

Henryk Bałuch

Skalowanie zagrożeń wyboczeń torów kolejowych

Pojawiające się coraz częściej anomalie pogodowe na całym globie ziemskim uwiadcniają się, między innymi w postaci wielodniowych wysokich temperatur. W Polsce, w trzeciej dekadzie czerwca temperatury dochodzą do 35°C, w lipcu zaś przekraczają nawet 36°C. Według przewidywań meteorologów średnie temperatury roczne będą wzrastać o 0,1°C/dekadę [12]. W okresach wysokich temperatur rosną zagrożenia wyboczeń torów. Na kolejach USA od 23 czerwca do 4 lipca 2012 r. doszło do czterech wykolejeń pociągów towarowych z węglem, spowodowanych wybozeniami torów. W jednym z tych wykolejeń, w obszarze zabudowanym, wagony stoczyły się na drogę, niszcząc wiadukt i powodując śmierć dwóch osób. Łączne straty spowodowane tymi wykolejeniami przekroczyły 5 mln USD [13].

Bezpośrednio po tych wypadkach Federalna Administracja Kolejowa wydała zalecenia, zwracając uwagę na szczególne niebezpieczeństwo wyboczeń torów w rejonie stałych konstrukcji (mosty, przejazdy kolejowe, rozjazdy) i na obszarach zabudowanych. Przypomniano o konieczności właściwego utrzymania podsyпки, uważnego monitorowania torów w okresie upałów i niezbędnego ograniczania prędkości pociągów. Warto wspomnieć, że na kolejach amerykańskich 40% wykolejeń wynika z wad toru [17].

Zagrożeniom wyboczeń poświęcono już liczne prace. Duży wkład wniosły badania prowadzone przez Komitet D202 byłego Europejskiego Instytutu Kolejnictwa w Utrechcie [7] oraz prace naukowców amerykańskich [9]. Obszerny przegląd badań nad zagrożeniami wyboczeń toru zawiera praca [1].

W porównaniu z dorobkiem teoretycznym technika diagnozowania torów bezстыkowych jest stosunkowo skromna. Większość przyrządów do pomiaru sił podłużnych w torach bezстыkowych, opartych na różnych metodach fizycznych, ma jeszcze ciągle cechy odpowiadające bardziej badaniom naukowym niż potrzebom diagnostyki.

Stosunkowo prostą technikę diagnozowania torów bezстыkowych można wyjaśnić znaną zasadą, że dobrze utrzymany tor bezстыkowy nie powinien się wyboczyć. W Polsce jest znaczna część torów, w tym również torów bezстыkowych, których do dobrze utrzymanych zaliczyć nie można. Stan ten uzasadnia potrzebę poszukiwania nowych metod wykrywania zagrożeń w torach bezстыkowych.

Kryteria określania stateczności toru bezстыkowego na PKP

Istota oceny stateczności toru bezстыkowego sprowadza się, w ogólnym ujęciu, do dwóch zadań:

- określenia temperatury neutralnej, t_n , w której szyny są wolne od naprężeń termicznych,

- przyjęcia temperatury Δt_{max} , która dodana do temperatury neutralnej nie powinna być mniejsza od rzeczywistej temperatury t_{rz} , jaka może wystąpić w szynie, tj. do spełnienia warunku

$$t_{rz} \leq t_n + \Delta t_{max} \quad (1)$$

Temperaturę neutralną określa się na podstawie metryki toru bezстыkowego, z uwzględnieniem wszelkich jej zmian, jakie nastąpiły w eksploatacji. Zmianami tymi są przede wszystkim pomierzone przesunięcia (pełzania) szyn w stosunku do punktów stałych. Zmiana temperatury neutralnej Δt_n przy pełzaniu δ [mm] między punktami stałymi oddalonymi o l [m] wynosi

$$\Delta t_n = \frac{83\delta}{l} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2)$$

Wartości temperatur Δt_{max} zależą od stanu podsyпки, nierówności poziomych w torze, promieni łuków, typu szyn i rodzaju podkładów. Wartości te są podane w sześciu tablicach warunków [16]. Istnieje możliwość ich korygowania zależnie od stanu podkładów i przytwierdzeń szyn.

Uwzględniając zależność (2) i zakładając, że maksymalna temperatura w szynie może osiągnąć 60°C, przyjęto zasadę, że na odcinkach toru, na których $(t_n + \Delta t_{max}) < 60^\circ\text{C}$, należy w okresie poprzedzającym występowanie wysokich temperatur wykonać roboty zabezpieczające tor bezстыkowy przed wybozeniem. Wprowadzono też umowną nazwę temperatury eksploatacyjnej

$$t_{eksp} = t_n + \Delta t_{max} \quad (3)$$

W tablicach obok temperatury Δt_{max} są podane temperatury nieco większe, oznaczone jako Δt_{60} i Δt_{30} . Temperatura Δt_{60} jest o około 20% większa od Δt_{max} , temperatura zaś Δt_{30} o około 40% większa. Na odcinkach toru, na których, temperatura $t_{eksp} < 60^\circ\text{C}$ utrzymuje się nadal, pomimo wykonania pewnych robót, lub gdy robót takich nie wykonano, należy sprawdzić rzeczywistą temperaturę szyn t_{rz} pod kątem potrzeby wprowadzenia ograniczeń prędkości pociągów, posługując się temperaturami Δt_{60} i Δt_{30} .

