

Jacek Caban, Leszek Gardyński, Sylwester Samborski

Analiza wpływu zużycia szyny 49E1 na wartość wskaźnika wytrzymałości na zginanie

Ogromny rozwój kolei nastąpił w drugiej połowie XIX w. i początku XX w. Przyczyną tego było otwarcie w 1825 r. pierwszej linii kolejowej w Anglii ze Stockton do Darlington, a następnie z Liverpool do Manchester [6]. Rozwój gospodarczy w znacznym stopniu zależy od sprawnego systemu transportowego, który powinien umożliwić niezawodny, bezpieczny i efektywny przewóz towarów zarówno w ruchu krajowym, jak i międzynarodowym [7].

Spełnienie tych warunków jest trudne dla międzynarodowego transportu kolejowego, ze względu na różne szerokości torów. Z punktu widzenia szerokości torów wyróżnia się linie (koleje) [5]:

- **normalnotorowe**, o rozstawie szyn 1435 mm (mierzonym między wewnętrznymi krawędziami toków szynowych),
- **szerokotorowe**, o rozstawie szyn:
 - 1520 mm (Rosja, Ukraina, Białoruś i kraje WNP),
 - 1600 mm (Irlandia),
 - 1675 mm (Hiszpania),
- **wąskotorowe**, o rozstawie szyn:
 - 1000 mm,
 - 750 mm,
 - 600 mm.

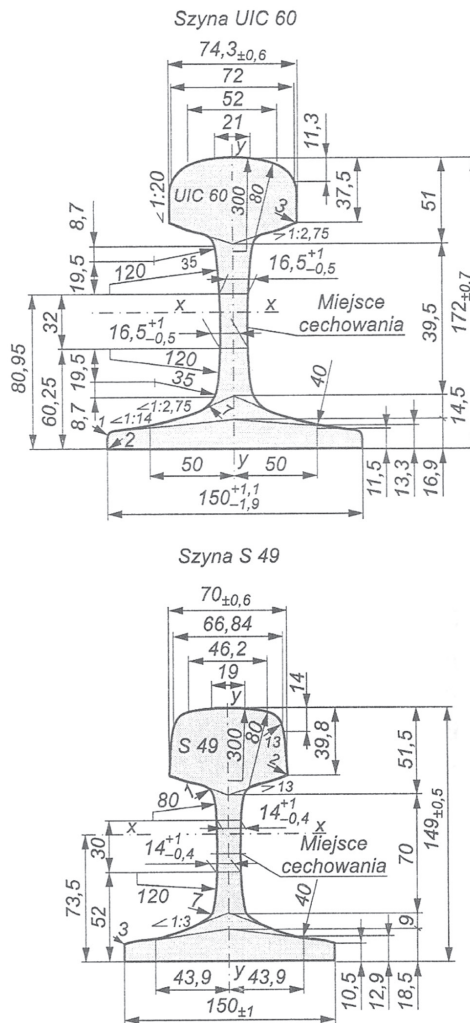
Do podstawowej infrastruktury transportu kolejowego należą:

- drogi kolejowe ze stacjami;
 - punkty przeładunkowe;
 - bocznice i niezbędne do ich działania wyposażenie elektryczne, wodno-kanalizacyjne;
 - urządzenia sterowania ruchem i łączności.
- Najważniejszymi elementami linii kolejowej na szlaku są [9]:
- nawierzchnia kolejowa i podtorze,
 - urządzenia trakcji elektrycznej,
 - urządzenia sterowania ruchem pociągów (srk),
 - obiekty inżynierijne.

W artykule skoncentrowano się na analizie wpływu zużycia szyny typu 49E1, wykonanej zgodnie z normą PN-84/H-93421 Szyny normalnotorowe (obecnie zastąpiona normą PN-H-84027-07:1984) na wartość wskaźnika wytrzymałości na zginanie.

Analizowany obiekt

Szyny kolejowe są elementem nośnym konstrukcji, których zadaniem jest prowadzenie zestawów kołowych. Poddane są bezpośredniemu oddziaływaniu kół pojazdu szynowego, co prowadzi do ich zużycia. Szyny mogą również stanowić element urządzeń srk, a w przypadku trakcji elektrycznej przewodzą prąd zasilający środki transportu kolejowego. Polskie koleje eksploatują obecnie dwa typy szyn: UIC60 oraz 49E1 – dawniej S49 (rys. 1) [11, 12].



