

Korelacja pomiędzy głównymi cechami diagnostycznymi zarysu kół pojazdów szynowych w okresie eksploatacji

Andrzej BRZEŻNY¹, Piotr POTĘPA², Andrzej SOWA³

Streszczenie

Artykuł dotyczy zagadnienia korelacji pomiędzy wartościami głównych cech diagnostycznych, które służą do oceny zużycia obręczy na powierzchni tocznej oraz zużycia obrzeża koła. W artykule skupiono się na analizie zależności pomiędzy tymi cechami w okresie od zamontowania nowych obręczy kół lub kół bezobręczowych w danym zestawie aż do ich wymiany. Przedmiotem badań były koła elektrycznych zespołów trakcyjnych i lokomotyw manewrowych. Dane pomiarowe, uzyskane od krajowego przewoźnika, zawierają jednak wiele błędów. Stwierdzono, że w niektórych przypadkach błędnie przypisano zmierzone wartości do nieodpowiednich rubryk w kartach pomiarowych. Innym błędem mogło być nieodpowiednie przygotowanie powierzchni kół do pomiarów. Z tego powodu wybrano pewne fragmenty zebranych danych, co do wiarygodności których nie ma wątpliwości. Dane te umożliwiły wyznaczenie równań linii trendów, które w sposób poglądowy przedstawiają zmiany wartości badanych cech diagnostycznych względem siebie. Z przebiegu uzyskanych charakterystyk zmian wartości cech diagnostycznych oraz obliczonych współczynników korelacji Pearsona wynika, że pomiędzy wskazanymi cechami zachodzą silne zależności. Taka sytuacja jest niezależna od diametralnie różnych warunków użytkowania badanych grup pojazdów szynowych. Wniosek o istnieniu silnej zależności pomiędzy cechami badanymi może być wykorzystany przy tworzeniu innowacyjnych rozwiązań procesu diagnozowania kół pojazdów szynowych. W szczególności chodzi tu o zaprojektowanie funkcji analitycznych, które w czasie rzeczywistym mogłyby weryfikować poprawność wyników pomiarów.

Słowa kluczowe: badania eksploatacyjne, pojazdy szynowe, cechy diagnostyczne, zarys zewnętrzny kół, współczynnik korelacji Pearsona

1. Wprowadzenie

Zużycie kół ma istotny związek z bezpieczeństwem ruchu pojazdów szynowych, co znajduje odzwierciedlenie w dużej liczbie prac z tego zakresu podejmowanych w kraju i za granicą. Przykładami takich prac są pozycje [1, 6–9] spisu literatury. Również z tego powodu, w procesie eksploatacji, systematycznie dokonuje się pomiarów głównych cech profilu kół, tj.: grubości obręczy (wieńca koła bezobręczowego) oraz grubości, wysokości i stromości obrzeża koła.

W odpowiednich przepisach, np. Bt-11 wydanych przez PKP Intercity [5] i dokumentacjach systemów utrzymania [2–4], określono wartości graniczne wymienionych cech, co umożliwia podejmowanie decyzji o odnowie profilu koła na podstawie bieżących wyników pomiarów. Wyniki te, zgromadzone w odpowiedniej bazie danych, umożliwiają wykreślenie indywidualnych krzywych zmian wartości cech opisujących

zużycie kół, a także uśrednionych charakterystyk obejmujących, np. wszystkie koła w danym pojeździe lub w grupie pojazdów o podobnie przebiegającym procesie ich użytkowania. Na tej podstawie można również określić zależności funkcyjne wartości danej cechy i przebiegu pojazdu. Tego rodzaju zależności wyznaczono w pracy [6] w odniesieniu do grubości wieńca koła i w pracy [9], w odniesieniu do grubości obręczy oraz grubości, wysokości i stromości obrzeża koła.

Z poznawczego punktu widzenia interesujące jest, czy zmiany wartości poszczególnych cech diagnostycznych są ze sobą wzajemnie powiązane. Wstępna analiza, przedstawiona w [9] dotycząca pewnej grupy lokomotyw elektrycznych, pozwala przypuszczać, że tak może być w przypadku innych rodzajów pojazdów szynowych. Przedmiotem badań przedstawionych w niniejszym artykule były koła elektrycznych zespołów trakcyjnych i lokomotyw manewrowych. Pojazdy te są użytkowane w skrajnie różnych warunkach,

¹ Mgr inż.; PKP Intercity; e-mail: andrzej.brzezny@intercity.pl.