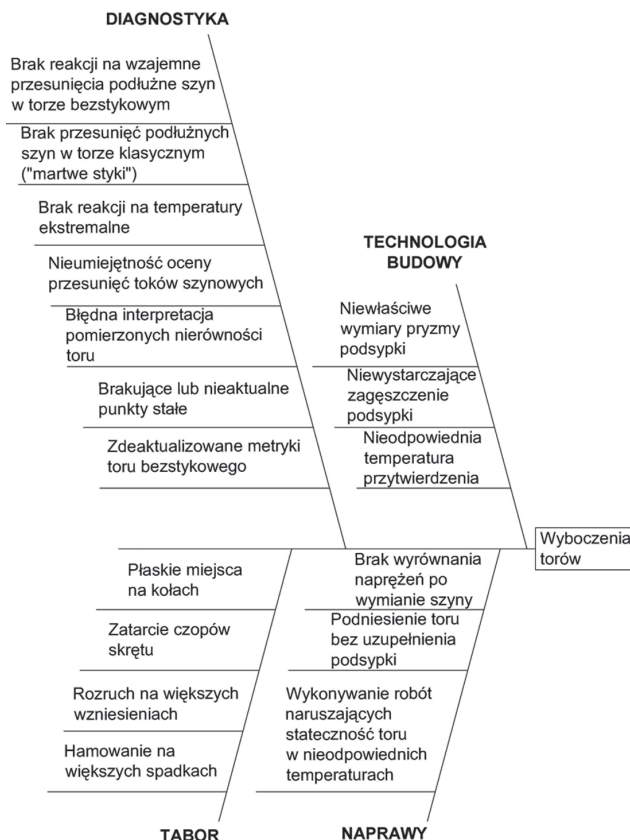
Przytoczone w dużym skrócie zasady oceny stanu toru stosowane w Polsce według [16] są dość rygorystyczne i ich przestrzeganie powinno zapobiec wybożeniom toru. Jednocześnie należy zwrócić uwagę na stosunkowo dużą liczbę wad, które mogą mieć wpływ na wybożenie toru i z których tylko nieliczne da się uwzględnić w obliczeniach jego stateczności (rys. 1).

Wykres Ishikawy (rys. 1) nie ujmuje wielu innych cech, jak np. parametry geometryczne toru, jego konstrukcję, położenie (głębokie przekopy, kierunek równoleżnikowy lub południkowy), itp.

Zasady proponowanej metody

Metoda jest oparta na następujących założeniach:

- 1) przy wybożeniu toru rozstrzygające znaczenie mają:
 - siły podłużne w szynach,
 - stan toru,
 - oddziaływania pojazdów szynowych;



Rys. 1. Wady wpływające na możliwość wybooczenia toru

- 2) istnieje koincydencja występowania czynników wymienionych w punkcie 1;
- 3) ocena zagrożeń powinna mieć charakter liczbowy;
- 4) konkluzje wynikające z zastosowania metody mogą być traktowane jako uzupełnienie urzędowo ustanowionej metody w [16] i nie powinny jej zastępować;
- 5) reguły stanowiące podstawę obliczeń, oparte głównie na zasadach heurystycznych, są zbliżone do reguł stosowanych w hybrydowych systemach eksperckich, tj. w dużej mierze opierają się na obserwacjach, doświadczeniu i intuicji autora [2].

Do wyznaczania stopni zagrożeń przyjęto 4 podstawowe wielkości, których wpływ wyrażono w skali punktowej (rys. 2). Liczba ta jest stosunkowo niewielka w porównaniu z liczbą 24 cech przyjmowanych do oceny ryzyka wybooczeń torów w USA, w których między innymi uwzględnia się kategorię linii, rozstaw podkładów, typy szyn, historię dotychczasowych wybooczeń, historię prowadzonych napraw, hamowanie i rozruch pociągów, rozmieszczenie opórek przeciwpętnych itp. [17].

Wpływ każdej cechy na zagrożenie wybooczeniem toru jest charakteryzowany punktami w skali 0–30 (0 – nie ma wpływu, 30 – wpływ bardzo duży).



