

Kryteria oceny dynamiki pojazdów szynowych dużej prędkości

Artykuł poświęcony jest problemom badań pojazdów szynowych przeznaczonych do ruchu z dużymi prędkościami. Przedstawiono w nim zakres i program badań oraz szczegółowe kryteria do oceny własności dynamicznych i biegowych pojazdu dużej prędkości. Usystematyzowane kryteria i wymagania mogą stanowić wytyczne dla projektantów i badaczy pojazdów szynowych.

1. Wstęp

Badania są częścią składową procesu tworzenia pojazdów szynowych.

Stanowią one źródło danych potrzebnych do konstruowania oraz ujawniają różnorodne czynniki, mogące oddziaływać na pojazd i jego zespoły w czasie eksploatacji, których projektant nie przewidział albo nie docenił.

Różnorodne wymagania stawiane konstrukcji jako całości i poszczególnym parametrom technicznym z jednej strony oraz brak wyczerpującej wiedzy i szczegółowych metod postępowania przy projektowaniu z drugiej, czynią bardzo trudnym zapewnienie właściwej pracy wagonu lub lokomotywy wyłącznie na podstawie teoretycznych analiz i obliczeń oraz doświadczenia i intuicji konstruktorów.

W procesie projektowania na ogół nie udaje się w sposób najlepszy spełnić każde z licznych wymagań stawianych pojazdom szynowym. Poszukuje się wówczas kompromisów, opracowując kilka wariantów rozwiązań. Wielu zagadnień nie można rozwiązać wyłącznie drogą obliczeń, gdyż często brak jest właściwych metod, a niekiedy istniejące metody zawierają tak daleko idące uproszczenia, że otrzymane rozwiązania tylko w przybliżeniu przedstawiają stan konstrukcji, często zbyt odległy od rzeczywistości. W tej sytuacji konieczne jest przeprowadzenie różnych badań pojazdów [3,5,12,13,14,15].

Badania pojazdów szynowych, pod względem metodyki i warunków przeprowadzenia, można podzielić na:

- badania stacjonarne – modelowe i stanowiskowe,
- badania ruchowe – w założonych warunkach i normalnej eksploatacji.

Badania modelowe przeprowadza się na modelach matematycznych lub fizycznych.

Modelowanie matematyczne przeprowadza się za pomocą maszyn matematycznych.

Zaletą takiego modelowania jest łatwość zmian wielu parametrów w bardzo szerokim zakresie, przy wykorzystaniu uniwersalnych środków technicznych, wadą zaś zależność wyników od uzyskanej wierności matematycznego opisu zjawisk.

Modelowanie fizyczne polega na badaniu modeli pojazdów lub ich zespołów i elementów wykonanych w różnej skali. Zaletą tych badań jest niezależność od ograniczeń związanych z matematycznym opisem zjawisk, wadą natomiast ograniczone możliwości zmian większej liczby parametrów modelu oraz ustalenie prawidłowej relacji między rzeczywistymi i modelowymi warunkami badań.

Badania stanowiskowe obejmują próby całych pojazdów, ich zespołów lub różnorodnych elementów. Badania te, mimo że są kosztowne (stanowiska badawcze, aparatura kontrolno-pomiarowa), pozwalają na określenie wielu charakterystyk dynamicznych a nawet eksploatacyjnych pojazdu, jego zespołów lub elementów oraz sprawdzenie i dokładne poznanie pracy pojazdu lub jego części przy określonym obciążeniu. Najczęściej badania stanowiskowe poprzedzone są badaniami modelowymi. Ma to na celu obniżenie kosztów badań poprzez wykorzystanie wyników badań modelowych do programowania badań stanowiskowych.

Badania ruchowe umożliwiają określenie działania pojazdów i ich zespołów w warunkach zbliżonych do naturalnych. Zapewnia to bardziej wiarygodne i kompleksowe sprawdzenie dynamicznych i eksploatacyjnych właściwości pojazdu. Badania te przeprowadza się za pomocą specjalnych wagonów pomiarowych.

Na podstawie badań stanowiskowych i ruchowych można w zasadzie ocenić najważniejsze charakterystyki techniczne badanego pojazdu.

Badania eksploatacyjne prowadzone są natomiast na pojeździe prototypowym, przed uruchomieniem produkcji seryjnej. Umożliwiają one określenie trwałości konstrukcji, odporności na zużycie jej elementów, niezawodności działania zespołów i układów pojazdu w realnych warunkach eksploatacji przy działaniu wszystkich obciążeń i oddziaływań zewnętrznych w wystarczająco długim czasie.

Zazwyczaj badania stosowane prowadzone są w następującym cyklu:

- badania analityczne,
- badania modelowe,
- badania stanowiskowe,

- badania ruchowe,
- badania eksploatacyjne, a niekiedy badania poeksploatacyjne [4].

