

Andrzej Brzeźny, Janusz Marszałek, Andrzej Sowa

Kryteria decyzyjne odnowy zarysu kół kolejowych

Artykuł dotyczy zagadnienia stosowania kryteriów, na podstawie których podejmowane są decyzje o odnowie zarysu kół kolejowych. Zwrócono uwagę na to, że dominującym rodzajem zużycia kół kolejowych jest zużycie ściernie obrzeża oraz zewnętrznej części powierzchni tocznej kół. Analiza dokumentów dotyczących wymagań, jakie muszą spełniać zestawy kołowe, pozwala na wyodrębnienie nieprzekraczalnych wartości cech diagnostycznych stanowiących podstawę dopuszczenia pojazdów kolejowych do ruchu. W praktyce decyzje o odnowie zarysu kół podejmuje się nieco wcześniej, przed osiągnięciem wartości granicznych przez cechy diagnostyczne, ze względu na możliwość pojawienia się innych symptomów świadczących o niezdatności kół zestawu kołowego. W pracy przedstawiono wykresy zmian takich cech diagnostycznych, jak grubość obręczy, grubość, wysokość i stromość obrzeża (mierzone podczas przeglądów okresowych czterosiowych lokomotyw elektrycznych). Na wykresach zaznaczono przypadki podjęcia decyzji o odnowie zarysu kół oraz powody ich podjęcia.

Wstęp

Współczesne pojazdy szynowe charakteryzują się tym, że mogą osiągać duże prędkości na nowych bądź zmodernizowanych liniach kolejowych. Wielokilometrowe odcinki tych linii pozostają często bez możliwości prowadzenia systematycznych obserwacji przejeżdżających pociągów, np. w Eurotunelu, na nowych liniach w Europie czy Azji. Wymaga to stosowania pokładowych i przytorowych systemów oceny stanu technicznego taboru, a zwłaszcza układu biegowego oraz hamulcowego pojazdów. Stosowanie tego rodzaju urządzeń jest niezbędne również na liniach lokalnych, obsługiwanych przez szynobusy. W układzie biegowym szczególne znaczenie dla bezpieczeństwa ruchu pojazdów ma stan techniczny zestawów kołowych. Wyrazem tego znaczenia są przykładowe prace poświęcone opisowi mechanizmu i czynników wpływających na zużycie kół [2, 6, 8], opisowi zjawisk kontaktowych w strefie styku koła z szyną [3], wpływowi smarowania obrzeży kół na ich zużycie [12], metodom pomiaru stopnia zużycia kół na postoju [7] i w ruchu [13]. Inne prace dotyczą równie ważnych zagadnień, do których należą optymalizacja profilu kół ze względu na intensywność ich zużycia [9] czy metody prognozowania zużycia na powierzchni tocznej kół zestawu kołowego [1, 5].

Badanie i ocena stanu technicznego zestawów kołowych wymagają zmierzenia wartości adekwatnych cech diagnostycznych i porównania uzyskanych wyników z wartościami odniesienia, zawartymi w dokumentach uwzględniających warunki dopuszczenia do ruchu danego rodzaju pojazdu szynowego. Jeśli ocena wyników



Fot. 1. Przykład zużycia ściernego obrzeża koła, mierzonego specjalistyczną suwmiarką
Źródło: oprac. własne.

badan diagnostycznych ma się odbywać bez udziału człowieka, za pomocą aplikacji komputerowego systemu wspomagania [10], niezbędne jest utworzenie odpowiedniej bazy danych [11]. Aby taki system wspomagania mógł efektywnie działać, niezbędne jest także określenie kryteriów, na podstawie których podejmowane są decyzje o odnowie profilu kół badanych zestawów kołowych lub o innych czynnościach obsługowych.

1. Zużycie i uszkodzenia zestawów kołowych pojazdów szynowych

Zestawy kołowe są zespołem pojazdów szynowych, którego stan techniczny zmienia się w trakcie eksploatacji wskutek zachodzących procesów zużycia oraz uszkodzeń, co z kolei decyduje o możliwości dopuszczenia pojazdu do ruchu. Podstawowym rodzajem zużycia zestawu kołowego jest zużycie ściernie, obejmujące obrzeże i powierzchnię toczną koła. Widok kół ze zużytym ściernie obrzeżem przedstawia fot. 1. Zużyciu temu może również towarzyszyć zużycie plastyczne, objawiające się utworzeniem krawędzi na powierzchni zewnętrznej obrzeża (fot. 2) lub powierzchni tocznej koła.

