

Rozpoznawanie przyczyn wyboczeń torów

Henryk Bałuch, Iwona Nowosińska



Prof. dr hab. inż. Henryk Bałuch
Instytut Kolejnictwa
hbaluch@ikolej.pl



mgr inż. Iwona Nowosińska
Instytut Kolejnictwa
inowosinska@ikolej.pl

Wyboczenia torów stanowią, obok złamań szyn, największe zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu kolejowego. Wpływają na to trzy czynniki:

- 1) trudność wcześniejszego rozpoznania,
- 2) gwałtowny przebieg zjawiska,
- 3) bardzo duże prawdopodobieństwo wykołowania pociągu, w przypadku gdy wyboczenie nastąpi w czasie jego przejazdu.

Ten ostatni czynnik odróżnia wyboczenie od złamania szyny, które zawsze następuje pod przejeżdżającym pociągiem i bardzo rzadko powoduje jego wykołowanie.

W budowie nawierzchni kolejowej w ostatnich dekadach nastąpiły zmiany, które niewątpliwie wpłynęły na zmniejszenie wyboczeń torów. Na pierwszym miejscu należy tu wymienić zastosowanie ciężkich podkładów betonowych, co wpłynęło na wzrost oporów, a więc na zwiększenie stateczności torów. Tor o takiej konstrukcji, poprawnie zbudowany i dobrze utrzymany nie powinien nigdy ulec wyboczeniu. Na każdej sieci kolejowej są jednak również tory, nie spełniające tych warunków. W Polsce takich torów jest stosunkowo dużo. Zagrożenia wybozeniami mogą się zwiększać również ze względu na globalne ocieplenie klimatu. Lipiec 2015 roku został uznany jako najcieplejszy miesiąc od chwili pomiaru temperatur, tj. od roku 1885. Fala upałów w Polsce w lipcu i sierpniu tego roku była również rekordowa.

Zmniejszenie ryzyka każdego niekorzystnego zdarzenia osiąga się, m.in. poprzez rozpoznanie jego przyczyn i ich eliminowanie. Powinno to dotyczyć również wyboczeń torów. Znane są bardzo liczne prace poświęcone problematyce stateczności toru bezstykowego, ujmujące to zagadnienie zarówno deterministycznie, jak np. [3] oraz probabilistycznie [4]. Bardzo rzadko pojawiają się natomiast opracowania gruntownie analizujące zaistniałe wyboczenia, jak np. ukazujące przyczyny wyboczenia toru w warunkach zimowych, które doprowadziło do ofiar w ludziach [1].

Zakres badań wybozonego toru

W przypadku wybożenia toru, które doprowadziło do wykołowania podawane są pewne dane podstawowe, jak temperatura otoczenia, temperatura neutralna, wymiary toru przed wykołowaniem i ogólny jego obraz po wykołowaniu, opis uszkodzeń itp. W przypadku gdy wybożenie nie powoduje wykołowania dąży się zwykle do jego usunięcia, nie zajmując się zebraniem szczegółowych cech. Odbija się to ze szkodą dla rozpoznania konkretnego przypadku, tym bardziej, że wybożenie toru nie uszkodzonego przez wykołowany tabor może dostarczyć więcej informacji niż toru uszkodzonego.

Pełne rozpoznanie wybożenia powinno polegać na zastosowaniu analizy przyczyn źródłowych (RCA – Root Cause Analysis). Nazywa się ją również analizą źródeł problemów lub analizą pierwotnych przyczyn niezgodności. Cel tej analizy w sposób najkrótszy można ująć w stwierdzeniu: szukaj głęboko możliwych przyczyn.

Będąc na miejscu wybożenia należy najpierw ująć te szczegóły, które najszybciej znikną. Dotyczy to w pierwszym rzędzie kształtu wybożenia. Jego szkic powinien zawierać długości poszczególnych fal i ich strzałki. Warto przy tym zwrócić uwagę, że najczęściej jedna fala największa styka się z obu stron z falami znacznie mniejszymi skierowanymi w stronę przeciwną (rys. 1). Istotnym wymiarem jest też całkowita długość toru, na którym uległ on przesunięciu. Trzeba przy tym wziąć pod uwagę nawet przesunięcia rzędu kilku milimetrów.