Każde prowadzone badanie zostaje ocenione na podstawie norm i zaleceń (np. karty UIC, normy międzynarodowe i krajowe).

Normy te określają podstawowe kryteria, którym powinien odpowiadać pojazd, jego zespół lub element.

Istota badań pojazdów i ich zespołów polega na porównaniu uzyskanych parametrów z parametrami przyjętymi w założeniach zawartych w dokumentacji technicznej oraz ich weryfikacji. Dla ich realizacji tworzy się metodykę rozwiązywania określonych zagadnień.

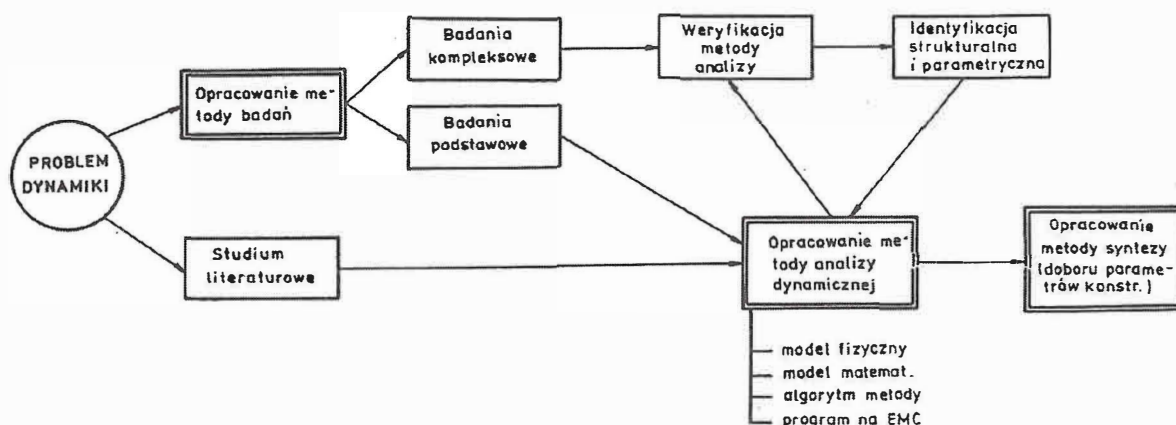
Schemat tworzenia metodyki rozwiązywania problemów dynamiki dla potrzeb projektowania przedstawiono na rys.1.

Na rysunku 2 przedstawiono schemat studium dynamiki pojazdu lub jego zespołu. Z obydwu schematów wynika tryb i kolejność postępowania, od założeń do wykonania pojazdów (zespołów, elementów) i ich oceny.

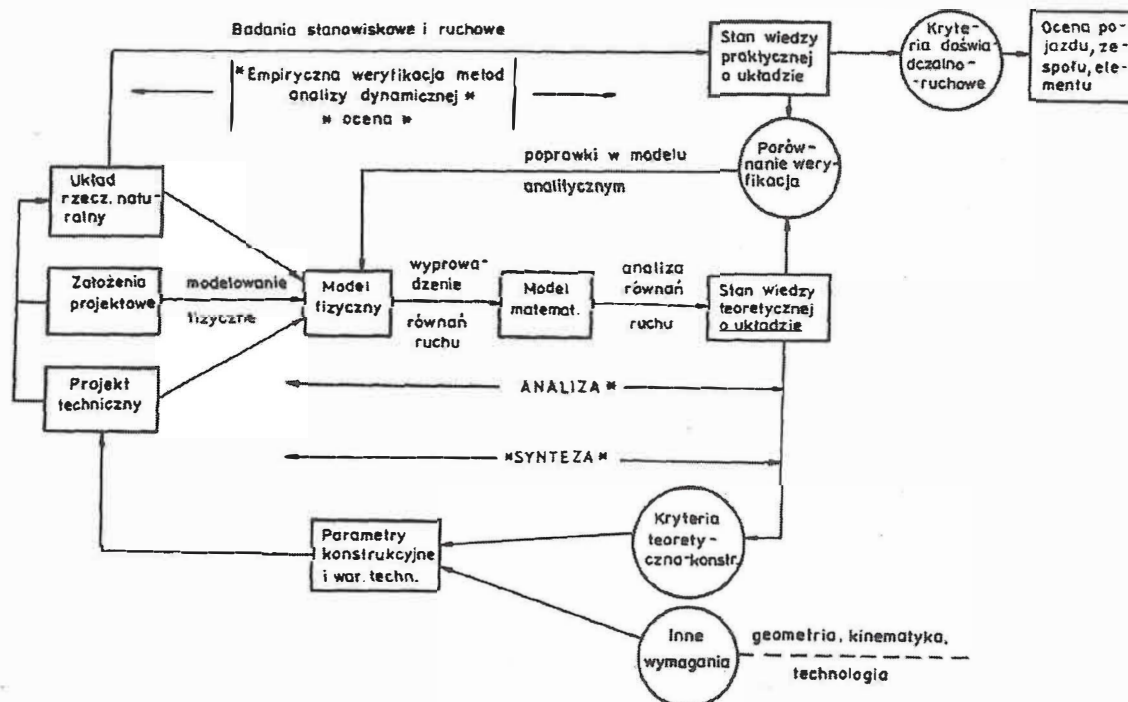
Kryteria oceny pojazdów można umownie podzielić na:

- kryteria teoretyczno-konstrukcyjne,
- kryteria doświadczalno-ruchowe.