Rys. 2. Cechy uwzględniane w ocenie zagrożeń wybooczeniami

Wpływ temperatury

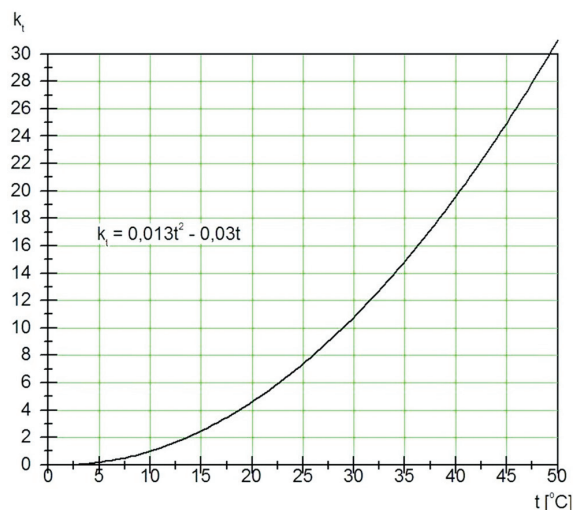
Atrybutem charakteryzującym siły podłużne w torze jest różnica między ustaloną temperaturą neutralną i temperaturą pomierzoną lub oczekiwaną w szynach. Temperaturę neutralną zapisaną w metryce toru bezстыkowego należy zweryfikować, wykonując pomiary jego przesunięć w stosunku do punktów stałych. Temperatura w szynach t_s w okresie upałów może być nawet kilkanaście stopni wyższa niż temperatura otoczenia. Nie ma tu jednak zależności funkcyjnej, badania zaś wykazują, że współczynnik korelacji między tymi temperaturami wynosi 0,65 [5].

Warto zwrócić uwagę, że na kolejach USA wystarczającą wielkością do ograniczeń prędkości pociągów jest tylko temperatura pomierzona lub przewidywana w szynach [9]. I tak, przy temperaturze do 46°C nie wprowadza się ograniczeń, od 46 do 58°C ogranicza się prędkość, a temperaturę 66°C traktuje się jako zagrożenie wybooczeniem z prawdopodobieństwem 0,02. Zakłada się przy tym, że temperatura neutralna nie jest niższa niż 15°C.

Na kolejach australijskich, na których rocznie zdarza się średnio 115 wybooczeń toru, z czego ok. 10% powoduje wykołowania, wyrównanie naprężeń jest wymagane, gdy na długości 500 m toru przesunięcia szyn przekraczają 50 mm [18].

W opracowanej metodzie zależność między różnicą temperatur $t = t_s - t_n$ i punktami określającymi wpływ tej różnicy na zagrożenie wybooczeniem określono na rysunku 3.

Przy różnicy temperatur w obu tokach szynowych przyjmuje się do obliczeń temperaturę niższą. W przypadku, gdy różnica ta przekracza 10°C, wynik obliczeń w punktach zwiększa się o 10%. Zwiększenie punktacji o 15% następuje, gdy tor jest położony w przekopie głębszym niż 3 m.

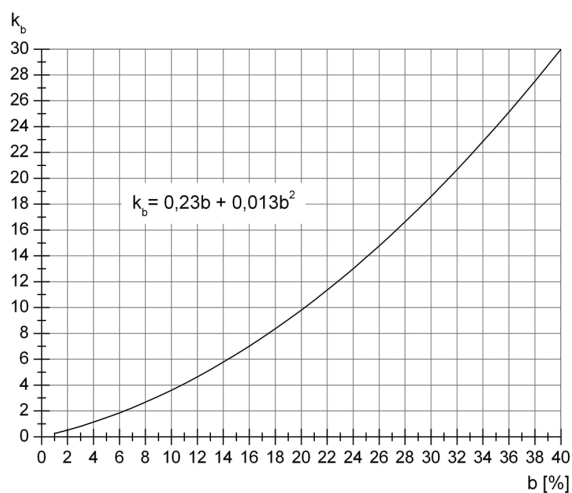


Rys. 3. Punktowa ocena różnic temperatury

Wpływ stanu toru

Stan toru charakteryzują dwie wielkości wyrażone w procentach – braki podsypki (rys. 4) oraz brakujące lub niesprawne przytwierdzenia szyn do pokładów (rys. 5). Zależność przedstawiona na rysunku 4 dotyczy podkładów betonowych. Przy podkładach drewnianych punktacja zwiększa się o 15%. O 10% należy zwiększyć tę punktację, gdy w podsypce występują wychłapki obejmujące 10% podkładów i więcej.

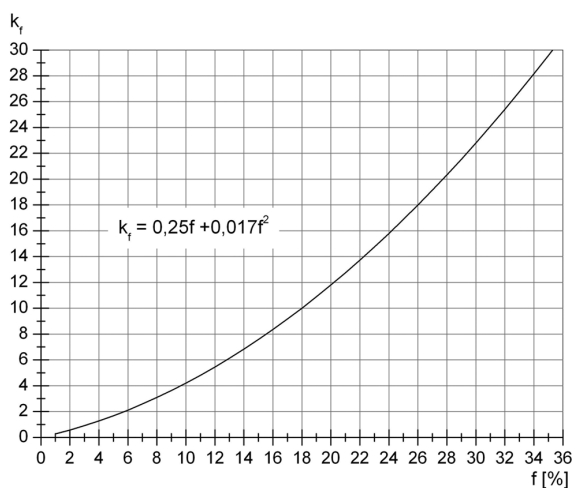
Oceniając braki podsypki bierze się pod uwagę jej ilość w przestrzeni rusztu torowego, a więc ilość liczoną od dolnej podstawy podkładów. Może się więc zdarzyć, że przy całkowitym