Inne rodzaje zużycia zestawów kołowych spotykane w eksploatacji to:

- ❖ zużycie faliste kół,
- ❖ zużycie typu *pitting* na powierzchni tocznej kół,
- ❖ zużycie typu *fretting* na powierzchni styku osi i kół,
- ❖ zużycie korozyjne widoczne przy poluzowanej obręczy,
- ❖ zużycie zmęczeniowe klasyczne osi zestawu bądź tarczy koła.

Pierwsze dwa rodzaje zużycia wpływają na postać profilu kół, podobnie jak często zdarzające się uszkodzenia powierzchni tocznej kół zestawu kołowego w postaci płaskich miejsc i nalep. Trzy pozostałe rodzaje zużycia oraz spotykane poluzowanie obręczy koła czy zmiana rozstawu kół wymagają wymiany obręczy lub kół, a następnie przeprowadzenia obróbki skrawającej na tokarce podtorowej (fot. 3).

Podjęcie decyzji o przeprowadzeniu obróbki skrawającej wynika z oceny wartości zmie-



Fot. 2. Zużycie ściernie i plastyczne obrzeża koła



Fot. 3. Odnowa profilu koła na tokarce podtorowej

zonych określonych cech diagnostycznych zestawu kołowego i odbywa się zwykle podczas planowych przeglądów okresowych.

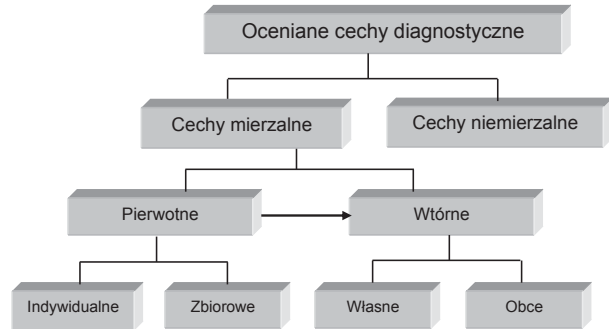
2. Cechy diagnostyczne służące do oceny stanu technicznego zestawów kołowych

Cechy diagnostyczne służące do oceny stanu technicznego zestawu kołowego należą do cech bezpieczeństwa. Ich zbiór dla zestawów kołowych z obręczami zawiera 29 pozycji [11]. Można je podzielić na mierzalne i niemierzalne, oceniane w sposób bezprzrządowy (rys. 1). Pomiar i ocena cech mierzalnych, a także ocena cech niemierzalnych zestawu kołowego, są podstawą do podjęcia decyzji o dopuszczeniu do ruchu całego pojazdu szynowego.

Cechy niemierzalne to takie cechy, które mogą być oceniane zmysłami człowieka. Są to czystość dźwięku powstającego przy uderzeniu obręczy młotkiem bądź ślady cząstek metalu w okolicy progu oporowego obręczy lub pierścienia zaciskowego koła, pojawiające się wskutek poluzowania się obręczy.

Cechy mierzalne można podzielić na pierwotne i wtórne. Większość cech mierzalnych to cechy pierwotne, tj. takie, które mogą być zmierzone w sposób bezpośredni (grubość, wysokość i stromość obrzeża, średnica koła) lub pośredni przy użyciu odpowiednich przetworników wielkości fizycznych (grubość obręczy mierzona miernikiem ultradźwiękowym). Niektóre cechy mogą być sprawdzone za pomocą specjalistycznych urządzeń, np. do defektoskopii ultradźwiękowej osi zestawu kołowego czy wyważarek. Cechy pierwotne mogą być typu indywidualnego lub zbiorowego. Pierwsze z nich są oceniane na podstawie jednego wyniku pomiaru (moment niewyważenia, rezystancja zestawu kołowego), a w przypadku drugich wartością ocenianą jest średnia z kilku wyników (np. grubość obręczy mierzona w trzech płaszczyznach co 120°).

