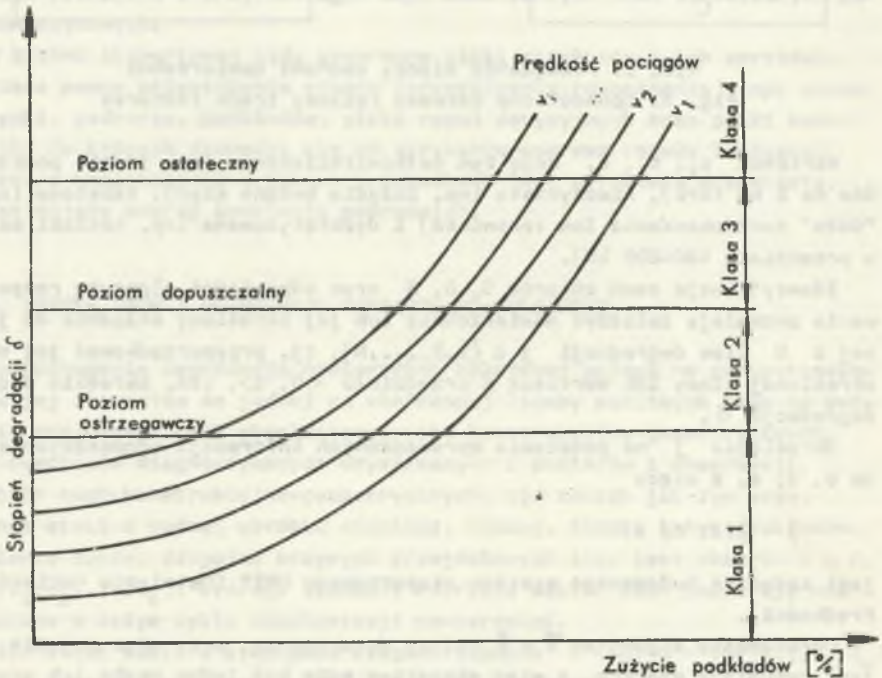
Opracowanie algorytmu  $\Psi = \Phi$  należy do eksperta, przy czym pojęcie to jest rozumiane szeroko, a więc ekspertem może być jedna osoba lub grupa specjalistów [5].

Degradacja nawierzchni jest pojęciem naturalnie nieprecyzyjnym. Istnieje więc możliwość stosowania jednego lub kilku sposobów jej zaliczania do poszczególnych klas degradacji. Mogą to więc być:

- ocena bezpośrednia dokonywana zazwyczaj subiektywnie,
- estymowanie ocen proponowanych przez ekspertów,
- istnienie funkcji przynależności do poszczególnych klas, jako funkcji w sensie matematycznym.

W systemie oceny degradacji nawierzchni stosowane są więc zarówno algorytmy numeryczne, jak i formuły podane przez eksperta utworzone wyłącznie ze zbioru formuł elementarnych za pomocą symboli logicznych  $\wedge$  ("i"),  $\vee$  ("lub"),  $\sim$  ("nie"),  $\Rightarrow$  ("jeśli to"),  $\Leftrightarrow$  ("wtedy i tylko wtedy"). Reprezentacja wiedzy w tym systemie jest więc przedstawiiona w postaci różnych relacji między cechami nawierzchni i klasami degradacji. Warto więc zwrócić uwagę, że jest to inne podejście niż w teorii niezawodności, gdzie funkcja niezawodności nie zależy od zbioru cech eksploatacyjnych.

W opracowywanym systemie stopień degradacji  $\delta$  może gwałtownie wzrosnąć wskutek zmiany cech eksploatacyjnych, bez żadnej zmiany cech fizyczno-materiałowych nawierzchni. Przykładem tego może być zwiększenie prędkości pociągów o  $\Delta v$  zaliczające nawierzchnię do wyższej klasy degradacji ze względu na zużycie podkładów (rys. 3).



Rys. 3. Klasy degradacji nawierzchni

Fig. 3. Classes of railway track degradation

## 6. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA

W systemie ekspertowym UNIP jedną z kilkudziesięciu sprawdzanych wielkości jest naprężenie rozciągające w stopce szyny przy zginaniu. W warunkach statycznych oblicza się je przy założeniu oddziaływań dwóch osi pojazdu (przyjęcie wózka trzyosiowego daje pomijalnie mały wpływ trzeciej osi) ze wzoru:

$$\sigma_0 = \frac{1}{4kW} (P_0(1 + e^{-ks}(\cos ks - \sin ks))) \quad [\text{MPa}], \quad (6.1)$$

gdzie:

$k$  - współczynnik względnej sztywności podłoża i szyny [ $\text{m}^{-1}$ ],

$W$  - wskaźnik wytrzymałości szyny [ $\text{m}^3$ ],

$s$  - rozstaw osi w wózku [ $\text{m}$ ],

$P_0$  - nacisk koła [ $\text{MN}$ ].