Rys. 4. Punktowa ocena braku podsypki

namiarze podsypki, jej braki w przestrzeni rusztu torowego będą bardzo duże. Przypadek taki przedstawiono na rysunku 6. Objętość podsypki od czoł podkładów, tj. przy prawidłowej odległości 0,45 m od ich końców, jest nieco większa niż objętość podsypki znajdującej się między podkładami. W konkretnym przypadku brak podsypki można więc szacować na około 50%. Przy ocenie tej należy brać pod uwagę stan toru na długości zbliżonej do 20 m, tj. na długości, na jakiej zwykle występują fale wybożenia

Stan przytwierdzeń może charakteryzować pośrednio również stan podkładów, np. wystające wkręty i wcięte w drewno podkładki, bez widocznych uszkodzeń, ale nie utrzymujące szyny z powodu złego stanu podkładów, należy uznać jako przytwierdzenie niesprawne.



Rys. 5. Punktowa ocena braku lub uszkodzeń przytwierdzeń szyn do podkładów

Ocena uszkodzonych przytwierdzeń szyn nie może się sprowadzać do ich mechanicznego policzenia. Jako uszkodzone należy oceniać te, które nie zapewniają trwałego połączenia szyny z podkładem. Na rysunkach 7 i 8 są przedstawione uszkodzenia w torze bezстыkowy eksploatowanym 27 lat, po obciążeniu całkowitym 218 Tg. Tor jest położony na podkładach betonowych PS 83 w łuku koszowym o promieniach 1086/625 m. Syntetyczny wskaźnik stanu toru wynosi 2,31 mm. Na odcinku o długości



Rys. 6. Tor rok po wymianie ciągłej, grubość warstwy podsypki zbliżona do 1 m, w górnej części czoła podkładów odśnieżone do połowy, okienka wypełnione do połowy wysokości podkładów

Fot. M. Bałuch

680 m stwierdzono 3% uszkodzonych tapek sprężystych, 13% przekładek i 58% pękniętych wkładek izolacyjnych [8].



Rys. 7. Uszkodzenia, które należy uwzględnić w obliczeniach: z lewej przekładka o nominalnej grubości 3 mm zgnieciona do grubości 1 mm i rozluźniony pierścień sprężysty; z prawej brak wkładki izolacyjnej i pęknięta przekładka

Fot. A. Janowski



Rys. 8. Uszkodzenia nie eliminujące jeszcze połączenia szyny z podkładem: z lewej pęknięta wkładka, z prawej przesunięta wkładka izolacyjna

Fot. A. Janowski

Sumując te liczby to można by dojść do wniosku, że tylko na 1/4 długości toru szyny są właściwie połączone z podkładami i w konsekwencji tor ten należałoby natychmiast zamknąć. Postępowanie takie byłoby zbyt asekuracyjne z dwóch powodów:

- na wielu podkładach występuje nie jedna, lecz dwie lub trzy postacie tych uszkodzeń, a zatem ich dodawanie nie odzwierciedla liczby przytwierdzeń niesprawnych;
- nie wszystkie uszkodzenia oznaczają utratę połączenia szyny z podkładem, zwłaszcza zaś zanik oporu obrotu szyny w płaszczyźnie poziomej względem podkładu – brak wkładki izolacyjnej (rys. 7) jest uszkodzeniem, które trzeba zaliczyć do tych, które zmniejszają stateczność toru bezстыkowego, natomiast pęknięcie wkładki (rys. 8), dopóki nie oderwie się i nie wypadnie jej część spod łapki – stateczności tej nie zmniejsza.

Stosowanie tej zasady, polegającej na uwzględnianiu w ocenie tylko tych węzłów przytwierdzeń szyn do podkładów, w których szyna nie jest z nimi połączona, nie oznacza negowania celowości wymian uszkodzonych elementów nawierzchni zanim nie przestaną one całkowicie spełniać swej roli.

Na odcinkach toru, na których odbywa się hamowanie pociągów punktację zwiększa się o 15%.

Wpływ pojazdów szynowych

Wielkością charakteryzującą wpływ pojazdów szynowych na wyboczenia toru jest nacisk pionowy Q i siła poprzeczna przekazywana przez koło na szynę Y . Gruntowne badania nad wpływem stosunku Y/Q oraz ΣY prowadzono w USA, wykazując, że do wyboczenia może dojść przy ciągłym działaniu $Y/Q > 0,35$ [9].

Stosunek sił Y/Q jest nazywany współczynnikiem wykolejenia, charakteryzującym możliwość wspięcia się koła na główkę szyny. Według karty UIC 518 jego maksymalna wartość nie powinna przekraczać 0,8 na długości toru ponad 2 m. W pakiecie ADAMS/Rail wartość tego stosunku równa 1,2 na długości przekraczającej 2 m jest traktowana jako sygnał alarmowy. Znane są przypadki, że nawet przy wartości ilorazu $Y/Q > 2$ do wykolejenia nie doszło [6].