Rys. 1. Podstawowe typy szyn kolejowych eksploatowanych przez polskie koleje [9]

W diagnostyce toru istotnym zagadnieniem jest badanie skutków kontaktu koła pojazdu i szyny [4]. Oddziaływanie między kołem i szyną stanowi źródło energii, która przenoszona przez szynę, przytwierdzenie i podkład na podsypkę powoduje powstanie pola intensywnych drgań [10]. Prowadzi to do zużycia współpracujących elementów, jak również powoduje osiadanie podsypki. Zjawisko zużycia nasila się szczególnie w momencie jazdy po łuku. Zestaw kołowy poddany jest działaniu: obciążeń pionowych pochodzących od masy pojazdu szynowego, sił bocznych na styku obrzeża koła i główki szyny powstających w wyniku nabiegania obrzeża na powierzchnię boczną główki szyny [2]. O wielkości zużycia bocznego decyduje zarówno konstrukcja i stan techniczny pojazdów, jak i stan utrzymania nawierzchni [9].

Na rysunku 2 przedstawiono próbkę (wycinek) analizowanych szyn kolejowych typu 49E1 zużyty boczenie, z zestawioną dobrą szyną z tyłu. Problem, co zrobić z zużytymi szynami i jak można je jeszcze zastosować jest istotnym zagadnieniem. Zużyte szyny można wykorzystać np.: w budownictwie jako belki zbliżone do dwuteowych lub w innych zastosowaniach. Istotne jest określenie zmniejszenia wytrzymałości przez pomiar zużycia główki. Zaprezentowane obliczenia mają na celu umożliwienie szybkiej oceny wskaźnika wytrzymałości na zginanie w zależności od stanu zużycia szyn.



Rys. 2. Próbkę analizowanego stopnia zużycia szyny E491

Założenia prowadzonej analizy

Celem przeprowadzonej analizy jest określenie przybliżonej zależności między zmianą geometrii główki szyny, według założonego z góry schematu (rys. 3), a wartością wskaźnika wytrzymałości na zginanie W_x .

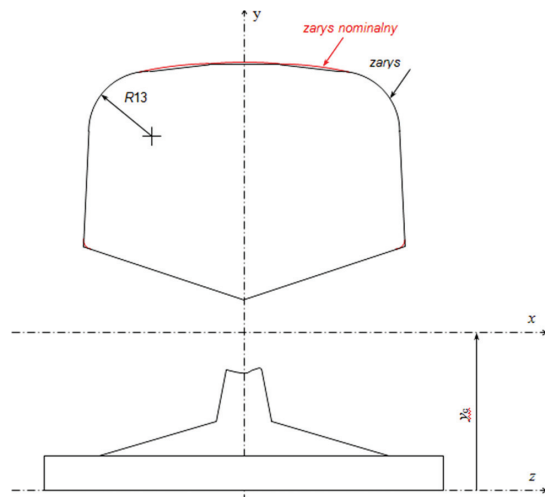
Obliczenia przeprowadzono dla kształtu i wymiarów szyny 49E1, podanych w PN-EN 13674-1:2011 oraz na podstawie dostępnych informacji dotyczących sposobu zużycia szyn kolejowych [8, 13]. Geometrię główki szyny nieznacznie uproszczono (rys. 3), w celu ułatwienia żmudnych obliczeń. Uproszczenie nie powoduje istotnych zmian wyników w stosunku do profilu rzeczywistego. Na rysunku 4 przedstawiono opracowany uproszczony schemat zużycia szyn. Posłużył on do obliczenia wskaźnika dla szyny zużytej.