Wtórne cechy dotyczą dodatkowych powiązań pomiędzy cechami pierwotnymi i posiadają odpowiednie wartości graniczne tych powiązań. Cechy te można podzielić na własne, czyli wynikające z cech pierwotnych tego samego zestawu kołowego podlegającego ocenie (np. suma grubości obrzeży zestawu kołowego), i obce. Obce cechy wtórne dotyczą powiązań pomiędzy cechami pierwotnymi zestawów kołowych danego wózka lub pojazdu szynowego (różnice średnic kół w wózku, w pojeździe).



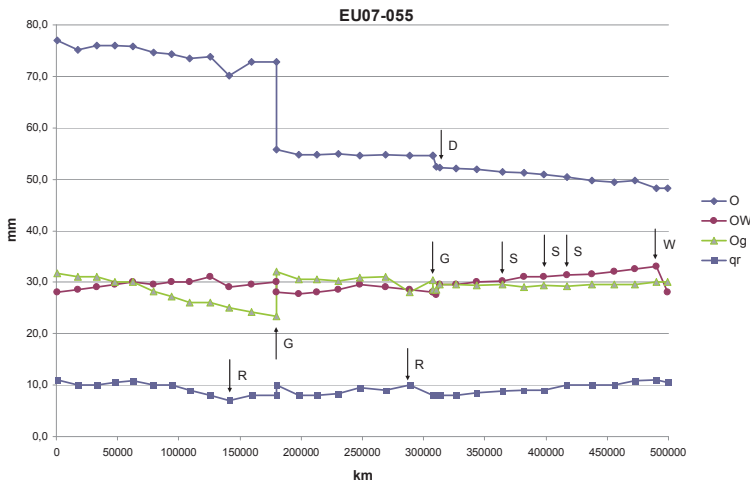
Rys. 1. Podział ocenianych cech diagnostycznych [11]

Instrukcja Bt-11 [4] określa wartości cech mierzalnych oraz opisuje dopuszczalną postać cech niemierzalnych. Dla cech mierzalnych podaje się trzy rodzaje wartości cechy diagnostycznej (parametru [4]):

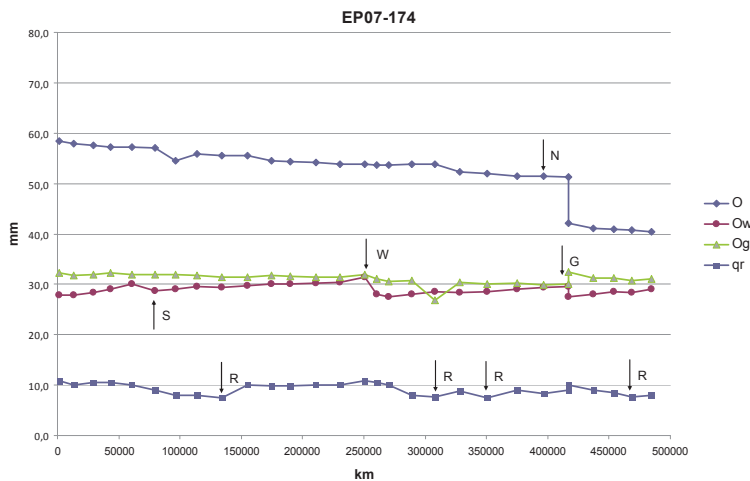
- ♦ wartość konstrukcyjna, czyli podana w dokumentacji konstrukcyjnej zestawu kołowego pojazdu trakcyjnego,

Tab. 1. Wartości cech diagnostycznych profilu kół lokomotywy elektrycznej [4]