Badania na kolejach chińskich [11], przeprowadzone po serii wykolejeń wagonów towarowych, rzuciły nowe światło na znany od dziesiątków lat wzór Nadala,

$$\frac{Y}{Q} \leq \frac{\operatorname{tg} \alpha - \mu}{1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \mu} \quad (4)$$

gdzie:

α – kąt nachylenia obrzeża koła,

μ – współczynnik tarcia między kotłem a szyną.

Dotychczas tradycyjnie przyjmowano $\alpha = 65^\circ$ i $\mu = 0,3$, co po podstawieniu do wzoru (4) dawało $Y/Q = 1,12$. Podczas badań z prędkością 80 km/h odnotowano znacznie większe wartości współczynnika wykolejenia (nawet 4,83), przy których do wypadku nie doszło. Szczegółowe analizy wyników wykazały, że niezależnie od wartości stosunku Y/Q , przy czasie działania impulsu krótszym niż 0,015 s, obrzeże koła nie może się wspiąć na główkę szyny, a zatem do wykolejenia nie dojdzie. Gdy czas ten przekracza 0,05 s, nie należy przekraczać $Y/Q = 1,2$. Wyniki tych badań doprowadziły do modyfikacji wzoru (4) w postaci

$$\frac{Y}{Q} \leq \frac{\operatorname{tg} \alpha - \mu}{1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \mu} \cdot \frac{0,05}{t} \quad (5)$$

gdzie

t – czas trwania największego impulsu.

W pracach naukowców rosyjskich pojawiły się ostatnio propozycje opracowania nowych zasad obliczania stateczności toru bezстыkowego w łukach [10].

Pomiary sił oddziałujących bezpośrednio na szyny są drogie i dlatego też w codziennej diagnostyce nawierzchni poszukuje się sposobów zastępczych. W konkretnym przypadku, uwzględniającym możliwości zakładów eksploatacji linii kolejowych, przyjęto, że charakterystyką oddziaływań dynamicznych jest, w dużym uproszczeniu, niezrównoważone przyspieszenie poziome.

Przyjęcie przyspieszenia poziomego jako wielkości reprezentującej oddziaływanie dynamiczne można uzasadnić tym, że według badań krajowych [4] i zagranicznych [14] najniekorzystniejszy wpływ na oddziaływanie dynamiczne wywiera nakładanie się przekroczeń odchyłek nierówności poziomych i przechyłki. Na kolejach japońskich wprowadzono ograniczenie sumy różnic wysokości toków szynowych Δh i nierówności poziomych y

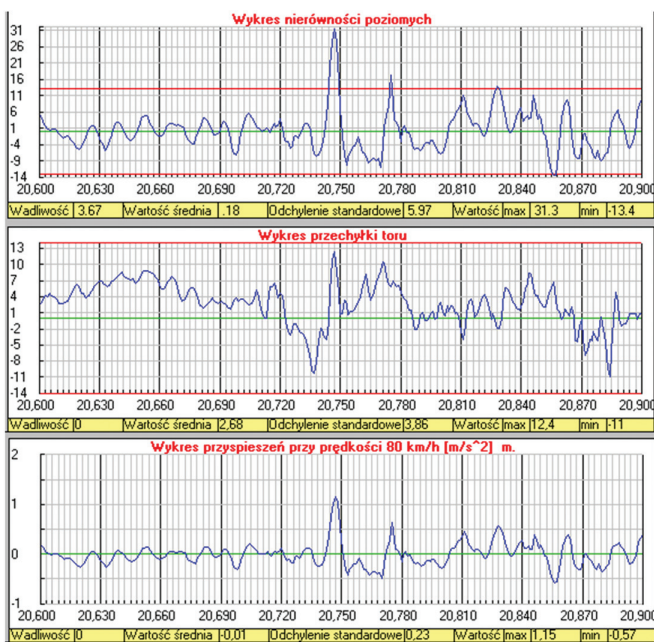
$$c \leq \Delta h + 1,5y \quad (6)$$

Dopuszczalna wartość c zależy od liczby kolejno następujących po sobie nierówności fal i przy prędkości 100 km/h zmienia się liniowo od 35 mm dla jednej fali do 18 mm dla czterech fal.