² Mgr inż.; Newag IP Management Sp. z o.o.; e-mail: piotr.potepa@newag.pl.

³ Dr hab. inż.; Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny Instytut Pojazdów Szynowych; e-mail: andre@mech.pk.edu.pl.

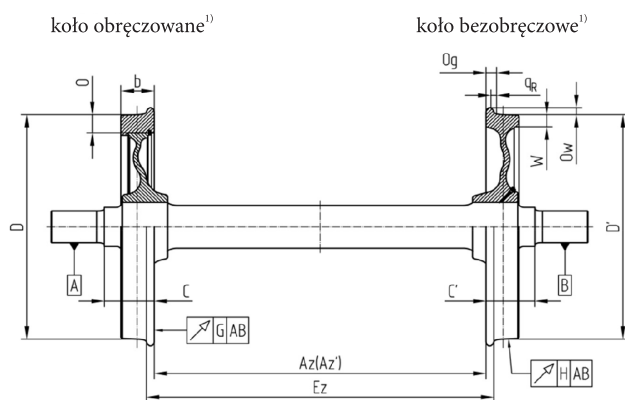
dlatego pozytywna weryfikacja tezy o skorelowaniu zmian wartości głównych cech diagnostycznych zarysu kół może być traktowana jako istotna reguła podczas oceny zużycia tych kół.

2. Charakterystyka obiektów badań

Charakterystyka obiektu badań musi uwzględniać nie tylko określenie konkretnych cech tego obiektu, ale również warunków ich użytkowania. Zgodnie z [5], do głównych cech diagnostycznych zestawów kołowych z kołami obręczowanymi lub bezobrzeżowymi zalicza się:

- grubość obrzeża O albo wieńca koła W ,
- grubość obrzeża O_g ,
- wysokość obrzeża O_w ,
- stromość obrzeża q_R .

Sposób pomiaru tych cech określa Instrukcja [5], a w sposób poglądowy przedstawia to rysunek 1. W przypadku grubości obrzeży lub wieńca koła, wynik badania jest średnią z trzech pomiarów przeprowadzonych w płaszczyznach przechodzących przez środek koła i usytuowanych względem siebie pod kątem 120° . Do pomiarów wartości tej cechy można wykorzystać suwmiarkę lub ultradźwiękowy przyrząd pomiarowy.



¹⁾ Oprócz symboli O , $D1$ oraz W , pozostałe symbole są takie same dla koła bezobrzeżowego i koła obręczowanego

Rys. 1. Cechy diagnostyczne zestawów kołowych z kołami obręczowanymi lub bezobrzeżowymi [5]

Instrukcja [5] nie precyzuje płaszczyzn pomiaru pozostałych, głównych cech diagnostycznych zarysu kół. W tej sytuacji jeden pomiar wykonany suwmiarką albo elektronicznym przyrządem może być uznany za miarodajny. Należy przy tym dodać, że grubość obrzeża danego koła jest jednym ze składników wtórnej cechy diagnostycznej, którą jest suma grubości obrzeży w danym zestawie kołowym. Ta cecha wtórna nie może być jednak w tym przypadku wzięta pod

uwagę w analizie korelacji, ponieważ dotyczyłaby cech pierwotnych dwóch różnych kół zestawu.

W pracy opisanej w niniejszym artykule zdecydowano, że obiektem badań będą koła elektrycznych zespołów trakcyjnych i lokomotyw manewrowych. Zgromadzono wartości cech diagnostycznych zarysu kół zapisane w kartach pomiarowych dwóch grup pojazdów: elektrycznych zespołów trakcyjnych ED74 i lokomotyw manewrowych SM42.