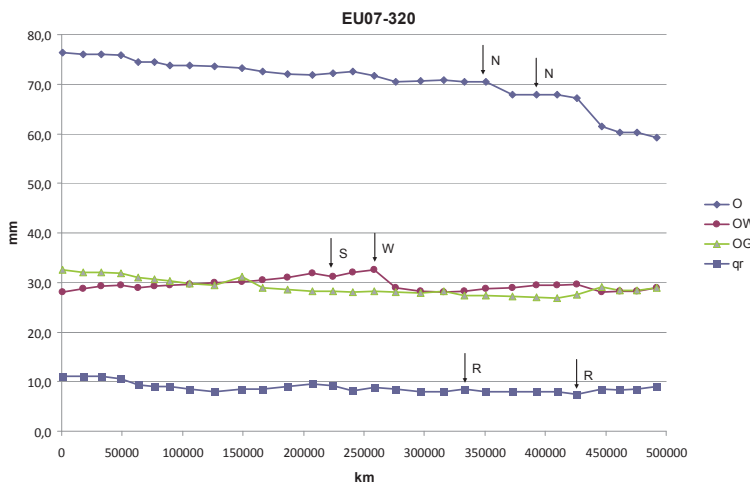
Lp.	Oznaczenie i nazwa cechy	Wartość [mm]			Znaczenie decyzji
		konstrukcyjna	naprawcza	kresowa	
1.	y ₁ , grubość obręczy O	y ₁ = 75 ⁺⁵ ₋₁	–	y ₁ ≥ 30	v < 80 km/h przy y ₁ < 40
2.		–	y ₁ ≥ 40	–	v ≤ 125 km/h
3.		–	y ₁ ≥ 50	–	v ≤ 160 km/h
4.	y ₂ , wysokość obrzeża O _w	y ₂ = 28 ^{+0,5} _{-0,5}	y ₂ = 28 ^{+0,5} _{-0,5}	25 < y ₂ ≤ 36	jazda bez ograniczeń
5.		y ₃ = 32,5 ^{+0,5}	–	22 < y ₃ ≤ 25	120 < v ≤ 160 km/h
6.	y ₃ , grubość obrzeża O _g	–	y ₃ ≥ 28,5	–	jazda bez ograniczeń
7.	y ₄ , stromość obrzeża q _r	y ₄ = 10,8 ^{+0,2} _{-0,3}	y ₄ = 10,8 ^{+0,2} _{-0,3}	y ₄ ≥ 6,5	jazda bez ograniczeń
8.		y ₅ = 65,0 ^{+1,0}	y ₅ ≥ 53	–	jazda bez ograniczeń
9.	y ₅ , suma grubości obrzeży w zestawie O _{gl} + O _{gp}	–	–	y ₅ ≥ 50	jazda bez ograniczeń w zależności od Az i w granicach Ez
10.	y ₆ , odległość A _z	y ₆ = 1360 ⁺²	y ₆ = 1357	–	jazda bez ograniczeń
11.	y ₇ , odległość E _z	y ₇ = 1426 ₋₁	1417 < y ₇ ≤ 1427	y ₇ ≥ 1410	jazda bez ograniczeń
12.	y ₈ , bicie osiowe G	y ₈ ≤ 0,8	–	–	120 < v ≤ 160 km/h
13.		0,8 < y ₈ ≤ 1	–	–	v ≤ 120 km/h
14.	y ₉ , bicie osiowe H	y ₉ ≤ 0,3	–	–	120 < v ≤ 160 km/h
15.		0,3 < y ₉ ≤ 0,5	–	–	v ≤ 120 km/h
16.	y ₁₀ , różnica średnic kół D-D' w zestawie	y ₁₀ ≤ 0,5	y ₁₀ ≤ 0,5	–	jazda bez ograniczeń
17.	y ₁₁ , różnica średnic kół D-D' w wózku	y ₁₁ ≤ 2	y ₁₁ ≤ 2	y ₁₁ ≤ 5	jazda bez ograniczeń
18.	y ₁₂ , różnica średnic kół D-D' między wózkami	y ₁₂ ≤ 5	y ₁₂ ≤ 5	y ₁₂ ≤ 5	jazda bez ograniczeń
19.	y ₁₃ , tolerancja profilu powierzchni tocznej Z2 obrzeża Z4	y ₁₃ ≤ 0,5	y ₁₃ ≤ 0,5	–	jazda bez ograniczeń
20.	y ₁₄ , tolerancja profilu na wierzchołku obrzeża Z4	y ₁₄ ≤ 1	y ₁₄ ≤ 1	–	jazda bez ograniczeń
21.	y ₁₅ , nawis na powierzchni tocznej s	–	–	y ₁₅ ≤ 3,0	v ≤ 160 km/h
22.		–	–	y ₁₅ ≤ 6,0	v ≤ 125 km/h
23.	y ₁₆ , nawis na wierzchołku obrzeża s	–	–	y ₁₆ ≤ 2,0	jazda bez ograniczeń
24.	y ₁₇ , wysokość płaskiego miejsca lub nalepy Op	–	–	y ₁₇ ≤ 1,0	jazda bez ograniczeń
25.	y ₁₈ , długość płaskiego miejsca lub nalepy Lp.	–	–	y ₁₈ ≤ 60	jazda bez ograniczeń