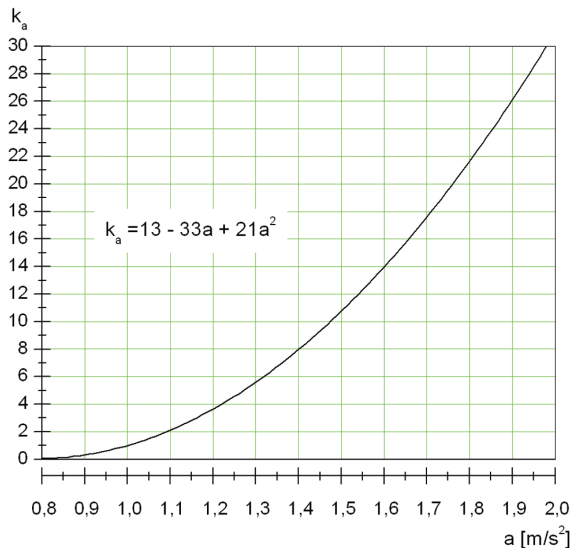
Przyspieszenie można wyznaczać dwoma sposobami. Pierwszy sposób polega na pomiarze toru toromierzem elektronicznym i wyznaczeniu na tej podstawie przyspieszenia niezrównoważonego przy zastosowaniu systemu SOHRON (rys. 9). Przyspieszenie to odzwierciedla w tym sposobie rzeczywistą krzywiznę toru w łukach i na krzywych przejściowych lub nierówności toru na odcinkach prostych, różnicę wysokości toków szynowych i założoną prędkość pociągów.

Sposób drugi jest bardziej pracochłonny i polega na obliczeniu niezrównoważonego przyspieszenia na podstawie pomiarów ręcznych. Przy tych pomiarach należy znaleźć maksymalną krzywiznę izolowaną i wyznaczyć przyspieszenie na podstawie wzorów podanych w monografii [3].

Punktację wpływu przyspieszenia przedstawia rysunek 10.



Rys. 9. Pomiary nierówności poziomych na prostym odcinku toru, różnicy wysokości toków i obliczone na tej podstawie przyspieszenie przy prędkości 80 km/h



Rys. 10. Punktowa ocena przyspieszenia

Synteza oceny

Rozstrzygające znaczenie w ocenie zagrożeń wybocheniami toru bezстыkowy ma różnica temperatur t_s . W niskich temperaturach, nawet przy dość dużych brakach podsypki lub znacznej liczbie niesprawnych przytwierdzeń, do klasycznego wybożenia toru nie dojdzie. Wyszczególnienie przy każdym przedziale temperatur pozostałych atrybutów ma charakter zaleceń eksploatacyjnych. Tak więc np. przy temperaturze $t_s = 30^\circ\text{C}$ (stopień 2.) i brakach podsypki 30% (stopień 3.) należy podjąć działania profilaktyczne nie ze względu na temperaturę w danej porze roku, tylko biorąc pod uwagę realną możliwość wystąpienia temperatury wyższej.

Wpływ koincydencji, czyli nakładania się na siebie poszczególnych wielkości, jest uwzględniony w ten sposób, że suma graniczna punktów w ostatnim wierszu jest mniejsza od sumy punktów wszystkich składników. O zaliczeniu konkretnego odcinka toru do wyższego stopnia zagrożenia decyduje więc przekroczenie jednego ze składników lub przekroczenie sumy kontrolnej.

Syntezę oceny na podstawie zależności podanych na rysunkach 3–5 i 10 przedstawiono w tablicy 1.

O zaliczeniu do odpowiedniego stopnia zagrożenia decyduje przekroczenie nawet jednej wielkości ocenianej, a w przypadku, gdy nie jest przekroczona żadna z nich – suma punktów w ostatnim wierszu.

Przykład zastosowania

Wybożenie toru przedstawione na rysunku 11 wystąpiło na linii C–T w km 41,897 przy temperaturze 41°C ustalonej na podstawie temperatury w szynach pomierzonej w odległości 75 km od miejsca wypadku. Szyny UIC60 na podkładach betonowych PS-83 z przytwierdzeniem SB3 ułożono w 1995 r., tj. były one eksploatowane 17 lat. Ich zużycie pionowe wynosi 1 mm, boczne 2 mm. Tor w miejscu wybożenia znajduje się na spadku 4,7‰ i w przekopie o głębokości 1,6 m, która na dalszej części zwiększa się do 4,5 m. Szerokość toru wynosi 1435 mm, różnica wysokości toków szynowych 6 mm.

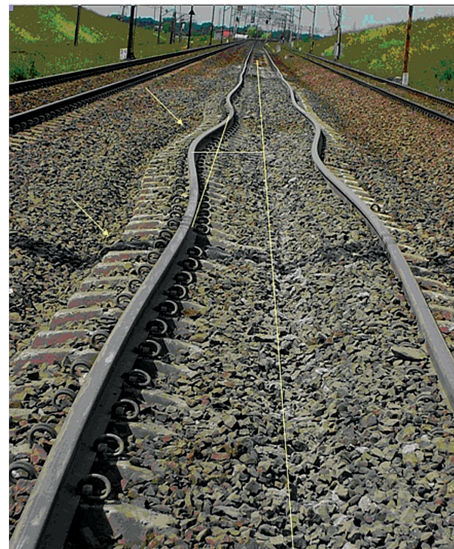
Największa strzałka wybożenia wynosi 0,33 m, długość fali zaś 16,8 m. Ukształtowana krzywizna jest zbliżona do cosinusoidy. Minimalny promień krzywizny cosinusoidalnej określa wzór [3]