Elektryczny zespół trakcyjny serii ED74 jest pojazdem przeznaczonym do dalekobieżnych przewozów pasażerskich z maksymalną prędkością 160 km/h [4]. Pojazd jest zestawiony z czterech członów opartych na pięciu dwuosiowych wózkach za pośrednictwem sprężyn pneumatycznych przymocowanych do ramy. Dwa skrajne wózki typu 22MNk są wózkami napędowymi o układzie B'_0 , natomiast trzy wózki środkowe typu 37ANk są wspólnymi wózkami tocznymi systemu Jakobsa. Pierwszym stopniem usprężynowania są elementy metalowo-gumowe, natomiast drugim stopniem – sprężyny pneumatyczne. Do napędu pojazdu zastosowano cztery silniki asynchroniczne typu TMF 59-39-4 o łącznej mocy 2000 kW. Przeniesienie napędu odbywa się przez przekładnię osiową typu SZH 595. Pojazd jest wyposażony w hamulec elektrodynamiczny oraz hamulce cierne tarczowe, zabudowane na wszystkich zestawach kołowych. Tarcze hamulcowe są przymocowane do powierzchni bocznej kół. Zestawy kołowe mają koła monoblokowe o średnicy konstrukcyjnej 840 mm. Średnica kresowa kół wynosi 790 mm. Grubość konstrukcyjna wieńca koła monoblokowego wynosi 55 mm, a wymiar kresowy 30 mm. Zespoły ED74 były użytkowane przeważnie na trasach Kraków – Warszawa – Terespol, charakteryzujących się bardzo dobrym stanem technicznym torów.

Lokomotywa spalinowa serii SM42 o układzie $B'_0 B'_0$ jest lokomotywą przystosowaną do prac manewrowych. Prędkość maksymalna pojazdu wynosi 90 km/h [2, 3]. Lokomotywa oparta jest na dwóch jednakowych dwuosiowych wózkach napędowych typu 1LN, 1LNa. Do ramy wózka są przymocowane zespoły napędowe wraz z prowadnikami oraz elementy układu hamulcowego (cylindry hamulcowe oraz ciągła). Pojazd ma dwa stopnie usprężynowania: usprężynowanie zestawu kołowego względem ramy wózka, w postaci resorów piórowych i elementów gumowych oraz usprężynowanie ramy wózka względem ostoi pojazdu w postaci sprężyn śrubowych. W lokomotywie jest zabudowany silnik spalinowy typu a8C22 o mocy 800 KM (lokomotywa typu 6D) lub silnik spalinowy C-18 o mocy 765 KM (lokomotywa typu 18D). Przeniesienie napędu z silników trakcyjnych typu LSa-430 na zestawy kołowe odbywa się za pośrednictwem przekładni zębatej. Zestawy kołowe są wyposażone w koła obręczowane o średnicy konstrukcyjnej 1100 mm, a ich średnica kresowa wynosi

1010 mm. Grubość konstrukcyjna obręczy wynosi 75 mm, natomiast wartość kresowa 30 mm. Lokomotywa jest wyposażona w pneumatyczny hamulec zespolony sytemu Oerlikon. Hamowanie pojazdu odbywa się przez dociskanie żeliwnych elementów ciernych (wstawek hamulcowych) do powierzchni tocznej zestawu kołowego. Wybrane do badań lokomotywy były użytkowane na terenie bocznic w Krakowie i Katowicach do prac manewrowych związanych z formowaniem składów pociągu. Dodać przy tym należy, że stan techniczny istniejących tam torów należy uznać za ogólnie zły.

3. Dane wejściowe

W celu udowodnienia tezy, że istnieje korelacja pomiędzy zmianami wartości głównych cech diagnostycznych kół, posłużono się oryginalnymi kartami pomiarowymi (w papierowej wersji) wybranych egzemplarzy elektrycznych zespołów trakcyjnych ED74 i lokomotyw manewrowych SM42. Karty dotyczyły wybranych okresów eksploatacji tych pojazdów, wyszczególnionych w tablicy 1.

Tablica 1

Wykaz pojazdów objętych badaniami

Typ pojazdu	Numer zastępczy	Daty graniczne	
		od	do
ED74	xx1	02-10-2015	26-02-2018
	xx2	06-07-2016	13-02-2018
	xx3	18-06-2016	06-03-2018
SM42	mm1	12-03-2015	05-03-2018
	3mmm	09-06-2016	26-02-2018

[Opracowanie własne].