Rys. 2. Zmiany wybranych cech diagnostycznych i przyczyny odnowy profilu kół w lokomotywie EU07-055: D – wymiana zestawu kołowego, G – grubość obrzeża, R – strome obrzeże, S – „ostre” obrzeże, W – wysokie obrzeże



Rys. 3. Zmiany wybranych cech diagnostycznych i przyczyny odnowy profilu kół w lokomotywie EU07-174: G – grubość obrzeża, N – nawis na powierzchni tocznej, S – „ostre” obrzeże, R – strome obrzeże, W – wysokie obrzeże



Rys. 4. Zmiany wybranych cech diagnostycznych i przyczyny odnowy profilu kół w lokomotywie EU07-320: N – nawis na powierzchni tocznej, R – strome obrzeże, S – „ostre” obrzeże, W – wysokie obrzeże

- ♦ wartość naprawcza, tzn. otrzymanej po regeneracji lub naprawie zestawu kołowego,
- ♦ wartość kresowa, tj. graniczna wartość, która ze względu na bezpieczeństwo ruchu kolejowego i prawidłowość pracy zestawu kołowego nie może być przekroczona.

Cechami diagnostycznymi wymienionymi w tej instrukcji i odnoszącymi się do profilu kół zestawu kołowego są:

- y_1 – grubość obrzeży O ,
- y_2 – wysokość obrzeża O_w ,
- y_3 – grubość obrzeża O_g ,
- y_4 – stromość obrzeża q_r ,
- y_5 – suma grubości obrzeży w zestawie $O_{gl} + O_{gp}$,
- y_6 – odległość między wewnętrznymi powierzchniami obrzeży, mierzona na wysokości głowki szyny w zestawach kołowych normalnotorowych pod obciążonym A_z' ,
- y_7 – odległość między zarysami obrzeży obrzeży zestawów E_z , obliczona ze wzoru: $E_z = O_{gl} + O_{gp} + A_z$,
- y_8 – bicie osiowe G ,
- y_9 – bicie promieniowe H ,
- y_{10} – różnica średnic kół $D-D'$ w zestawie,
- y_{11} – różnica średnic kół $D-D'$ w wózku,
- y_{12} – różnica średnic kół $D-D'$ między wózkami,
- y_{13} – tolerancja profilu powierzchni tocznej Z_2 obrzeża Z_4 ,
- y_{14} – tolerancja profilu na wierzchołku obrzeża Z_4 ,
- y_{15} – nawis na powierzchni tocznej s ,
- y_{16} – nawis na wierzchołku obrzeża s ,
- y_{17} – wysokość płaskiego miejsca lub nalepy O_p ,
- y_{18} – długość płaskiego miejsca lub nalepy L_p .

Kierując się wprost danymi zawartymi w tabeli 1, można by stwierdzić, że dopiero przekroczenie wartości kresowych pozwala na podjęcie decyzji o odnowie profilu kół zestawu kołowego. W praktyce mogą to być jeszcze inne powody. Osiągnięcie przez niektóre z cech diagnostycznych (wymienionych w tabeli 1) wartości kresowych stanowi podstawę do ograniczenia dopuszczalnej prędkości jazdy lokomotywy, a tym samym ogranicza to jej możliwości trakcyjne do prowadzenia określonej kategorii pociągów.