Stopnie zagrożeń wybożeniem torów

1. Zagrożenie nie występuje	2. Wymagane wzmoczenie obserwacji	3. Konieczność podjęcia działań profilaktycznych	4. Duże prawdopodobieństwo wybożenia
$k_t \leq 10$ 28°C	$k_t \leq 15$ 35°C	$k_t \leq 20$ 40°C	$20 < k_t \leq 28$
$k_b \leq 9$ 19%	$k_b \leq 14$ 25%	$k_b \leq 18$ 30%	przy $k_b + k_f \leq 12$
$k_f \leq 10$ 18%	$k_f \leq 16$ 25%	$k_f \leq 22$ 30%	lub $k_f > 28$ 48°C
$k_a \leq 6$ 1,32 m/s ²	$k_a \leq 13$ 1,56 m/s ²	$k_a \leq 24$ 1,85 m/s ²	(niezależnie od k_a)
$\Sigma k \leq 33$	$\Sigma k \leq 55$	$\Sigma k \leq 80$	$\Sigma k > 80$

$$R_{\min} = \frac{l^2}{2\pi^2 f} \quad (7)$$

Podstawiając przytoczone wymiary otrzymuje się $R_{\min} = 43,3$ m. Na krzyżźnie tej wykoleiło się 5 wagonów pociągu kontenerowego, złożonego z 30 wagonów. Rozmieszczenie wykolejonych wagonów w środkowej części składu dowodzi, że wybożenie nastąpiło pod tym pociągiem, czemu sprzyjała duża baza sztywna platform kontenerowych.



Rys. 11. Wybożenie toru na prostej

Fot. N.N.

Pętanie szyn, pomierzone w km 41,786, wynosiło 39 mm a w km 42,002 – 27 mm i było w obu tokach jednakowe. Na sąsiednich odcinkach wynosiło ono kilka milimetrów i różniło się w obu tokach. Na podstawie pętania wyznaczono temperaturę neutralną, która w tych punktach, a więc w odległości około 100 m przed i za miejsce wykolejenia wynosiła odpowiednio 3°C i 29°C .

Pomijając stan taboru, o którym nic nie wiadomo, należy zwrócić uwagę na trzy wątpliwości. Pierwsza to wiarygodność ustaleń temperatury na podstawie pomiaru oddalonego o 75 km. Późniejsze sprawdzenia wykazały, że temperatura w tych miejscach różniła się o 9°C . Drugi niecodzienny przypadek to ruchy podłużne toru na odcinku, na którym doszło do wybożenia, jednakowe w obu tokach wynoszące 35 i -27 mm. Można z tego wyciągnąć wniosek, że w tym miejscu występowało pętanie szyn wraz z podkładami, co wskazywałoby na małe opory podsypki i wreszcie stan podsypki, który w raporcie z wybożenia oceniono jako przeciętny. Z rysunku 11 wynika, że okienka od strony międzycy są wypełnione ledwie do połowy, w miejscu zaś naj-

większej fali wybożenia nie ma żadnych wyniosłości podsypki, które musiałyby wystąpić gdyby zakrywała ona czoła podkładów i sięgała na wymaganą odległość 0,45 m od czoł.

Stosując proponowaną metodę do obliczenia k_f , przyjęto temperaturę $t = 41 - 3 = 38^\circ\text{C}$, co przy zwiększeniu punktacji o 10% ze względu na dużą różnicę temperatur neutralnych w obu tokach i zastosowaniu wzoru uwidocznionego na rysunku 3 daje

$$k_f = 1,1(0,013 \cdot 38^2 - 0,03 \cdot 38) = 19,4^\circ\text{C}.$$

Braki podsypki oszacowano na podstawie rysunku 11 na 30%, co według rysunku 4 daje $k_b = 18$. Raport nie opisywał stanu przytwierdzeń szyn. Biorąc pod uwagę duże pełzanie można założyć, że 10% przytwierdzeń nie spełniało swego zadania, co według rysunku 5 daje $k_r = 4$. Nic nie wskazuje, że podczas przejazdu pociągu niezrównoważone przyspieszenie przekroczyło $0,8 \text{ m/s}^2$, stąd $k_a = 0$.

Z tablicy 1 wynika więc, że w konkretnym przypadku wyniki oceny kształtują się na górnej granicy stopnia 3 i ich minimalne przekroczenie oznaczać będzie osiągnięcie stopnia 4.

Zakończenie

Wybożenia torów są zagrożeniem specyficznym z kilku powodów.

1. W przypadku wystąpienia pod pociągiem powodują zwykle wykolejenie pewnej części jego składu, czasem tylko ostatniego wagonu.

2. Przy wjeździe pociągu na wybożony tor dochodzi najczęściej do wykolejenia lokomotywy i tej części składu, która wjeżdża na wybożenie. Zdarzają się bardzo rzadkie przypadki, że cały pociąg przejedzie przez wybożenie o małych krzywiznach nie wykolejając się.

3. W przeciwieństwie do wielu innych zagrożeń w nawierzchni kolejowej, objawy potencjalnych wybożeń torów są dość często trudno dostrzegalne.

