

Maria Bałuch

Graniczne wartości nadwyżek dynamicznych przy wykrywaniu przez urządzenia detekcji taboru płaskich miejsc na kołach

Zwiększone oddziaływania dynamiczne pojazdów szynowych z płaskimi miejscami na kołach mogą być przyczyną uszkodzeń nawierzchni kolejowej. Zwiększenie oddziaływań dynamicznych pojazdu na tor może być spowodowane również innymi wadami kół, takimi jak: wżery, wyłupania, poligonizacja, czy owalizacja. Stąd też zabezpieczenie nawierzchni przed nadmiernymi naprężeniami poprzez zastosowanie detektorów mierzących nadwyżki dynamiczne należy uznać za działanie celowe. Detektory takie stosowane są już na kolejach szwedzkich, hiszpańskich holenderskich, niemieckich i amerykańskich [1].

Również w Polsce zainstalowano system urządzeń detekcji stanów awaryjnych taboru typu ASDEC/PM/GM/GH/OK/PHOENIX/GOTCHA, które po pozytywnej weryfikacji na podstawie badań opisanych w pracach [1, 2] uzyskały dopuszczenie do eksploatacji na PKP PLK S.A. Skuteczność ochrony elementów nawierzchni przed uszkodzeniami zależy między innymi od ustalenia właściwych wartości progowych nadwyżek dynamicznych, które zapewnią wykrywanie kół z wadami mogącymi powodować uszkodzenia nawierzchni, a jednocześnie pozwolą uniknąć niepotrzebnego wyłączenia wagonów.

W artykule, opartym na pracy [3], przedstawiono kryteria oceny wad na kołach stosowane w różnych zarządkach kolejowych, analizę wartości progowych nadwyżek dynamicznych rozważanych do wprowadzenia przez PKP PLK S.A. oraz propozycję ich zmiany.

Wykrywanie płaskich miejsc na kołach w innych zarządkach kolejowych

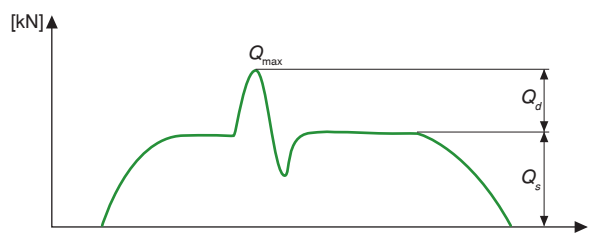
Obszerne eksperymenty dotyczące oddziaływań kół z płaskimi miejscami przeprowadzono w Szwecji. Ukształtowano ponad 200 płaskich miejsc na kołach i badano ich oddziaływania przy różnych prędkościach, naciskach osi, czasach poślizgu i współczynnikach tarcia między kołem a szyną. Na podstawie wyników tych badań ustalono trzy kryteria oceny oddziaływania koła na szynę [10]:

- wartość szczytową Q_{max} , tj. rzeczywistą siłę działającą na szynę – najbardziej przydatną do monitorowania lokomotyw i ładowanych wagonów towarowych,
- wartość dynamiczną Q_d , tj. wartość szczytową zmniejszoną o obciążenie średnie – najbardziej odpowiednią do monitorowania w połowie ładowanych wagonów towarowych (rys. 1),

- współczynnik relatywny WR , opisany stosunkiem wartości szczytowej Q_{max} do obciążenia średniego Q_s

$$WR = \frac{Q_{max}}{Q_s}$$

najbardziej użyteczny do monitorowania wagonów osobowych i próżnych wagonów towarowych.



Rys. 1. Kryteria oceny oddziaływania pojazdu na tor

Dla każdego z tych kryteriów określono dwa poziomy alarmów:

- ostrzegawczy (OSTR),
- maksymalny (STOP).

Wielkości poszczególnych kryteriów, ustalone dla obu typów alarmów przy monitorowaniu wagonów, przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Wielkości kryteriów na kolejach szwedzkich

Typ alarmu	Kryterium		
	Q_{max} [kN]	Q_d [kN]	WR
STOP	320	190	5,2
OSTR	290	155	4,2

Przeprowadzone badania wykazały, że system charakteryzuje się dobrą niezawodnością, o czym świadczy procent potwierdzonych przypadków wykrytych przekroczeń [10] dla kryterium:

- Q_{max} 100%,
- Q_d 95%,
- WR 78%.

Na kolejach holenderskich do oceny oddziaływań kół z płaskimi miejscami przyjęto kryterium nadwyżki dynamicznej Q_d dla alarmu STOP w przedziale 200–250 kN [1].

Nadwyżka dynamiczna Q_d stanowi również podstawę oceny na kolejach hiszpańskich. Na kolejach tych przyjęto dla alarmu STOP wartość graniczną 300 kN [1].

Po wprowadzeniu na kolejach amerykańskich detektorów WILD (*Wheel Impact Load Detectors*) ustalono cztery poziomy

alarmu dla sily Q_{\max} , na podstawie której wprowadza się ograniczenia prędkości (tab. 2) [1].