Drugą ważną cechą wybozonego toru, która szybko ulegnie zatarciu jest kształt podsypki. Powszechna dostępność

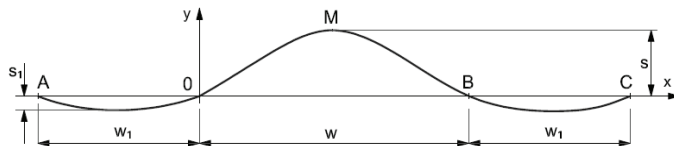
aparatów fotograficznych nie przedstawia żadnych trudności by wykonać zdjęcia jej szczegółów. Trzy ujęcia dostarczają zwykle informacji, jaki był jej stan w sensie wypełnienia rusztu torowego, przed wybożeniem w poszczególnych przekrojach toru. Są to:

- zwał podsypki (lub jego brak) przed czołami od strony krzywizny wypukłej,
- odległość od czoł przesuniętych podkładów do śladu ich pierwotnego położenia od strony krzywizny wklęsłej (będąca jednocześnie wymiarem strzałek),
- wypełnienie okienek.

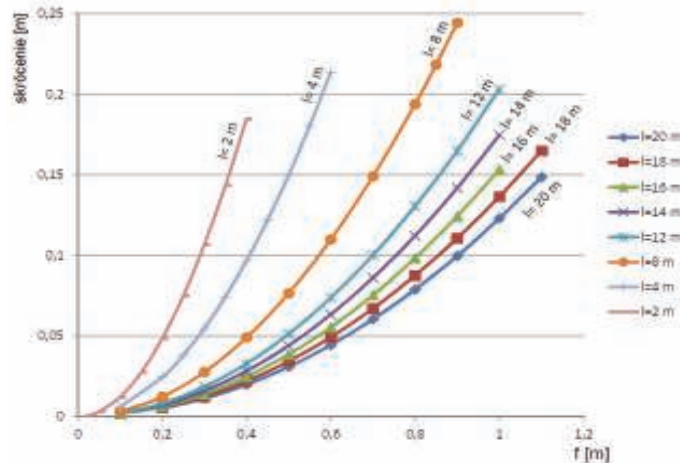
Fotografie stanu podkładów, przytwierdzeń szyn i samych szyn mogą dostarczyć również interesujących informacji. O ile nie budzi to wątpliwości dotyczących podkładów i przytwierdzeń, których stan ma duży wpływ na sztywność skrętną rusztu torowego, to niejednokrotnie można spotkać się z pytaniem, jakie znaczenie ma w tym przypadku obraz szyn. Wbrew pozorom znaczenie to może być znaczące i tak np. współautorowi tego referatu znany jest przypadek wybożenia toru spowodowanego, m.in. rozsunięciem się podsypki od czoł podkładów wskutek dużych drgań rusztu torowego z powodu dużej ilości i głębokości wybuksowań na powierzchni tocznej szyn. Z literatury znany też jest przypadek ujawnienia metalicznych świeżych śladów na zewnętrznej bocznej powierzchni szyny, dzięki którym obalono stwierdzenie, że przyczyną wykołowania pociągu stało się wybożenie toru. [2].

Znając zasadnicze wymiary wybożenia toru można obliczyć różnicę długości powstałych krzywizn i odcinka prostego lub łuku kołowego przed wybożeniem. Krzywizny te należy aproksymować funkcjami o znanej postaci matematycznej. Kształt wybożenia przedstawionego na rysunku 1 opisano trzema połówkami sinusoid. Modelowanie wybożeń sinusoidami znalazło również miejsce w pracy [3].

Duże uproszczenie przyjętego modelu polega m.in. na tym, że w punktach ich styczności, tj. 0 i B nie mają one wspólnych stycznych. Równanie opisujące krzywą OMB ma postać



1. Kształt wybożenia toru szynowego



2. Różnice długości między połową sinusoidy i jej podstawą

$$y = s \cdot \sin\left(\frac{\pi}{w} x\right) \quad (1)$$

Długość L krzywej mającą ogólną postać $y = f(x)$ wyraża wzór

$$L = \int_a^b \sqrt{1 + [f'(x)]^2} dx, \quad (2)$$

Pochodna funkcji (1) ma postać

$$y' = s \frac{\pi}{w} \cos x, \quad (3)$$

co po podstawieniu do całki (2) daje

$$L = \int_a^b \sqrt{1 + \left(s \frac{\pi}{w} \cos x\right)^2} dx. \quad (4)$$

Całki tej nie można rozwiązać metodą analityczną. Rozwiązanie numeryczne, przy zastosowaniu programu opracowanego w Excelu i przy wymiarach $s = 0,60$ m oraz $w = 8,00$ m dało $L = 8,109$ m. Przyjęto, że krzywizny odwrotne A0 i BC są jednakowe i mają wymiary $w_1 = 3,00$ m oraz $s_1 = 0,14$ m, co po scałkowaniu numerycznym daje odpowiednio długość $L_1 = 3,016$ m. Różnica długości krzywizn powstałych po wybożeniu i toru prostego wynosi zatem