4. Pomiar sił podłużnych w torach, które mają decydujący wpływ na wystąpienie wybożenia, mimo wielu prób z różnymi przyrządami, nie stały się dotychczas powszechnie stosowaną techniką diagnozowania i są bardziej zbliżone do prac badawczych, niż do praktyki eksploatacyjnej.

5. Dokumentacja sporządzana przy budowie i naprawach toru bezстыkowego (metryki toru bezстыkowego, arkusze analizy termicznej), od której w dużej mierze zależy trafność podejmowanych decyzji, jest uzależniona w znacznym stopniu od rzetelności wykonujących ją osób i ich wiedzy.

Scharakteryzowana specyfika toru bezстыkowego skłania do przedstawienia propozycji, aby znane stwierdzenie zespołu brytyjskiego, który opracował końcowy raport dotyczący katastrofy pod Hadfield, jaka wydarzyła się 17 października 2000 r., *mierzyć, przewidywać, zapobiegać* [15], rozszerzyć o jeszcze jedno niezastąpione działanie w wykrywaniu zagrożeń w nawierzchni kolejowej, a zwłaszcza w torze bezстыkowym, tj. o obserwacje, stawiając je na miejscu pierwszym. Obserwacje generują bowiem najszybciej sygnały o zagrożeniach, niejednokrotnie stanowią inspirację do wykonania pomiarów specjalnych lub dodatkowych i stanowią zwykle podstawę do uogólnień jakościowych. Paradigmat obserwować, mierzyć, przewidywać zapobiegać, powinien się stać podstawową zasadą utrzymania toru bezстыkowego. Przedstawiona metoda oceny zagrożeń wybożeniami toru, oparta głównie na obserwacjach, mogłaby się stać pomocnym narzędziem

uzupełniającym obowiązujące obecnie zasady ujęte w warunkach [16]. Jej wprowadzenie wymagałoby jednak pewnych treningów w interpretacji ocenianych cech, zwłaszcza podsypki i przytwierdzeń oraz podejmowania decyzji. Taki kilkugodzinny trening można by ująć w programach szkolenia diagnostów. □

Literatura

- [1] Ahmed S.S.N., Kumar M., Chattopadhy A.Y.: *A comparative study of track buckling parameters on continuous welded rail*. Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering 2009, 26–28 December, Dhaka.
- [2] Bałuch H.: *Wykolejenia pociągów związane ze stanem nawierzchni i metody ich badań*. XIV Konferencja Awaryjne Budowlane, 23–26 maja 2009, Szczecin-Międzyzdroje.
- [3] Bałuch H., Bałuch M.: *Determinanty prędkości pociągów – układ geometryczny i wady toru*. Instytut Kolejnictwa, Warszawa 2010
- [4] Bałuch M.: *Wpływ koincydencji nierówności toru na wartość stosunku sił Y/Q*. Problemy Kolejnictwa 1999, z. 129.
- [5] Bertrand J.: *An investigation of the effects of weather on rail heating*. University of Calgary Engineering. U of C grad Conference, 1 May 2006.
- [6] Chudzikiewicz A. (red.): *Monitorowanie stanu układu dynamicznego pojazdu szynowy–tor*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2012.
- [7] Esveld C.: *Improved knowledge of CWR track*. www.esveld.com/.../D2002...Paris.
- [8] Janowski A.: *Zależność pomiędzy odchyłkami szerokości toru i stanem podkładów oraz przytwierdzeń szyn (studium przypadku)*. Praca dyplomowa WAT, wykonana pod kierunkiem S. Sancewicza. Warszawa 2013.
- [9] Kish A., Clark D.W.: *Track buckling derailment prevention through risk based train speed*. AREMA Conference 2009.
- [10] Kogan Aya.,J., Suslov O.A., Poleschuk I.V.: *Ustoychivost besstikovogo puti po uslovyu sdviga relsoshpalnoy reshyotki pod prohodyashimy poezdami s uchotyom sil trenya*. Vestnik VNIIZhP 2/2012.
- [11] Qian L.: *Test and study on Chinese freight wagon derailment on straight track*. International Conference Rail Engineering. Lodon 2004.
- [12] Rosetti M.A.: *Potential impact of estimate change on railroads reduction*. AREMA Conference 2009, dot...2climate .doc.gov./documents?.../rosatti.pdf
- [13] *Safety advisory 2012-03: Buckling-prone conditions in continuous welded rail track*. Federal Register – The daily Journal of the United States Government 16.07.2012.
- [14] Sato J., Yoshikawa C., Hara R.: *Study of track irregularities on Karikachi test track*. Quarterly Reports of RTRI 1983, No. 3.
- [15] *Train derailment at Hadfield: A final report by the independent investigation board*. Office of Rail Regulation, July 2006.
- [16] *Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1 (D1)*, PKP PLK S.A., Warszawa 2005.
- [17] Zarembski A.M., Palese J.W.: *Use of risk management in improving track safety*. ZETA TECH Associates, Inc. 2006.
- [18] Zayne K.O. *Track stability and buckling – rail stress management*. University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveing, 2008.

Henryk Bałuch
Instytut Kolejnictwa