Dysponowano następującymi danymi wyjściowymi do analizy według charakterystyki przekroju poprzecznego szyny 49E1 z PN-EN 13674-1:2011:

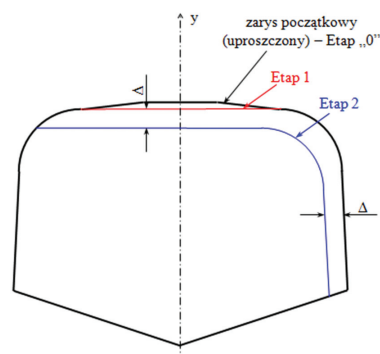
- powierzchnia przekroju poprzecznego – 62,92 cm²,
- moment bezwładności względem osi x – 1816 cm⁴,
- wskaźnik wytrzymałości przekroju (główka) – 240,3 cm³,
- współrzędna osi obojętnej (licząc od podstawy profilu) – 7,341 cm.

Metodologia prowadzenia obliczeń

Obliczenia przeprowadzono zgodnie z zasadami prowadzenia obliczeń charakterystyk geometrycznych figur płaskich podanymi w literaturze [1, 3]. Obliczenia wartości wskaźnika powtarzano wielokrotnie, w zależności od zadanego, zmiennego stopnia zużycia szyny, określonego parametrem δ [mm] (Δ na rys. 4), w zakresie od 0 do 16 mm.



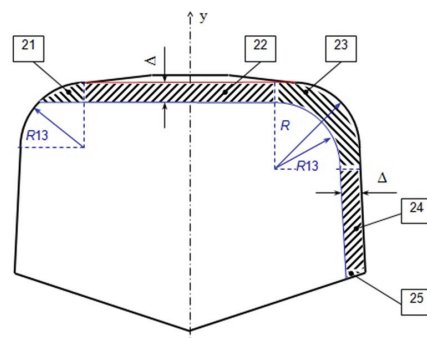
Rys. 3. Uproszczony zarys szyny 49E1 główka i stopa



Rys. 4. Kolejne etapy zużycia analizowanej główki szyny 49E1

Następnie dokonuje się myślowego odejmowania kolejnych części przekroju (rys. 5. figury 21–25) i przelicza charakterystyki geometryczne, aż do uzyskania wartości W_x . Figury przedstawione na rysunku 5 to odpowiednio: trójkąt prostokątny (zamiast wycinka koła) – 21, prostokąt – 22, ćwiartka pierścienia kołowego – 23, równoległobok – 24 oraz trójkąt prostokątny – 25.

Dla tak obranych figur obliczono kolejno indywidualne momenty bezwładności przekrojów względem osi z , a następnie moment bezwładności nowego przekroju szyny (J_z''), po odjęciu figur 21–25. Mając obliczone wartość współrzędnej nowej osi obojętnej (y_c'') wyznaczono wartość nowego wskaźnika wytrzymałości przekroju na zginanie (W_x'').



Rys. 5. Dekompozycja zużytej części przekroju główki szyny na figury proste (opis w tekście)

Obliczenia wstępne pozwoliły uzyskać wartości charakterystyk geometrycznych jako układ odniesienia. Wartości charakterystyk były następujące:

- współrzędna pionowa nowej osi obojętnej (licząc od podstawy profilu) $y_c' = 7,291$ cm;
- moment bezwładności względem nowej osi centralnej (x_c') $J_{x_c}' = 1793$ cm⁴;
- wskaźnik wytrzymałości przekroju (główna) $W_x = 240,3$ cm³.

Tok obliczeń

1. Przyjęcie wartości parametru Δ , określającego zużycie.
2. Obliczenie wymiarów figur 21–25, wysokości:

$$(h_{21}, h_{22}, R_{23}, h_{24}, h_{25}) \quad (1)$$

oraz szerokości:

$$(b_{21}, b_{22}, b_{24}, b_{25}) \quad (2)$$

3. Obliczenie pól powierzchni figur 21–25:

$$(S_{21}, S_{22}, S_{23}, S_{24}, S_{25}) \quad (3)$$

4. Obliczenie momentów bezwładności figur 21–25 względem ich osi centralnych:

$$J_{x_c}^{21} = \frac{b_{21} (h_{21})^3}{36} \quad (4)$$

$$J_{x_c}^{22} = \frac{b_{22} (h_{22})^3}{12} \quad (5)$$

$$J_{x_c}^{23} = 0,055 (R_{23}^4 - 1,3^4) \quad (6)$$

$$J_{x_c}^{24} = \frac{b_{24} (h_{24})^3}{12} \quad (7)$$

$$J_{x_c}^{25} = \frac{b_{25} (h_{25})^3}{36} \quad (8)$$

5. Obliczenie odległości środków ciężkości figur 21–25 od osi z:

$$(y_c^{21}, y_c^{22}, y_c^{23}, y_c^{24}, y_c^{25}) \quad (9)$$

6. Obliczenie momentów bezwładności figur 21–25 względem osi z przy zastosowaniu twierdzenia Steinera:

$$J_z^{21} = J_{x_c}^{21} + (y_c^{21})^2 S_{21} \quad (10)$$

$$J_z^{22} = J_{x_c}^{22} + (y_c^{22})^2 S_{22} \quad (11)$$

$$J_z^{23} = J_{x_c}^{23} + (y_c^{23})^2 S_{23} \quad (12)$$

$$J_z^{24} = J_{x_c}^{24} + (y_c^{24})^2 S_{24} \quad (13)$$

$$J_z^{25} = J_{x_c}^{25} + (y_c^{25})^2 S_{25} \quad (14)$$

7. Obliczenie momentu bezwładności względem osi z zużytej szyny:

$$J_z'' = J_z' - (J_z^{21} + J_z^{22} + J_z^{23} + J_z^{24} + J_z^{25}) \quad (15)$$

gdzie J_z' oznacza moment bezwładności względem osi z przekroju spłaszczonego. Oblicza się go na podstawie J_{x_c}' , stosując twierdzenie Steinera. J_z' jest tylko nieznacznie mniejszy od momentu bezwładności szyny o pełnym zarysie (J_z^0).

8. Obliczenie nowej współrzędnej środka ciężkości przekroju:

$$y_c'' = \frac{y_c^0 S_0 - (y_c^{21} S_{21} + y_c^{22} S_{22} + y_c^{23} S_{23} + y_c^{24} S_{24} + y_c^{25} S_{25})}{S_0 - (S_{21} + S_{22} + S_{23} + S_{24} + S_{25})} \quad (16)$$

9. Obliczenie momentu bezwładności przekroju szyny zużytej względem nowej osi centralnej (x'') wyznaczono z zależności:

$$J_x'' = J_z'' - (y_c'')^2 S'' \quad (17)$$

gdzie S'' oznacza pole przekroju szyny zużytej.

10. Obliczenie nowego wskaźnika wytrzymałości przekroju na zginanie:

$$W_x'' = \frac{J_x''}{y_{max}''} \quad (18)$$

przy czym odległość y_{max}'' włókien skrajnych od osi centralnej (x'') wyznacza się odejmując od bieżącej wysokości szyny zużytej (H'' w tab. 1) wartość y_c'' . Tak obliczony wskaźnik W_x'' dotyczy więc główki szyny, a jego wartość jest mniejsza, niż liczona dla stopki.

Obliczenia powtórzono dla kilku wartości parametru δ . Przykładowe wyniki przeprowadzonych obliczeń podano w tabeli 1. Wartości wskaźnika W_x dla stanów pośrednich zużycia można znaleźć wykonując interpolację wyników zebranych w tabeli 1 i pokazanych na rysunku 6.

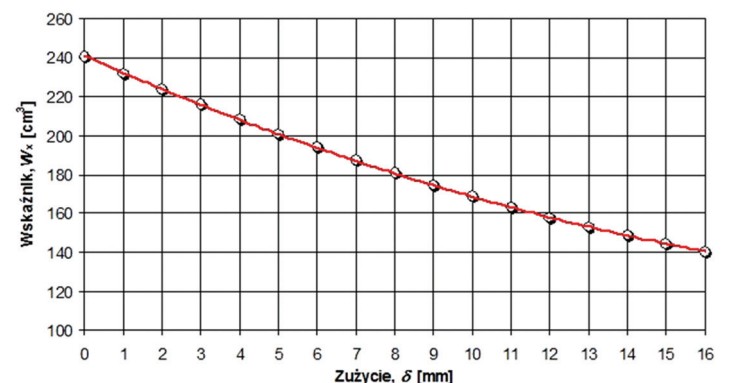
Podsumowanie

W ramach przedstawionej analizy wykonano obliczenia wartości wskaźnika wytrzymałości na zginanie W_x [cm³] w funkcji zużycia δ [mm] szyny typu 49E1. Przez zużycie należy rozumieć zmniejszenie