Obliczone naprężenie należy zwiększyć, biorąc pod uwagę jego rozrzut spowodowany zróżnicowanym stanem nawierzchni oraz wpływy dynamiczne. Zwiększenie to przyjęto według wzoru:

$$\sigma_{\max} = \sigma_0 \beta (1 + t \varepsilon) \quad [\text{MPa}], \quad (6.2)$$

gdzie:

$\beta$  - współczynnik zwiększający nacisk statyczny koła w łuku wskutek niedoboru lub nadmiaru przechyłki,

$\varepsilon$  - wartość zależna od współczynnika dynamicznego i stanu nawierzchni,

$t$  - wartość określająca przedział ufności.

Można spotkać zalecenia, aby współczynnik  $\beta$  przyjmować w granicach 1,1-1,3 [6, 7]. W istocie rzeczy zależy on od pewnych cech pojazdu i wartości przechyłki. Do czasu zebrania odpowiednich cech dynamicznych pojazdów szynowych współczynnik ten uzależniono tylko od nadmiaru lub niedomiaru przechyłki:

$$\beta = 1 + \frac{\Delta h}{300} \quad (6.3)$$

Przyjęcie zależności liniowej między współczynnikiem  $\beta$  a niedomiarem przechyłki wprost proporcjonalnym do niezrównoważonego przyspieszenia boczego, znajduje uzasadnienie m.in. w pracy [11]. Wartość  $\varepsilon$  przyjęto według wzoru [4]:

$$\varepsilon = \frac{v^2}{10^3} \quad (6.4)$$

gdzie:

$\varphi$  - współczynnik dynamiczny,

$J$  - syntetyczny wskaźnik jakości toru,

$\gamma$  - współczynnik wyrażający wpływ wieku nawierzchni.

Spośród wielu proponowanych postaci współczynników dynamicznych przyjęto postać, która wyraża wpływ prędkości w pierwszej potęgze, tj.:

$$\varphi = 1 + \frac{v - 60}{140} \quad \text{dla } v > 60 \text{ km/h} \quad (6.5)$$

Syntetyczny wskaźnik jakości toru według pracy [3] określa wzór:

$$J = \frac{S_z + S_y + S_w + 0,5 S_e}{3,5}, \quad (6.6)$$

gdzie:

$S_z$  - odchylenie standardowe nierówności pionowych,

$S_y$  - odchylenie standardowe nierówności poziomych,

$S_w$  - odchylenie standardowe wichrowatości toru,

$S_e$  - odchylenie standardowe szerokości toru.

Współczynnik  $\gamma$  wyraża wpływ, jaki na wzrost naprężeń w szynach wywiera plastyczne odkształcenie ich końców, wytarcie komór żubkowych, odkształcenia żubków, luzy w przytwierdzeniach szyn do podkładów, wzrost sztywności przekładek itp. Dla toru klasycznego opracowano zależność:

$$\gamma_k = e^{-Q_c^2 / 7,5 \cdot 10^3 q}, \quad (6.7)$$

gdzie:

$Q_c$  - całkowite obciążenie przeniesione przez tor [ $Tg$ ],

$q$  - masa 1 m szyny w kg.

Wpływ starzenia się toru bezsutykowego jest mniejszy i dlatego też współczynnik  $\gamma_b = \gamma_k / 3$ . W zależności od stanu nawierzchni opisanego przez określone atrybuty współczynnik  $\gamma$  może być zwiększony lub zmniejszony. Wyznaczanie odpowiednich współczynników  $\gamma$  jest przedmiotem teorii degradacji i tak np. dla podkładów drewnianych opracowano wzór:

$$\gamma_p = e^{-t^2 / 30 q}, \quad (6.8)$$



gdzie:

$t$  - wiek nawierzchni w latach.

W pierwszym (ok. dziesięcioletnim) okresie eksploatacji nawierzchni wartość  $\sigma_p$  zwiększa obliczone naprężenia w podkładzie nie więcej niż 10-12%. W latach następnych wzrost ten jest intensywniejszy.

Wartość  $t$  określająca poziom ufności będzie ustalana w zależności od rodzaju obliczanych naprężeń, od kategorii linii kolejowej oraz od spektrum nacisków osi.

Proponowany sposób określania maksymalnych prawdopodobnych naprężeń, zilustrowany na przykładzie naprężeń w stopce szyny, uwzględnia więc znacznie więcej istotnych cech niż np. sposób przedstawiony przez Eisenmanna [6] polegający na przyjęciu zależności:

$$\sigma_{\max} = \sigma_0 \beta (1 + t \bar{s}), \quad (6.9)$$

gdzie  $\bar{s} = 0,1 \varphi$  dla dobrego stanu nawierzchni,  $0,2 \varphi$  dla stanu przeciętnego i  $0,3 \varphi$  dla stanu złego.

W obliczeniach naprężeń rozciągających w stopce szyny uwzględniono siły termiczne. Jako stan krytyczny przyjęto temperaturę  $-5^{\circ}\text{C}$ , zakładając, że jest to temperatura, poniżej której jest już zamrożona podsypka. Przy temperaturach niższych, a więc przy zamrożonej podsypce, wzrasta sztywność podłoża, w związku z czym naprężenia przy zginaniu będą malały. W algorytmie przewidziano więc wzór na naprężenia termiczne w postaci:

$$\sigma_t = 2,3 (t + 5) \quad [\text{MPa}], \quad (6.10)$$

gdzie:

$t_s$  - temperatura przytwierdzenia szyn.