Tabela 2

Progi alarmowe na kolejach amerykańskich

Poziom alarmu	Q_{\max} [kN]	Ograniczenie prędkości [mph]*
1	$200 < Q_{\max} \leq 300$	brak
2	$300 < Q_{\max} \leq 400$	osobowe – 50 (≈ 80 km/h) towarowe – 30 (≈ 48 km/h)
3	$400 < Q_{\max} \leq 500$	każdy typ taboru – 20 (≈ 32 km/h)
4	$Q_{\max} > 500$	każdy typ taboru – 10 (≈ 16 km/h)

*mph – mil/h (1 mila = 1,609 km)

Na kolejach kanadyjskich Canadian Pacific, na których również zainstalowano detektory WILD, do obciążenia osi 140 kips (1 kips = 1000 funtów = 0,4536 kG \times 1000 = 4,536 kN, czyli $140 \times 4,536 = 635$ kN) nie wprowadza się ograniczenia prędkości. Przy obciążeniu osi 170 kips (771 kN) należy wyłączyć wagon. W ciągu miesiąca 9 zainstalowanych urządzeń wykrywa około 400 przypadków przekroczeń. Po wykolejeniu pociągu wskutek złamania szyny wysunięto wniosek, by w zimie, przy temperaturze -25°C , obniżyć tę granicę [8].

Na kolejach niemieckich stosowany jest system Atlas firmy VAE. Detektory te mierzą również naciski na podkład, co pozwala wyeliminować wpływy zmian sztywności podłoża. Naciski kół mogą być mierzone w zakresie od 10 do 700 kN przy prędkości 60–500 km/h. Testowanie systemu odbywało się do prędkości 350 km/h. Urządzenie wymaga kalibracji raz na rok, a dokładność pomiarów wynosi $\pm 5\%$.

Urządzenia Atlas na kolejach niemieckich nie są wykorzystywane do ochrony infrastruktury, lecz jako narzędzie zbierające dane, wykorzystywane do utrzymania zestawów kołowych [1]. Jako kryterium oceny oddziaływań dynamicznych przyjęto współczynnik dynamiczny WU obliczany dla każdego koła jako stosunek nadwyżki dynamicznej Q_d do obciążenia statycznego Q_s

$$WU = \frac{Q_d}{Q_s}$$

Jako wartość graniczną współczynnika WU przyjęto 2. W przypadku pociągów ICE, gdy dany zestaw przekroczy ten próg w dwóch kolejnych przejazdach, musi być wymieniony w czasie najbliższego przeglądu [1].

Według karty UIC 510-2 na kole mającym średnicę 630–1000 mm długość płaskiego miejsca nie powinna przekraczać 60 mm, a strzałka (głębokość) 0,9–1,4 mm. Od długości płaskiego miejsca, prędkości wagonów pasażerskich i nacisku osi

wagonów towarowych uzależniono procedury obowiązujące na kolejach brytyjskich [18] (tab. 3).

Znane są również metody wykrywania płaskich miejsc na kołach za pomocą pomiaru przyspieszeń [5]. Jak wykazały badania przedstawione w pracach [6, 7] siła uderzeń koła z płaskim miejscem może wywołać przyspieszenia w szynie przekraczające 900 m/s^2 . Przyspieszenia podsypki mogą dochodzić do 45 g, a impuls uderzenia przekazywany na podkład przekracza 800 kN.

Do identyfikacji płaskich miejsc na kołach mogą posłużyć również geofony [16], które zainstalowane na podkładach generują duże impulsy dźwięku pod wpływem kół z płaskimi miejscami. Identyfikacja płaskich miejsc jest w tym przypadku łatwiejsza niż obrazów naprężeń w szynach. Geofony mogą znaleźć zastosowanie jako przenośne urządzenia detekcji taboru. Na uwagę zasługują również belkowe stanowiska chińskie, które nie reagują na zmiany temperatur i sztywności podłoża [15]. Ich wadą jest jednak mała prędkość, przy której można prowadzić pomiary (15 km/h) i konieczność budowy fundamentów.

Ocena stanu naprężeń w elementach nawierzchni przy rozważanych przez PLK S.A. wartościach progowych $Q_{STOP} = 350$ kN i $Q_{OSTR} = 200$ kN

Do oceny stanu naprężeń w poszczególnych elementach nawierzchni wykorzystano system wspomaganie decyzji UNIP [4], określający dopuszczalne naciski i maksymalne prędkości pociągów. Konkluzje edytowane przez ten system są oparte o reguły heurystyczne oraz o wyniki obliczeń maksymalnych prawdopodobnych naprężeń w szynach, podkładach, podsypce i na powierzchni torowiska.