Numerem zastępczym *mm1* oznaczono standardową lokomotywę manewrową SM42, a numerem *3mmm* zmodernizowaną lokomotywę tej serii.

Dane z oryginalnych kart pomiarowych przepisano do odpowiednio przygotowanych arkuszy Excela, co umożliwiło przedstawienie zmiany wartości poszczególnych cech diagnostycznych w uporządkowany jednoznacznie sposób (w postaci ciągu wartości tej samej cechy). Przykłady fragmentów takich zapisów przedstawiono w tablicach 2, 3. Ze względu na liczbę zestawów kołowych w obu seriach pojazdów, przyjęto zróżnicowaną formę arkusza danych. Należy dodać, że karty pomiarowe zespołów ED74 nie zawierają danych o zużyciu koła, wyrażonym zmianą grubości jego wieńca. Wynika to z braku odpowiednio dostosowanego przyrządu pomiarowego, a wymaganą przepisami obowiązkową kontrolę tej grubości wykonuje się przez wizualne sprawdzenie położenia kra-

wędzi powierzchni tocznej koła po jego zewnętrznej stronie względem rowka, oznaczającego maksymalne, dopuszczalne zużycie tego wieńca. Wartości zmierzone poszczególnych cech diagnostycznych, wpisane do arkuszy danych pochyłym drukiem, dotyczą wymiarów po odnowie zarysu koła.

Układ kolumn wartości zmierzonych, przedstawiony w tablicach 2 i 3, umożliwia łatwe śledzenie zmian poszczególnych cech diagnostycznych w trakcie eksploatacji. Głębsza analiza tych danych nasuwa jednak pewne wątpliwości i rodzi pytania:

- czy pomiary grubości obręczy lokomotyw SM42 przeprowadzono z odpowiednią starannością, a wynik jest średnią z trzech pomiarów,
- czy dane wpisane do karty odnoszą się do właściwego koła,
- czy sprawdzano prawidłowość działania niemanualnych przyrządów pomiarowych,
- czy prawidłowo przygotowano miejsca na powierzchni koła do pomiarów?

Pierwsze z pytań wynika z tego, że w kilku przypadkach w kartach odnotowano wzrastające wartości grubości obręczy w miarę wzrostu czasu użytkowania lokomotyw manewrowych SM42. Zmiany te, przekraczające niekiedy 1 mm, mogłyby świadczyć o owalizacji kół, jeśli nie zmierzono tej grubości w trzech miejscach i nie obliczono średniej z tych pomiarów, albo są wynikiem błędów pomiaru lub zapisu danych.

Można mieć również wątpliwości, co do przypisania zmierzonych wartości do odpowiedniego koła. Analiza danych w postaci ciągu zmian wartości dla odpowiednich kół umożliwia stwierdzenie, że zamiana wartości pomiędzy tymi kołami daje wartości wiarygodne, potwierdzone podczas kolejno po sobie następujących pomiarów. Trzeba przy tym dodać, że osoba wpisująca dane do oryginalnych kart pomiarowych może nie mieć bieżącego, łatwego podglądu wyników poprzednich. Nie sprzyja to samokontroli podczas pomiarów, czyli podjęciu decyzji o ponownym badaniu danej cechy diagnostycznej lub korekcie miejsca zapisu wyniku pomiarów.

Istotnym zagadnieniem w zakresie oceny wiarygodności zapisów w kartach pomiarowych kół badanych pojazdów, jest prawidłowość działania elektronicznych przyrządów pomiarowych, tzn. ultradźwiękowego grubościomierza i laserowego profilomierza. Każdy wynik pomiaru, który odbiega od wartości wynikającej ze spodziewanego trendu zmian danej cechy, powinien być sygnałem do sprawdzenia działania tego rodzaju przyrządów pomiarowych, po wykluczeniu wszystkich innych możliwości powstania błędów.