$$\Delta L = (L + 2L_1) - (w + 2w_1). \quad (5)$$

$$\Delta L = (8,109 + 2 \cdot 3,016) - (8,00 + 2 \cdot 3,00) = 0,141 \text{ m}$$

Różnice długości między połową sinusoidy i jej podstawą, przy spotykanych krzywiznach wybożeń, przedstawia rysunek 2.

Interpretacja uzyskanych wyników

Przebieg wybożenia toru ma właściwości dynamiczne, a rzeczywisty układ sił, jaki w nim pozostał nie jest znany. Z dużym przybliżeniem można jednak przyjąć, że w torze bezpośrednio po wybożeniu siły podłużne na pewnej długości, większej niż długość widocznych krzywizn, są zbliżone do zera. Oznacza to, że wybożenie toru wywala siły podłużne nie tylko w strefie widocznych krzywizn, lecz również na odcinkach nie przesuniętych w płaszczyźnie poziomej, po obu ich stronach. Próby oszacowanie siły P , która spowodowała wybożenie toru, bez udziału pociągu, są więc możliwe tylko w tym przypadku, gdy uda się dostrzec, poza strefą krzywizn, ślady przesunięć szyn po podkładach lub podkładów po podsypce. Znając długość odcinków d_1 i d_2 , na których zauważono takie przesunięcia można oszacować siłę podłużną w torze przed jego wybożeniem

$$P = \frac{2\Delta L E A}{w + 2w_1 + d_1 + d_2} \quad (6)$$

gdzie:

E – moduł sprężystości podłużnej,
 A – powierzchnia przekroju szyny.

Ekwiwalentem zmiany temperatury odpowiadającej tej sile jest

$$\Delta t = \frac{P}{2EA\alpha} \quad (7)$$

gdzie:

α – współczynnik rozszerzalności termicznej.

Przyjmując obliczone wymiary skrótów, $d_1, d_2 = 75$ m, szynę 60E1 i znane wartości fizyczne otrzymano $P = 2183$ kN oraz $\Delta t = 55,5^\circ\text{C}$. Gdyby temperatura szyny w chwili wybożenia wynosiła 50°C oznaczałoby to, że temperatura neutralna była równa $-4,5^\circ\text{C}$. Obliczenia te są jednak orientacyjne, gdyż opierają się tylko na rozważaniach statycznych, a nie dynamicznych.

Podsumowanie

Gromadzenie danych o zaistniałych wypadkach wzbogaca wiedzę, która po odpowiednim usystematyzowaniu prowadzi do zmniejszenia zagrożeń. Wybożenia toru należą do tych groźnych zjawisk, które są trudno przewidywalne, zwłaszcza w torach o przeciętnym stanie utrzymania. Diagnostyka torów bezstykowych mimo wielu prób i zbudowanych prototypów nie dysponuje jeszcze niezawodną aparaturą do pomiaru sił podłużnych. W tej sytuacji warto poznawać i zgłębiać symptomy, które mogą prowadzić do wybożeń.

Interesującym materiałem doświadczalnym mogą się stać spostrzeżenia z obserwacji i stosunkowo prostych pomiarów torów wybożonych. Wydaje się, że dalsze, dokładniejsze niż zarysowane w tym referacie, próby wyciągania wniosków z kształtu wybożonego toru mogą ułatwić poszukiwania przyczyn źródłowych tych groźnych zdarzeń. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Bałuch H., Gawel K., Oczykowski A., Towpik K.: Wybożenie toru bezstykowego w warunkach zimowych. Drogi Kolejowe 1082, nr 4
- [2] Bałuch H., Bałuch H. Zwiększenie trwałości rozjazdów metodami eksploatacyjnymi. CNTK, Warszawa 2009
- [3] Czyżuła W. Towpik K.: Problemy modelowania oraz identyfikacji modeli toru bezstykowego. Problemy Kolejnictwa, zeszyt 128, 1998
- [4] Kish A., Samavedam G.: Risk analyses based CWR track buckling safety evaluations. International Conference on innovations and assessment of railway track. Delft University of Technology, 1999