W obliczeniach tych naprężeń uwzględnia się współczynnik dynamiczny, którego wartość jest uzależniona od prędkości pojazdu, klasy toru oraz stanu jego utrzymania charakteryzowanego wskaźnikiem stanu toru J . Zależność opisująca przyjęty w systemie UNIP współczynnik dynamiczny ma postać

$$\Psi_J = 1 + \frac{J}{10} \cdot \Psi \cdot t \quad (1)$$

gdzie:

t – poziom ufności, którego wartość zależy od klasy toru,
 Ψ – współczynnik zależny od prędkości pojazdu V , opisany równaniem

$$\Psi = 1 + 5 \cdot 10^{-4} V + 4 \cdot 10^{-5} V^2 - 1,3 \cdot 10^{-7} V^3$$

Ponieważ mierzona przez system detekcji taboru nadwyżka dynamiczna jest wynikiem również prędkości i stanu toru, w obliczeniach naprężeń w elementach nawierzchni wartość współ-

Tabela 3

Procedury stosowane na kolejach brytyjskich

Wagon	Długość płaskiego miejsca [mm]	Postępowanie
Pasażerski	ponad 60 mm	Natychmiast wyłączyć
	$V = 125\text{--}140$ mph (200–225 km/h)	Może dojechać do stacji końcowej z prędkością ograniczoną do 125 mph (200 km/h)
	40–60	Powinien być wyłączony w ciągu 24 godzin
	30–40	Powinien być wyłączony w ciągu 24 godzin
Towarowy	ponad 60 mm	Natychmiast wyłączyć
	$V < 125$ mph (200 km/h)	Powinien być wyłączony w ciągu 24 godzin
	40–60	Powinien być wyłączony w ciągu 24 godzin
	ponad 80	Natychmiast wyłączyć
Towarowy	$P < 175$ kN/oś	Może dojechać do stacji końcowej z prędkością ograniczoną do 60 mph (96 km/h)
	60–80	Może dojechać do stacji końcowej z prędkością ograniczoną do 60 mph (96 km/h)
	ponad 70	Natychmiast wyłączyć
	$P \geq 175$ kN/oś	Może dojechać do stacji końcowej z prędkością ograniczoną do 60 mph (96 km/h)
	50–70	Może dojechać do stacji końcowej z prędkością ograniczoną do 60 mph (96 km/h)

czynnika dynamicznego Ψ_J opisanego zależnością (1) powinna być równa 1, co uzyskano przyjmując do obliczeń wartość wskaźnika stanu toru $J = 0$.

Maksymalne prawdopodobne naprężenia w szynach w systemie UNIP obejmują również naprężenia termiczne i zwiększenie naprężeń powstających w łukach wskutek nadmiaru bądź niedomiaru przechytki. Aby wyeliminować te dwa składniki, obliczenia wykonywano dla toru klasycznego na odcinku prostym.

Obliczenia prowadzono dla wózków o rozstawie osi 1,8 m, przy obciążeniu szyny będącym sumą nacisku statycznego koła, nadwyżki dynamicznej i dokładności pomiaru tej nadwyżki. Wielkość nacisku statycznego przyjęto na podstawie maksymalnego nacisku osi 225 kN, tj. 110 kN ($225 : 2 \approx 110$), a dokładność pomiarów – 15 kN [1]. Tak więc w przypadku nadwyżki $Q_{STOP} = 350$ kN przyjęte do obliczeń obciążenie szyny wynosiło 475 kN, a w przypadku nadwyżki $Q_{OSTR} = 200$ kN – 325 kN.

Obciążenie szyny, wynoszące 475 kN, nie powoduje przekroczenia naprężeń dopuszczalnych w poszczególnych elementach nawierzchni zbudowanej z szyn 60E1 ze stali St90 na podkładach z drewna dębowego (rys. 2).

W przypadku podkładów bukowych i sosnowych, przy takim obciążeniu szyny, przekroczone są wartości naprężeń ściskających pod podkładką. Naprężenia obliczone wynoszą 1,83 MPa przy wartości dopuszczalnej wynoszącej dla drewna bukowego 1,61 MPa, a dla drewna sosnowego 1,42 MPa.

W torze z takimi szynami ułożonym na podkładach betonowych, przy obciążeniu 475 kN i złym stanie podsypki (jako zły

stan podsypki przyjęto w systemie UNIP występowanie wychłapków obejmujących 3–5 podkładów oraz braki podsypki w okienkach większe niż $2/3$ wysokości podkładu) przekroczone jest nośność podsypki, a w przypadku podkładów drewnianych naprężenia w podsypce są bliskie dopuszczalnych (0,37 MPa, przy dopuszczalnych 0,38 MPa). Przy bocznym zużyciu szyny równym 20 mm naprężenia w szynie osiągają wielkość zbliżoną do dopuszczalnej.