3. Kryteria decyzyjne odnowy profilu kół zestawów kołowych w praktyce

Aby zilustrować kryteria, jakie w praktyce decydują o rozpoczęciu odnowy profilu kół zestawów kołowych, analizowano dane o wartościach odpowiednich cech diagnostycznych, z których podczas przeglądów okresowych były mierzone cztery:

- ❖ grubość obrzeży,
- ❖ wysokość obrzeża,
- ❖ grubość obrzeża,
- ❖ stromość obrzeża.

Dane te posłużyły do sporządzenia wykresów przedstawionych na rysunkach 2–5, ilustrujących zmiany tych cech dla wybranych czterech przykładowych lokomotyw elektrycznych, w których nie dokonywano wymian zestawów kołowych przez okres eksploatacji, w którym pojazd osiągnął 500 tys. km przebiegu. Na rysunkach tych strzałkami zaznaczono przebieg lokomotywy, przy którym podjęto decyzję o przeprowadzeniu odnowy profilu kół danego zestawu.

Analizując zaznaczone na tych rysunkach powody podjęcia decyzji o odnowie zarysu kół, można stwierdzić, że najczęstszymi przyczynami były:

- zużycie plastyczne obrzeża w postaci ostrego obrzeża koła (w 9 przypadkach),
- zużycie ścierne obrzeża koła, powodujące przekroczenie bądź zbliżenie się do wartości granicznej stromości obrzeża (w 8 przypadkach).

Pozostałe przyczyny przeprowadzenia odnowy zarysu kół to:

- grubość obrzeża, wysokość obrzeża i nawisu materiału na powierzchni tocznej koła (po 3 przypadki),
- konieczność wymiany zestawu kołowego dla wyrównania średnic kół w wózku oraz stwierdzenia zużycia zmęczeniowego typu *pitting* na powierzchni tocznej koła (po 1 przypadku).

W dwóch przypadkach nastąpiła wymiana zestawów kołowych z innych przyczyn.

Podsumowanie

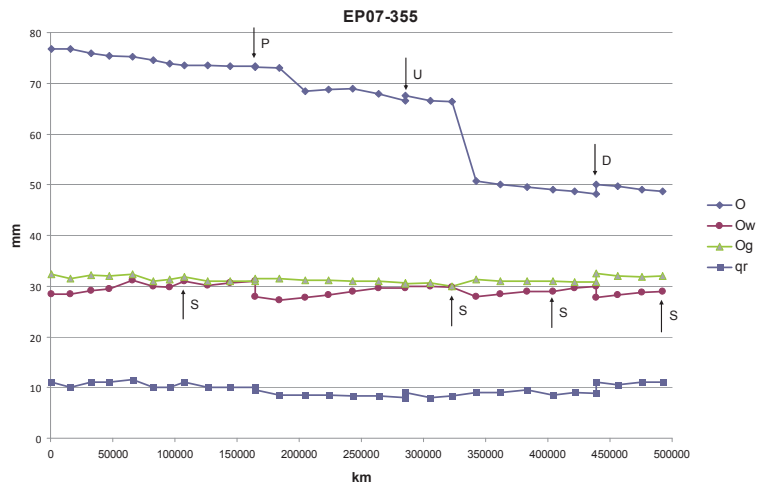
Analiza dokumentacji dotyczącej stosowanych w praktyce kryteriów podejmowania decyzji o odnowie zarysu kół zestawów kołowych pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- w jednostkach macierzystych nie prowadzi się pełnej dokumentacji dotyczącej wyników pomiarów kół – zarówno przed odnową, jak i po odnowie ich profilu,
- w praktyce decyzje o przeprowadzeniu odnowy profilu podejmuje się zazwyczaj przed tym, jak badane cechy diagnostyczne uzyskają wartości graniczne,
- przeznaczenie lokomotywy do prowadzenia pociągów ekspresowych może być powodem wcześniejszej wymiany zestawów kołowych przed osiągnięciem minimalnej grubości obręczy dopuszczalnej dla ruchu z mniejszymi prędkościami,
- niekiedy podczas kolejno następujących po sobie pomiarów obserwuje się na wykresach wzrost grubości obręczy (co jest w ogóle niemożliwe) oraz wzrost grubości obrzeża bez przeprowadzonej odnowy zarysu, co sugeruje wystąpienie błędów pomiaru lub zapisu albo nierównomierne zużycie obręczy.