Źródłem błędów może być także niewłaściwe przygotowanie powierzchni koła do badań. Miejsca, w których dokonuje się pomiarów powinny być starannie oczyszczone i nie powinny być wybierane tam,

gdzie stwierdzono płaskie miejsca lub nalepy materiału albo gdzie dokonano prowizorycznego usunięcia tych wad powierzchni.

4. Analiza korelacji

Trudności, związane z uzyskaniem wiarygodnych wyników pomiarów głównych cech diagnostycznych kół zestawów kołowych, spowodowały podjęcie decyzji o wybraniu do dalszych badań tylko tych zapisów, które spełniały odpowiednio wykorzystane nieostre zależności pomiędzy wartościami cech diagnostycznych, uzyskanymi w kolejno po sobie wykonanych pomiarach:

$$w_{c1}(t) \leq w_{c1}(t+1) \vee w_{c2}(t) \leq w_{c2}(t+1) \quad (1)$$

gdzie:

- w_{c1}, w_{c2} – wartości poszczególnych cech diagnostycznych,
- t – identyfikator kolejnego pomiaru.

Okresy, z których wybrano zbiory danych dotyczących lokomotyw objętych badaniami, przedstawia tabela 4.

Tabela 4

Zakresy danych wykorzystane podczas analizy

Typ pojazdu	Numer zastępczy	Daty graniczne	
		od	do
ED74	xx1	22-09-2016	28-12-2016
	xx2	27-11-2016	05-03-2017
	xx3	28-10-2016	24-01-2017
SM42	mm1	06-09-2017	05-03-2018
	3mmm	08-09-2016	05-12-2016

[Opracowanie własne].

Na podstawie danych z okresów referencyjnych określonych w tabelicy 4, można sporządzić wykresy zmian wartości poszczególnych cech w funkcji przebiegu pojazdu, a także ocenić, jak te zmiany postępują względem siebie przy analizie cech parami. Zależność tę przedstawia rysunek 2, charakteryzujący zmiany stromości obrzeża y w funkcji jego grubości x . Biorąc pod uwagę wspólne dane dotyczące koła lewego i prawego, tę konkretną zależność można aproksymować do funkcji liniowej (traktowanej jako pewne wstępne przybliżenie), opisaną wzorem:

$$y = 1,4872x - 37,129 \text{ mm.} \quad (2)$$

Biorąc pod uwagę dane z okresów referencyjnych, można obliczyć współczynniki korelacji Pearsona (tablice 5–9), odnoszące się do poszczególnych, dwuelementowych kombinacji analizowanych cech diagnostycznych zarysu kół. Pominięto przy tym grubość obrzeży lokomotyw manewrowych, gdyż dokumentacja pomiarów elektrycznych zespołów trakcyjnych nie zawiera wartości odnoszących się do grubości wieńca kół monoblokowych.

Tabela 5

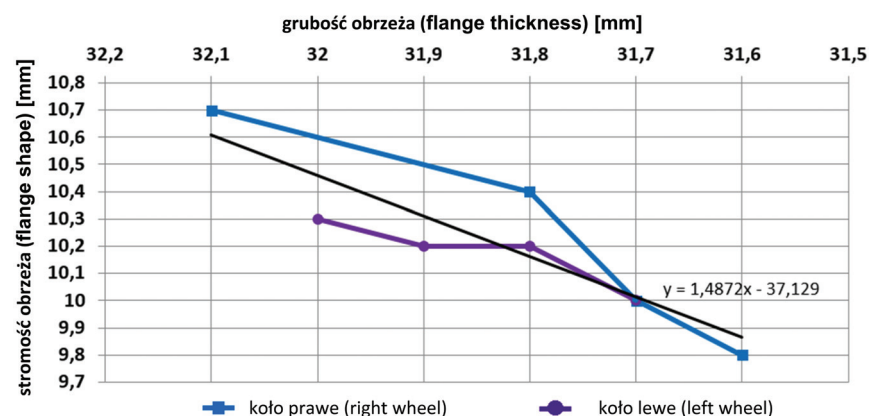
Współczynniki korelacji – lokomotywa SM42_3mmm

Lokomotywa SM42_3mmm, zestaw kołowy 3					
Koło prawe			Koło lewe		
$O_w i O_g$	$O_w i q_r$	$q_r i O_g$	$O_w i O_g$	$O_w i q_r$	$q_r i O_g$
-0,81	-0,90	0,96	-0,88	-0,82	0,92
Średnia					
$O_w i O_g$		$O_w i q_r$		$q_r i O_g$	
-0,85		-0,86		0,94	

[Opracowanie autorów].