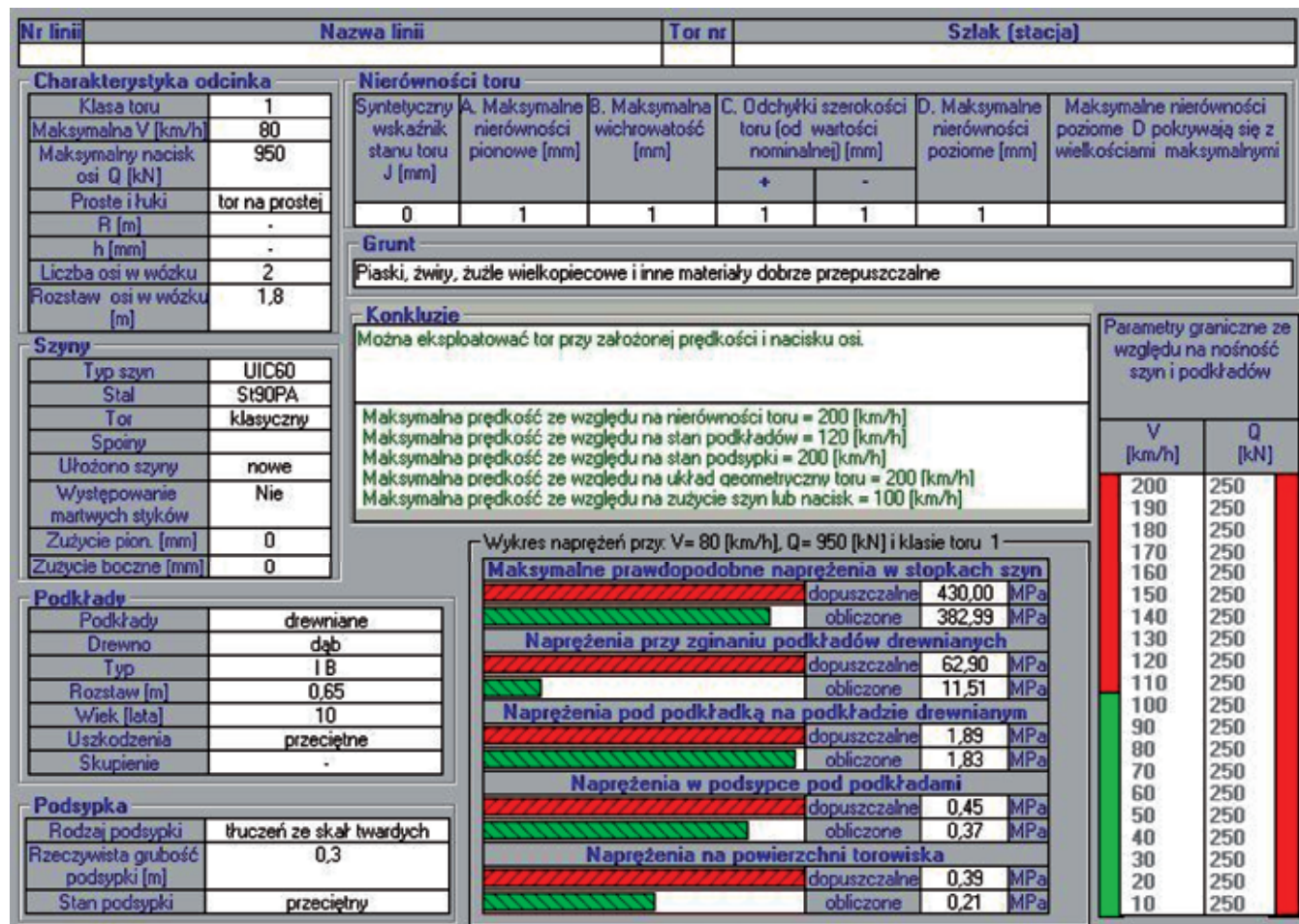
W torze z szynami 49E1 ze stali St90 na podkładach drewnianych, przy obciążeniu odpowiadającemu nadwyżce 350 kN, przekroczone jest nośność szyn i dopuszczalna wielkość naprężeń ściskających pod podkładką. W przypadku podkładów betonowych nośność tych szyn jest przekroczone przy zużyciu bocznym wynoszącym 24 mm.

Przy złym stanie podsypki zarówno w przypadku podkładów drewnianych, jak i betonowych naprężenia w podsypce przekraczają wielkość dopuszczalną.

Dla analizowanych typów nawierzchni i podtorza zbudowanego z gruntów przepuszczalnych oraz spoistych w stanie zwartym lub półzartym przy grubości warstwy podsypki 0,20 m nie zanotowano przekroczeń naprężeń dopuszczalnych na torowisku.

Ustalając dopuszczalne wartości naprężeń w szynach w systemie UNIP wzięto pod uwagę przybliżoną zależność między granicą plastyczności stali szynowej R_e i jej wytrzymałością R_m , opisaną równaniem [9]:

$$R_e = 0,64 R_m$$



Rys. 2. Ekran z wynikami obliczeń – szyny 60E1 ze stali St90, podkłady z drewna dębowego

Jako dopuszczalne wartości naprężeń w systemie UNIP przyjęto:

$$\sigma_{dop} = \frac{R_e}{1,3} = \frac{0,64 R_m}{1,3} \quad (2)$$

Wyznaczone na podstawie zależności (2) naprężenia dopuszczalne w szynach ze stali St90 wynoszą 430 MPa. Naprężenia występujące w szynie nie powinny też przekraczać wytrzymałości zmęczeniowej.