Ostatni z wniosków jest argumentem za wprowadzeniem komputerowego systemu rejestracji i analizy cech zestawów kołowych, ponieważ system taki umożliwiłby zaprojektowanie procedur analizy danych i generowania w czasie rzeczywistym stosownych ostrzeżeń o możliwości wystąpienia błędów.

Bibliografia:

1. Braghin F., Lewis R., Dwyer-Joyce R. S., Bruni S., *A mathematical model to predict railway wheel profile evolution due to wear*, „Wear” 2006, No. 11 (261).
2. Ekberg A., Kabo E., *Fatigue of railway wheels and rails under rolling contact and thermal loading – an overview*, „Wear” 2005, No. 7 (258).
3. Elliskivi T., Olofsson U., *Wheel – rail wear simulation*, „Wear” 2004, No. 11 (257).
4. *Instrukcja pomiarów i oceny technicznej zestawów kołowych pojazdów trakcyjnych Bt-11*, PKP Intercity, 2010.
5. Jendel T., *Prediction of wheel profile wear – comparisons with field measurements*, „Wear” 2002, No. 1 (253).
6. Lingaitis E. P., Mikaliunas S., Vaiciunas G., *The analysis of wear intensity of the locomotive wheel – sets*, „Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability” 2004, No. 3.
7. Madejski J., Grabczyk J., *Rail head and wheel profile geometry measurement*, Computers in Railways VI. Advances in Transport – olume 2, WITPress, Southampton 1998.
8. Piec P., *Badania eksploatacyjne elementów i zespołów pojazdów szynowych*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004.
9. Shevtsov I. Y., Markine V. L., Esveld C., *Optimal design of wheel profile for railway vehicles*, „Wear” 2005, No. 7 (258).
10. Sowa A., *Problems of computer-aided technical state evaluation of rail-vehicle wheel sets. Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance*, „Zagadnienia Eksploatacji Maszyn” 2011, z. 3 (176).



Rys. 5. Zmiany wybranych cech diagnostycznych i przyczyny odnowy profilu kół w lokomotywie EP07-355: D – wymiana zestawu kołowego, P – pitting na powierzchni tocznej, S – „ostre” obrzeże, U – wyrównanie średnic

11. Sowa A., *The database for the evaluation system of the technical condition of rail-vehicle wheel sets*, Monografia Zespołu Systemów Eksploatacji PAN KBM Sekcja Podstaw Eksploatacji „Problems of maintenance of sustainable technological systems”, t. I, Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne, Warszawa 2010.
12. Vaičiūnas G., Lingaitis L. P., *The influence of railroad curves on the wear of lubricated and unlubricated wheel flanges*, „Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability” 2010, No. 3 (47).
13. Wu K., Zhang J., Yan K., *Online measuring method of the wheel set wear based on CCD and image processing*, Photonics Asia 2004, International Society for Optics and Photonics, 2005.

Autorzy:

mgr inż. **Andrzej Brzeźny** – PKP Intercity Zakład Południowy, andrzej.brzezny@intercity.pl
 mgr inż. **Janusz Marszałek** – PKP Intercity Zakład Południowy, januszmarszalek@op.pl
 dr hab. inż. **Andrzej Sowa** – Instytut Pojazdów Szynowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska, andre@mech.pk.edu.pl

Decision criteria for profile renovation of rail-vehicle wheels

The paper concerns the question of the criteria on which decisions are made about the renovation of railway wheel profile. Attention is drawn to the fact that the dominant railway wheel wear is abrasive wear of wheel flange and running surface of the wheel. Analysis of the documents relating to the requirements to be met by wheel-sets allows to extract value of diagnostic features which could not be exceeding for the admission of vehicles to move. In practice, decisions about the renovation of the wheel profile are taken a little earlier, before reaching the limits of diagnostic feature values, because there is a possibility of the other wheel-set unfit appearance. This paper presents the curves of diagnostic feature changes such as the thickness of the rim, thickness, height and steepness of the wheel flange which were measured during periodic inspections of electric locomotives. The graphs marked by instances of a decision on the renovation of wheel rim and the symbol of reason for their decision were also added.