Wartość tych naprężeń może osiągnąć ok. 80 MPa, a więc nawet nieco więcej niż wskutek oddziaływań taboru.

W łukach o małych promieniach należy uwzględnić również naprężenia powstające wskutek wyginania szyn. Naprężenia te oblicza się według wzoru:

$$\sigma_p = \pm \frac{E \cdot p}{2 R} \quad (6.11)$$

gdzie:

$p$  - szerokość stopki szyny.

Naprężenia te w łukach o promieniu rzędu 300 m przekraczają 50 MPa.

Całkowite naprężenie w stopce szyny wyniesie więc:

$$\sigma_c = \sigma_{\max} + \sigma_t + \sigma_p, \quad (6.12)$$

Obliczone naprężenia są jednym z wielu czynników, na podstawie których oblicza się stopień degradacji nawierzchni.

## 7. WNIOSKI

Z krótkiego przedstawienia jednej tylko cechy liczbowej, tj. naprężeń w stopce szyny, wynika, jak wiele atrybutów dotychczas nie uwzględnianych trzeba rozpatrywać przy tworzeniu baz wiedzy. Ustalenie ich wartości wymaga nieraz dziesiątków reguł logicznych i żmudnych badań uzupełniających.

Powstaje pytanie, czy ta heurystyczna w dużym stopniu praca ekspertów może dać od razu wyniki odzwierciedlające rzeczywistość. Odpowiedź nie jest prosta, trzeba bowiem założyć, że początkowo wiele reguł będzie mieć charakter dość arbitralny. W miarę jednak ich porównywania z gromadzonym materiałem empirycznym rozmytość opisywanych zjawisk będzie malała.

Pierwsze systemy ekspertowe, jakie wejdą wkrótce do praktyki nawierzchniowej na PKP, będą więc stanowiły podwalinę systemów coraz doskonalszych, ułatwiających znacznie podejmowanie trudnych decyzji, dotyczących tak złożonej konstrukcji jak konstrukcja drogi kolejowej.

## LITERATURA

- [1] Bażuch H.: Sposoby wyznaczania charakterystyk podłoża kolejowego. Problemy Kolejnictwa, 1967, z. 39, s. 119-136.
- [2] Bażuch H.: Rozkłady naprężeń mierzonych w stopkach szyn i ich wpływ na obliczenie naprężeń maksymalnych. Drogi Kolejowe 1979, nr 10, s. 274-282.
- [3] Bażuch M.: Estymacja nierówności torów kolejowych. Archiwum Inżynierii Lądowej 1989, nr 3-4, s. 399-412.
- [4] Bażuch M.: Rozszerzona postać współczynnika dynamicznego nawierzchni. Referat na Konferencję w Gyor, 1991.
- [5] Barret M.L., Beereel A.C.: Expert systems in business: a practical approach. Ellis Horwood Limited, Chichester 1988.
- [6] Eisenmann J.: Zuverlässigkeit des Oberbaues als Voraussetzung für hohe Betriebsqualität. ETR, 1989, nr 7-8, s. 495-497.
- [7] Esveld C.: Modern Railway Track, 1989.
- [8] Kacprzyk J.: Zbiory rozmyte w analizie systemowej. PWN, 1986.
- [9] Radomski R.: Analiza metod doboru kryteriów odbiorczych szyn kolejowych w świetle współczesnych potrzeb eksploatacyjnych. Praca CPBP 02.19.06.26, Gdańsk 1990.
- [10] Shenton M.J.: Track maintenance planning and the estimation of increased axle loads. Workshop on Heavy Axle Load, Pueblo, Colorado 1990.
- [11] Suda C.: Train speedup and track structure. Japanese Railway Engineering 1986, nr 9, s. 2-12.

Recenzent: Doc. dr hab. Łucjan Siewczyński

Wpłynęło do Redakcji 20.04.1991 r.

CONCEPTION OF RAILWAY TRACK ESTIMATION WITH  
KNOWLEDGE - BASE SYSTEMS

## S u m m a r y

Advanced made in the last two decades on the experiments technique of railway track and some results of investigations in the field, form the first part of the paper. Also several open research questions are quoted.

In the second part, paper presents methodological examples that illustrates how the existing theory of track reliability can be extended to a new class of analysis.

ОБЩИЙ ЗАМЫСЕЛ ОЦЕНКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
СИСТЕМ БАЗ ЗНАНИЯ

## Р е з ю м е

В первой части доклада представлены достижения в экспериментальной технике железнодорожного пути в последних двух декадах и некоторые результаты исследований в этой области. Представлены также некоторые проблемы ожидающие разработки.

Вторая часть доклада включает примеры, которые иллюстрируют как можно расширить теорию надежности железнодорожного пути, охватывая новые классы анализа.