Na podstawie wykonanych obliczeń można stwierdzić, że granica wytrzymałości zmęczeniowej nie została przekroczona jedynie w przypadku nawierzchni zbudowanej z szyn typu 60E1 ze stali St90 na podkładach betonowych. W pozostałych rozpatrywanych typach nawierzchni naprężenia zmęczeniowe są przekroczone o minimum w szynach typu:

- 60E1 na podkładach drewnianych 21%,
- 49E1 na podkładach drewnianych 43%,
- 49E1 na podkładach betonowych 17%,

przy założeniu, że ułożono szyny nowe i nie występuje w nich zużycie boczne.

W przypadku nadwyżki dynamicznej $Q_{OSTR} = 200$ kN, której odpowiada obciążenie szyny wynoszące 325 kN, zanotowano tylko jeden przypadek przekroczenia naprężeń dopuszczalnych, a konkretnie – przekroczenie naprężeń ściskających pod podkładką w podkładzie sosnowym przy szynie typu 49E1.

W celu oceny oddziaływań dynamicznych nadwyżki $Q_{OSTR} = 200$ kN porównano je z oddziaływaniami, jakie wywierałby na tor wagon towarowy o nacisku osi 225 kN, poruszający się z prędkością 80 km/h. Przy wyznaczaniu oddziaływań tego wagonu uwzględniano różny stan utrzymania nawierzchni, przyjmując do obliczeń wartości syntetycznego wskaźnika stanu toru J od 2 do 5 mm. Wskaźnik $J = 2$ mm charakteryzuje dobry stan utrzy-

mania toru i jest wartością graniczną dla torów pierwszej klasy, eksploatowanych z prędkością 100–160 km/h [19], natomiast $J = 5$ mm jest dopuszczany w torach klasy 3, na których maksymalna prędkość wynosi 70 lub 80 km/h.

Wyniki obliczeń naprężeń w poszczególnych elementach nawierzchni występujących przy nadwyżce dynamicznej $Q_{OSTR} = 200$ kN oraz przy przejeździe wagonu towarowego o nacisku osi 225 kN z prędkością 80 km/h przy różnym stanie utrzymania nawierzchni zestawiono w tabelach 4 i 5.

Przy nadwyżce dynamicznej 200 kN w przypadku szyn typu 49E1 na podkładach drewnianych przekroczona jest wytrzymałość zmęczeniowa stali St90. W zależności od stanu toru oddziaływania wywierane na szynę przez nadwyżkę dynamiczną 200 kN są o 59–94% większe od oddziaływań wagonu towarowego o nacisku osi 225 kN poruszającego się z prędkością 80 km/h.

Ocena przyjętych wartości progowych nadwyżek dynamicznych

Określając graniczną wartość siły uderzenia koła o szynę należy brać pod uwagę względy techniczne i ekonomiczne. Granica zbyt mała będzie niepotrzebnie eliminować koła, które jeszcze mogą być eksploatowane, zbyt duża – może doprowadzić do pęknięć szyn i kół.

Rozważana przez PLK S.A. graniczna nadwyżka dynamiczna Q_{STOP} o wartości 350 kN w przypadku ładownego wagonu towarowego o nacisku osi 225 kN może być równoznaczna z oddziaływaniem na szynę siły równej 475 kN. Jak wykazały wyniki obliczeń, siła taka wywołuje w szynach naprężenia bliskie granicy wytrzymałości zmęczeniowej bądź ją przekraczających, co może skutkować po pewnym czasie powstawaniem w szynie pęknięć zmęczeniowych.

Na rysunku 3 [11] przedstawiono wykres siły powodującej pęknięcie szyny typu 136 stosowanym w USA (61,69 kg/m) w zależności od powierzchni przekroju uszkodzenia główki przy różnicy między temperaturą neutralną a temperaturą w szynie równej -40°C . Na lewej osi rzędnych wartość siły powodującej pęknięcie szyny jest podana w kipsach, a na osi prawej – w kN. Jak można zauważyć, przy uszkodzeniu obejmującym 20% powierzchni główki, pęknięcie szyny może spowodować uderzenie koła z siłą 544 kN.

Siła 475 kN znacznie odbiega od wartości uznawanych w literaturze przedmiotu za bezpieczną. I tak, według Kaleya [13] graniczna bezpieczna siła wywierana przez koło na szynę wynosi 386 kN. Niemal identyczną wartość (387 kN) podają autorzy pracy [6]. Amerykańskie stowarzyszenie AREMA rekomenduje granicę 90 kips, tj. 408,24 kN. Natomiast według Chicago Freight Car Leasing CO koło wywierające impuls uderzenia 408 kN lub więcej, powinno być wyeliminowane.