Współczynniki korelacji przedstawione w tabelicy 5 świadczą o tym, że istnieje silna korelacja pomiędzy zmianami grubości, stromości i wysokości obrze-

Rys. 2. Wybrany przykład zmian stromości obrzeża w funkcji jego grubości w zestawie kołowym 3 lokomotywy SM42 3mmm [opracowanie własne]



za kół. Wynika to z tego, że wartości bezwzględne tych współczynników mieszczą się w przedziale od 0,81 do 0,96. Ta największa wartość odnosi się do zmian stromości i grubości obrzeża, a najmniejsza do jego grubości i wysokości. Ujemne wartości współczynników oznaczają w poszczególnych kombinacjach, że:

- zmniejszeniu grubości obrzeża O_g towarzyszy zwiększenie jego wysokości O_w ,
- zmniejszeniu wartości stromości obrzeża q_r jest związane ze zwiększeniem wysokości tego obrzeża O_w .

Dodatnia wartość współczynnika korelacji w tablicy 5 odnosi się do współzależności grubości i stromości obrzeża. Zmniejszeniu wartości jednego wymiaru towarzyszy zmniejszenie drugiego. Potwierdzeniem istnienia podobnie silnych korelacji są też wyniki zamieszczone w kolejnych tablicach 6–9.

Tablica 6

Współczynniki korelacji – lokomotywa SM42_mm1

Lokomotywa SM42_mm1, zestaw kołowy 1					
Koło prawe			Koło lewe		
O_w i O_g	O_w i q_r	q_r i O_g	O_w i O_g	O_w i q_r	q_r i O_g
-0,94	-0,97	0,97	-0,89	-0,86	0,99
Średnia					
O_w i O_g	O_w i q_r	q_r i O_g			
-0,91	-0,92	0,98			

[Opracowanie autorów].

Tablica 7

Współczynniki korelacji – EZT ED74_xx1

EZT ED74_xx1, zestaw kołowy 8					
Koło prawe			Koło lewe		
O_w i O_g	O_w i q_r	q_r i O_g	O_w i O_g	O_w i q_r	q_r i O_g
-0,94	-0,91	0,92	-0,89	-0,89	0,89
Średnia					
O_w i O_g	O_w i q_r	q_r i O_g			
-0,91	-0,90	0,91			

[Opracowanie autorów].

Tablica 8

Współczynniki korelacji – EZT ED74_xx2

EZT ED74_xx2, zestaw kołowy 7					
Koło prawe			Koło lewe		
O_w i O_g	O_w i q_r	q_r i O_g	O_w i O_g	O_w i q_r	q_r i O_g
-0,97	-0,92	0,98	-0,80	-0,96	0,91
Średnia					
O_w i O_g	O_w i q_r	q_r i O_g			
-0,88	-0,94	0,95			

[Opracowanie autorów].

Tablica 9

Współczynniki korelacji – EZT ED74_xx3

EZT ED74_xx3, zestaw kołowy 8					
Koło prawe			Koło lewe		
O_w i O_g	O_w i q_r	q_r i O_g	O_w i O_g	O_w i q_r	q_r i O_g
-0,83	-0,87	0,82	-0,87	-0,83	0,95
Średnia					
O_w i O_g	O_w i q_r	q_r i O_g			
-0,85	-0,85	0,88			

[Opracowanie autorów].

W tablicy 10 zestawiono zakresy, w których mieszczą się poszczególne współczynniki korelacji w zależności od rodzaju pojazdu. Różnice występujące w tej tablicy nie mają istotnego znaczenia i nie dają podstawy do wyciągania dalej idących wniosków dotyczących np. wpływu konstrukcji zawieszenia, charakteru pracy trakcyjnej lub stanu technicznego torowiska na wartości tych współczynników. Stanowią jednak podstawę do sformułowania postulatu o możliwości wykorzystania tych zależności przy tworzeniu komputerowego systemu kontroli poprawności pomiarów głównych cech diagnostycznych profilu koła.