Tabela 1

Wartości wybranych charakterystyk geometrycznych profilu szyny 49E1 w zależności od stopnia jej zużycia

Charakterystyka	Wartość parametru określającego zużycie δ [mm]							
	2	4	6	8	10	12	14	16
Zużycie w kierunku pionowym $\Delta H = \delta + 1,5$ [mm]	3,5	5,5	7,5	9,5	11,5	13,5	15,5	17,5
Zużycie w kierunku poziomym $\Delta B = \delta$ [mm]	2	4	6	8	10	12	14	16
Wskaźnik wytrzymałości na zginanie (główna) W_x [cm ³]	223,9	208,3	193,9	180,7	168,7	158,0	148,5	140,3
Współrzędna osi centralnej y_c'' [cm]	7,101	6,909	6,718	6,531	6,348	6,174	6,009	5,856
Moment bezwładności przekroju J_x'' [cm ⁴]	1712	1634	1558	1486	1418	1355	1298	1248
Całkowita wysokość profilu $H'' = H^0 - \Delta H$ [cm]	14,55	14,35	14,15	13,95	13,75	13,55	13,35	13,15



Rys. 6. Zależność wskaźnika W_x od parametru δ uzyskanego na podstawie obliczeń

szenie wymiaru szyny jednocześnie w kierunku pionowym (oś y) i poziomym (oś x), z zachowaniem promienia zaokrąglenia $R = 13$ mm (rys. 5). Jest to typowy przebieg zużycia szyn obserwowany doświadczalnie [8, 13].

Należy jednak pamiętać, że ubytek w pionie odmierza się od pełnej wysokości nowej szyny ($H = 149$ mm wg [11]) i jest to wielkość $\Delta H = \delta + 1,5$ mm. Natomiast w kierunku poziomym odejmuje się $\Delta B = \delta$ [mm], licząc od zarysu nowej szyny, z uwzględnieniem zachowania zbieżności główki 1:20.

Na stopień i intensywność zużycia szyn ma wpływ wiele czynników. Zużycie boczne szyny jest związane ze stanem poruszających się środków transportu szynowego, czystości współpracujących elementów koło–szyna, a także prędkości pojazdu, rodzaju pochylenia toru i jazda po łuku o małych promieniach.

Zaprezentowane w artykule obliczenia umożliwiają szybką i łatwą ocenę wskaźnika wytrzymałości na zginanie w zależności od stanu zużycia szyn. Jest to bardzo przydatne przy zakwalifikowaniu materiału do zastosowań w budownictwie, jako belki dwuteowe i do innych pokrewnych zastosowań. □

Literatura

- [1] Banasiak M., Grossman K., Trombski M.: *Zbiór zadań z wytrzymałości materiałów*. PWN, Warszawa 1998.
- [2] Michnej M.: *Proces zużycia w połączeniu obrotowym na przykładzie modelu zestawu kołowego z samoczynną zmianą rozstawu kół*. Jakość, bezpieczeństwo i ekologia w transporcie, QSET2011, Kraków – Niepołomice 2011, s. 279–286.
- [3] Niezgodziński M.E., Niezgodziński T.: *Zadania z wytrzymałości materiałów*. WNT, Warszawa 2005.

- [4] Rydygier E., Strzyżakowski Z.: *Modelowanie problemów odwrotnych w diagnostyce toru kolejowego*. Logistyka 3/2012. Dział Logistyka – nauka, s. 1943–1948.
- [5] Rydzikowski W., Wojewódzka-Król K.: *Transport*. PWN, Warszawa 2009.
- [6] Sysak J.: *Drogi kolejowe*. PWN, Warszawa 1982.
- [7] Szkoda M.: *Analiza niezawodności kolejowej systemów ze zmienną szerokością torów 1435/1520 mm*. Jakość, bezpieczeństwo i ekologia w transporcie, QSET2011, Kraków – Niepołomice 2011, s. 447–456.
- [8] Szymański M.: *Problematyka trwałości elementów metalowych nawierzchni kolejowej i podwozi taboru* (praca magisterska pod kierunkiem dr inż. L. Gardyńskiego). Politechnika Lubelska, Lublin 2006.
- [9] Towpik K.: *Infrastruktura transportu kolejowego*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
- [10] Towpik K., Basiewicz T., Gołaszewski A.: *Ocena geometrycznej jakości nawierzchni kolejowej z kompozytem tłuczniowym*. Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym, INFRASZYN 2011, Zakopane 6–8 kwietnia 2011, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, s. 258–273.
- [11] PN-EN 13674-1:2011 *Kolejnictwo-Tor-Szyna-Część 1: Szyny kolejowe Vignole'a o masie 46 kg/m i większej*.
- [12] PN-H-84027-07:1984 *Stal dla kolejnictwa, Szyny normalnotorowe, Gatunki*.
- [13] www.asmo.com.pl czerwiec 2012.