Z badań przeprowadzonych w Australii wynika, że na kole przy płaskim miejscu długości 75 mm siła uderzeń rzędu 250–300 kN może prowadzić do zarysowania podkładów betonowych [12]. Na kolejach amerykańskich stwierdzono pęknięcie podkładów przy sile 340 kN [1].

Przyjęta wartość nadwyżki dynamicznej 350 kN odbiega też znacząco od wartości przyjmowanych w innych zarządach kolejowych. Największa różnica dotyczy kolei szwedzkich, które graniczną nadwyżkę dynamiczną okre-

Tabela 4

Naprężenia w elementach nawierzchni – szyny typu 60E1

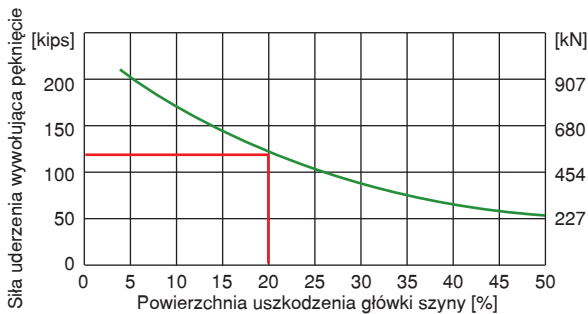
Podkłady	Naprężenia	Nadwyżka 200 kN	Wagon			
			J = 2	J = 3	J = 4	J = 5
[MPa]						
Drewniane	W szynie	287,00	153,00	160,00	167,00	174,00
	Zginające w podkładzie	7,91	3,24	3,50	3,75	4,00
	Ściskające pod podkładką	1,26	0,52	0,56	0,60	0,64
	W podsypce	0,25	0,10	0,11	0,12	0,13
	Na torowisku	0,14	0,06	0,06	0,07	0,07
Betonowe	W szynie	238,00	133,00	138,00	144	150,00
	W podsypce	0,26	0,11	0,12	0,13	0,13
	Na torowisku	0,18	0,08	0,08	0,09	0,09

Tabela 5

Naprężenia w elementach nawierzchni – szyny typu 49E1

Podkłady	Naprężenia	Nadwyżka 200 kN	Wagon			
			J = 2	J = 3	J = 4	J = 5
[MPa]						
Drewniane	W szynie	333,00	172,00	180,00	189,00	198,00
	Zginające w podkładzie	9,08	3,72	4,00	4,40	4,59
	Ściskające pod podkładką	1,45	0,59	0,64	0,68	0,73
	W podsypce	0,28	0,11	0,12	0,13	0,14
	Na torowisku	0,16	0,07	0,07	0,08	0,08
Betonowe	W szynie	275,00	148,00	155,00	162,00	170,00
	W podsypce	0,30	0,12	0,13	0,14	0,15
	Na torowisku	0,25	0,10	0,11	0,12	0,13

śliły na poziomie 190 kN i nawet graniczna wielkość szczytowa (tj. suma nadwyżki dynamicznej i obciążenia statycznego) jest mniejsza o 30 kN od przyjętej w analizowanym zarządzeniu nadwyżki dynamicznej. Różnice te nabierają jeszcze większego znaczenia, biorąc pod uwagę fakt, że jednym z głównych wniosków w podsumowaniu badań [10] jest stwierdzenie, iż istnieją przesłanki do obniżenia wartości szczytowej i dynamicznej, ponieważ zaobserwowano przypadki kół, które nie wywołały alarmu przy obecnych poziomach, a miały płaskie miejsca.

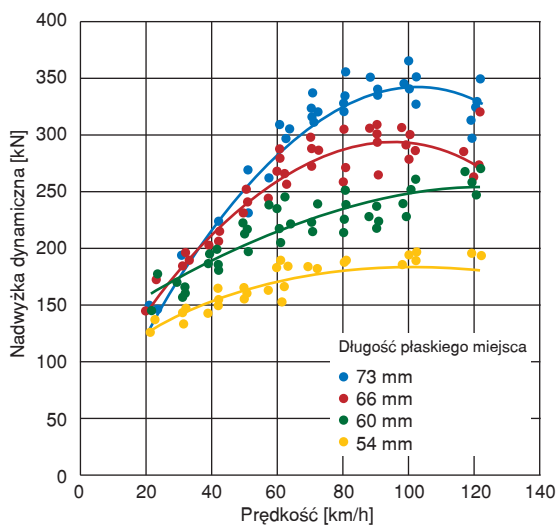


Rys. 3. Siła wywołująca pęknięcie szyny w zależności od powierzchni uszkodzenia główki [11]

Również na amerykańskich kolejach ograniczenia prędkości wprowadza się już przy całkowitej sile działającej na szynę przekraczającej 300 kN.

Na kolejach holenderskich graniczna nadwyżka dynamiczna jest o 100 kN, a na hiszpańskich o 50 kN mniejsza od przyjętej w analizowanym zarządzeniu.