Tablica 10

Zakresy obliczonych wartości współczynników korelacji

Rodzaj pojazdu	O_w i O_g		O_w i q_r		q_r i O_g	
	min.	max	min.	max	min.	max
Lokomotywa SM42	-0,81	-0,94	-0,82	-0,97	0,92	0,97
EZT ED74	-0,8	-0,97	-0,87	-0,96	0,82	0,98

[Opracowanie autorów].

5. Podsumowanie

Realizacja celu opisanej w artykule pracy, polegającego na wykazaniu istnienia silnej korelacji pomiędzy głównymi cechami diagnostycznymi kół pojazdów szynowych, natrafia na jedną podstawową trudność. Jest nią wiarygodność danych w istniejącym systemie rejestracji wyników pomiarów wartości tych cech. Układ (ED74) i rozmiar (SM42) rubryk kart pomiarowych, do których diagnosta wpisuje wartości kolejnych pomiarów nie sprzyja śledzeniu zmian tych wartości. Jest on skoncentrowany na kwalifikacji, czy wartość danej cechy mieści się w dopuszczalnym zakresie, czy nie, a jeśli wynik tej kwalifikacji jest pozytywny może wpisać wartość do rubryki, która niekoniecznie dotyczy koła z tej samej strony zestawu kołowego co poprzednio. O istnieniu tego rodzaju przypadków świadczy zgromadzona dokumentacja wyników pomiarów. Należy także systematycznie

sprawdzać elektroniczne urządzenia pomiarowe, aby wyeliminować ich niewłaściwe działanie. Trzeba również zwrócić uwagę na staranne czyszczenie badanych powierzchni. Zasadne jest także wprowadzenie konieczności dokonania trzech pomiarów danej cechy na jednym kole.

Możliwość zaistnienia takich zdarzeń prowadzi do następującego wniosku: jest niezbędne zbudowanie komputerowego systemu wspomaganie, działającego w czasie rzeczywistym, który umożliwi sprawowanie kontroli poprawności wykonywania pomiarów i zapisu wyników. Można do tego wykorzystać zależności, które określają trendy zmian wartości głównych cech diagnostycznych koła oraz współzależności zmian tych cech, wyrażone za pomocą współczynników korelacji Pearsona. Te trendy i zależności mogą być wstępnie określone na podstawie analizy istniejących fragmentów dokumentacji pomiarów zawierających dane, których wiarygodność nie budzi wątpliwości.

Literatura

1. Brzeźny A., Marszałek J., Sowa A.: *Kryteria decyzyjne odnowy zarysu kół kolejowych*, Technika Transportu Szynowego nr 10/2014, s. 3–7.
2. Dokumentacja Systemu Utrzymania lokomotywy spalinowej 6D serii SM42 z przekładnią elektryczną, IPS „Tabor”, 2011.
3. Dokumentacja Systemu Utrzymania lokomotywy spalinowej typu 18D, Newag, 2014.
4. Dokumentacja Systemu Utrzymania, Elektryczny Zespół trakcyjny typu 16Wek, Pesa, 2010.
5. Instrukcja pomiarów i oceny technicznej zestawów kołowych pojazdów trakcyjnych Bt-11. PKP Intercity, 2010.
6. Kortas P.: *Zużycie i reprofilacja kół pojazdów kolejowych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej seria Transport, 2013, z. 79, s. 61–69.
7. Lin J., Asplund M.: *Comparison Study of Heavy Haul Locomotive Wheels' Running Surfaces Wearing*, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2014, 16 (2), 276–287.
8. Lingaitis P.L., Mikaliūnas Š., Vaičiūnas G.: *The Analysis of Wear Intensity of The Locomotive Wheel – Sets*, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2004, 3, 23–28.
9. Potępa P., Sowa A.: *Analiza przydatności głównych cech diagnostycznych zarysu zewnętrznego kół do prognozowania terminów oceny stanu technicznego lokomotyw elektrycznych*, Logistyka, 2015, nr 3, 3988–3997 CD nr 1.