mgr inż. Jacek Caban – Politechnika Lubelska
 dr inż. Leszek Gardyński – Politechnika Lubelska
 dr inż. Sylwester Samborski – Politechnika Lubelska

➤ *Dokończenie ze s. 51*

Eksploatacja wdrożonego systemu powinna zapewnić zwiększenie poziomu bezpieczeństwa w ruchu kolejowym i zmniejszenie kosztów eksploatacji taboru i sieci trakcyjnej, zwłaszcza przy rozmieszczeniu przynajmniej kilku takich stanowisk na liniach kolejowych o największym natężeniu ruchu. Przykłady prawidłowego wykrycia niesprawnych odbieraków przez system i następującej po tym szybkiej interwencji powiadomionych służb technicznych przewoźnika wskazują możliwości systemu MOP dla poprawy sytuacji w tym zakresie. Wymaga to podjęcia stałej współpracy między właścicielem infrastruktury a przewoźnikami. Poza charakterem prewencyjnym, stanowisko może być również wykorzystane pośrednio do ustalenia przyczyn ewentualnego uszkodzenia sieci lub odbieraka, jeżeli odbierak ten był krótko przed tym zdarzeniem zarejestrowany przez system MOP.

Obecnie podjęto działania zmierzające do zmniejszenia wrażliwości stanowiska MOP na wpływ czynników zaburzających pomiaru, jak wiatr i wzajemna interakcja blisko położonych odbieraków pociągu. Przewiduje się również umożliwienie wizyjnej oceny stanu technicznego grafitowych nakładek stykowych odbieraków prądu. □

Literatura

- [1] Giętkowski Z., Karwowski K., Mizan M.: *Diagnostyka sieci trakcyjnej*. Gdańsk: Wyd. PG, 2009. Biblioteka Cyfrowa Politechniki Gdańskiej.
- [2] Judek S., Karwowski K., Mizan M.: *Diagnostyka i monitoring odbioru prądu z sieci trakcyjnej*. Pojazdy Szynowe 3/2011.
- [3] Karwowski K., Mizan M.: *Monitoring parametrów technicznych odbieraków prądu w warunkach ruchowych na linii kolejowej*. Pomiary Automatyka Kontrola 12/2009.
- [4] Luna Vázquez C. A., Mazo Quintas M., Marrón Romera M.: *Non-contact sensor for monitoring catenary pantograph interaction*. 2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Bari, Italy, July 4–7, 2010.
- [5] Möller H., Grebner L., Hofman D.: *Stromabnehmer im laufendem Betrieb durch stationäre Anhubmessung*. Elektrische Bahnen 100 (2002), H. 6.
- [6] Park Y., Cho Y. H., Lee K., Jung H., Kim H., Kwon S., Park H.: *Development of an FPGA-based Online Condition Monitoring System for Railway Catenary Application*. 8th World Congress on Railway Research WCRR, Seoul, Korea, May 18–22, 2008.
- [7] Schorno R., Schmidt C., Nietlispach U.: *Zugkontrollrichtungen in der Schweiz*. Elektrische Bahnen 109 (2011), H. 9.
- [8] PN-EN 50367: 2012 – *Zastosowania kolejowe – Systemy odbioru prądu – Kryteria techniczne dotyczące wzajemnego oddziaływania między pantografem a siecią jezdnią górną (w celu uzyskania wolnego dostępu)*.