Za obniżeniem tej granicy przemawiają również wyniki badań przedstawione w [1]. Jak wynika z rysunku 4 [1] przy płaskim miejscu długości 60 mm, w przypadku ładowego wagonu towarowego o nacisku 206 kN/oś, zanotowana nadwyżka dynamiczna nie przekroczyła 300 kN, nawet przy prędkości 120 km/h. Przyjęta wartość graniczna nadwyżki dynamicznej równa 350 kN została przekroczona jedynie w dwóch przypadkach dopiero przy płaskim miejscu długości 73 mm przy prędkościach 80 i 100 km/h.



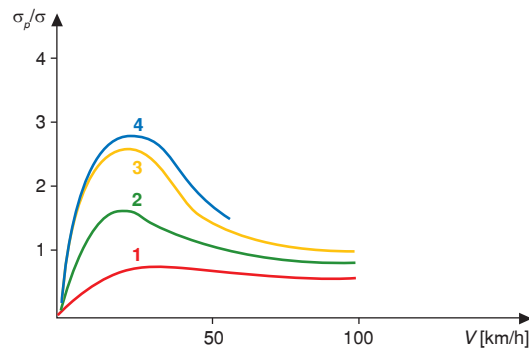
Rys. 4. Wartości nadwyżki Q_d wagonu ładowego [1]

W przypadku pustego wagonu o nacisku 60 kN/oś wielkości nadwyżek dynamicznych przy płaskich miejscach o długości 54–73 mm nie przekraczają 190 kN [1].

Przedstawione wyniki dowodzą małej przydatności przyjętej wartości nadwyżki dynamicznej 350 kN do wykrywania płaskich miejsc na kołach.

W ramach pracy [1] prowadzono badania urządzeń detekcji taboru w dziesięciu lokalizacjach w Polsce. W ciągu tygodnia zanotowano oddziaływania przeszło 105 tysięcy osi. Przekroczenia progu $Q_{OSTR} = 200$ kN zanotowano w mniej niż 0,2% przypadków, a przekroczenia progu $Q_{STOP} = 350$ kN kształtowały się na poziomie zerowym.

Badania przeprowadzone na kolejach japońskich [17] wykazały, że naprężenia w szynie, spowodowane oddziaływaniem płaskich miejsc, mogą być blisko trzykrotnie większe w stosunku do oddziaływań kół bez płaskich miejsc. Można to zauważyć na rysunku 5, na którym – w funkcji prędkości i głębokości płaskiego miejsca – przedstawiono stosunek naprężeń w szynie, wywołanych płaskim miejscem do naprężeń bez płaskiego miejsca.



Rys. 5. Stosunek naprężeń w szynie wywołanych płaskim miejscem σ_p do naprężeń bez płaskiego miejsca σ [17]

1 - $f = 0,69$ mm, 2 - $f = 1,57$ mm, 3 - $f = 2,79$ mm, 4 - $f = 4,34$ mm

Na fakt, że ryzyko uszkodzenia szyn pod wpływem oddziaływania płaskiego miejsca na kole jest największe przy małych prędkościach zwracają uwagę również autorzy pracy [7], stwierdzając, że największe uderzenia kół z płaskimi miejscami występują w przedziale prędkości 20–40 km/h.

Na podstawie wyników tych badań [14] można stwierdzić, że zwiększenie sił pionowych zależy, w przybliżeniu, od głębokości płaskiego miejsca i wynosi około 50 kN/mm dla nawierzchni 60E1 z podkładami betonowymi i około 25–30 kN/mm w przypadku nawierzchni z podkładami drewnianymi.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że rozważana przez PLK S.A. nadwyżka dynamiczna $Q_{STOP} = 350$ kN może nie tylko prowadzić do przyspieszonej degradacji nawierzchni, lecz również stanowi czynnik poważnie zmniejszający prawdopodobieństwo wykrycia płaskich miejsc na kołach. Biorąc pod uwagę te przesłanki oraz unormowania w tym zakresie obowiązujące w innych zarządach kolejowych, wskazane jest zmniejszenie wartości tej nadwyżki do 300 kN. Wartość taka zwiększy prawdopodobieństwo wykrywania płaskich miejsc w przypadku lokomotyw i wagonów towarowych ładownych.

Rozważana wartość nadwyżki dynamicznej $Q_{OSTR} = 200$ kN nie umożliwi wykrywania płaskich miejsc w wagonach towarowych próżnych oraz wagonach pasażerskich. Dlatego też alarm ostrzegawczy – oprócz nadwyżki dynamicznej $Q_{OSTR} = 200$ kN – należałoby rozszerzyć o dodatkowe kryterium w postaci współ-

czynnika WR , określającego stosunek wartości nadwyżki dynamicznej Q_d do obciążenia statycznego Q_s :

$$WR = \frac{Q_d}{Q_s}$$

Biorąc pod uwagę wyniki badań [1], jako graniczną wartość tego współczynnika należałoby przyjąć $WR_{OSTR} = 4,2$. Przyjęcie takiej wartości umożliwi, przy prędkości od 60 km/h, wykrycie większości płaskich miejsc długości 60 mm i dłuższych. Należy przy tym zaznaczyć, że w przypadku wagonu ładownego maksymalna zanotowana wartość współczynnika WR wynosiła 3,6. □

Literatura

- [1] Andrulonis J., Łojewski M.: *Raport z badań eksploatacyjnych systemu diagnostyki stanów awaryjnych taboru w konfiguracji ASDEC/PM/GM/GH/OK./PHOENIX/GOTCHA*. Temat nr 3408/10, CNTK, Warszawa 2008.
- [2] Andrulonis J., Brodowski D.: *Badania systemu diagnostyki stanów awaryjnych taboru typu ASDEC/PM/GM/GH/OK./PHOENIX/GOTCHA*. Temat nr 3266/10, CNTK, Warszawa 2007.
- [3] Bałuch M.: *Przebiegi dynamiczne na styku koło-szlina wykrywane przez nowoczesne urządzenia detekcji stanów awaryjnych taboru eksploatowane na sieci PKP PLK S.A. Przyjęte wartości – zasady postępowania. Ekspertyza*. Temat nr 4346/11, CNTK, Warszawa 2008.
- [4] Bałuch M.: *Interpretacja pomiarów i obserwacji nawierzchni kolejowej*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2005.
- [5] Belotti V. et al.: *Wavelet signal processing applied to railway wheelflat detection*. XVII IMEKO World Congress Metrology, Dubrovnik 2003.
- [6] Bracciali A., Cascini G.: *A wheelflat detection device based on cepstrum analysis of rail acceleration measurement*. WCCR 1997, Firenze, vol. D.
- [7] Bracciali A., Lionetti G., Pieralli M.: *Effective wheelflats detector through a simple device*. November 1998.
- [8] *Derailment Canadian Pacific Railway Freight Train*. No. 938-12, mile 39,5. Ontario 13 February 2003.
- [9] Esveld C.: *Modern railway track*. C. Esveld 1989.
- [10] Granström R.: *Maintenance for improved punctuality – a study of condition monitoring technology for Swedish Railway Sector*. Licentiate thesis, Lulea University of Technology, 2005.
- [11] Griffiths G.W.: *Economic benefits of Wheel Impact Detectors and other potential benefits derived from these systems*. Florida East Coast Railway. AREMA Conference Proceedings, 1999.
- [12] Kaewunruen S., Remennikov A.M.: *Relationship between wheel/rail interface impact and railset flexural moment of railway prestressed concrete sleepers*. Faculty of Engineering-Papers. University of Wollongong, 2007.
- [13] Kalay S. et al.: *Development of a performance-based wheel removal criteria for North American Railroads*. 11-th International Wheelset Congress, Paris 1999.
- [14] ORE D161. 1. Bericht 2. *Einwirkungen der Flachstellen auf das Gleis bei 20 und 22,5 t Rad-satzlast*. Utrecht 1986.
- [15] Qibo Feng et al.: *A dynamic and quantitative method for measuring flats and abrasion of trains*. WCNDT Congress, Roma 2000.
- [16] Rail Research UK. Project B8: *Condition monitoring around the wheel-rail interface*. RRUUK Work-shop, April 2008.
- [17] Sato Y.: *Dinamicheskoe vozdeystvie koleśa s polzunom na deformatsyu puti*. Ezhemesachny Bulletin Mezhdunarodnoy Assocjacji Zheleznodorozhnykh Kongressov 1/1966.
- [18] Vu Thanh: *Wheel deterioration*. University of Birmingham and Manchester Metropolitan University, 2003.
- [19] *Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1(D-1)*. Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.

Autorka

dr hab. inż. Maria Bałuch

Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa Warszawa

➤ Dokończenie ze s. 51

Literatura

- [1] Bałuch H.: *Koncepcja zmiany w utrzymaniu rozjazdów*. Przegląd Kolejowy 6/1999.
- [2] Bałuch J.: *System oceny nierówności poziomych w rozjazdach kolejowych*. Problemy Kolejnictwa, zeszyt 142, CNTK Warszawa 2006 r.
- [3] Bałuch M.: *Interpretacja pomiarów i obserwacji nawierzchni kolejowej*. Monografia Nr 79, Politechnika Radomska 2005 r.
- [4] Bałuch M.: *Odchyłki dopuszczalne szerokości toru i żłobków w rozjazdach w funkcji prędkości*. Problemy Kolejnictwa, zeszyt 143, CNTK Warszawa 2006 r.
- [5] *Inspekcje rozjazdów, skrzyżowań, przyrządów dylatacyjnych i wyrzutni hamulców płożowych*. Dyrektywa 821.2005 DB
- [6] *Instrukcja o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów Id-4*. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa 2005 r.

dr inż. Zbigniew Kędra

Katedra Inżynierii Kolejowej

Politechnika Gdańska

kedra@pg.gda.pl