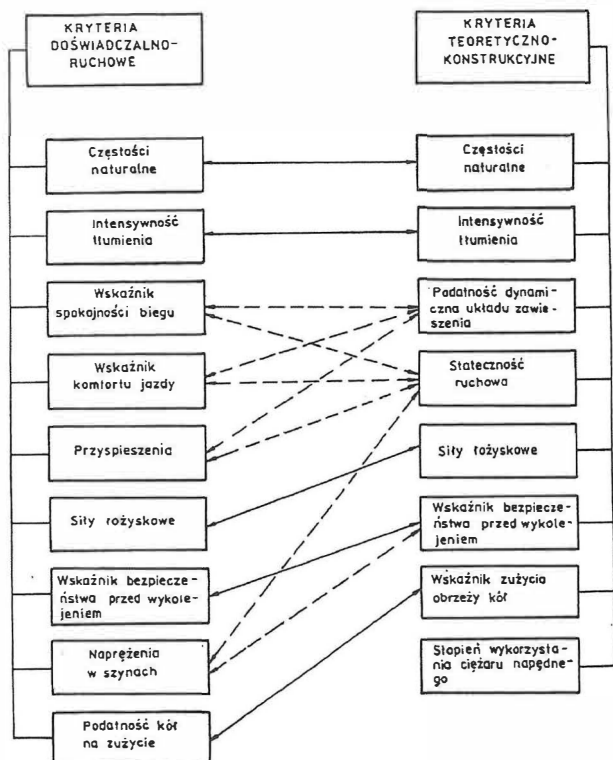
Pierwsza grupa kryteriów oceniana jest podczas studiów analitycznych i badań modelowych, druga natomiast w czasie badań stanowiskowych, ruchowych i eksploatacyjnych. Schemat tych dwóch grup kryteriów przedstawiono na rys.3.



Rys. 1. Schemat tworzenia metodyki rozwiązywania problemów dynamiki dla potrzeb projektowania pojazdu szynowego.



Rys.2 Schemat studium dynamiki pojazdu, zespołu, elementu



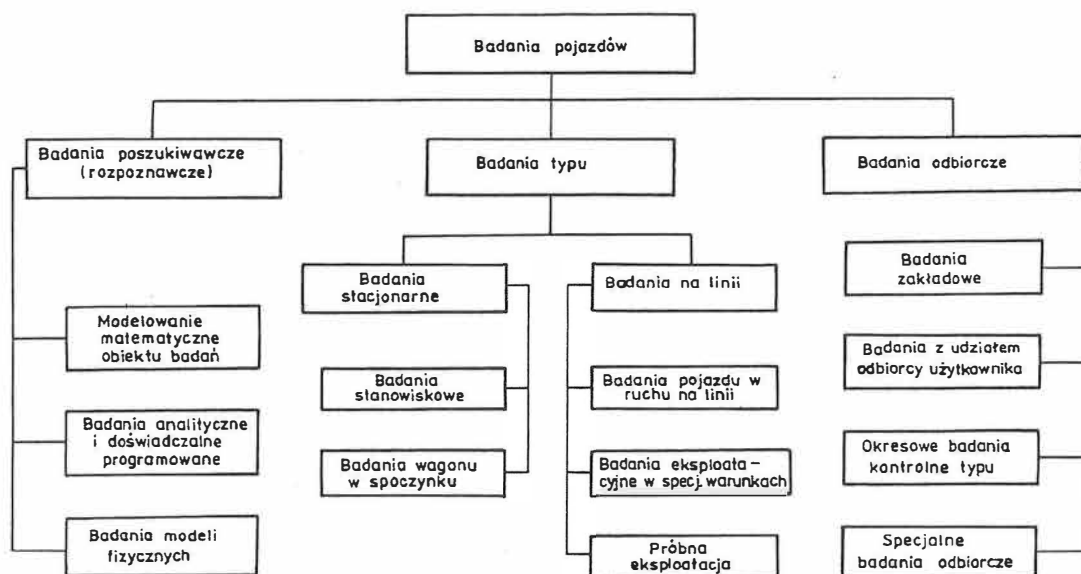
Rys. 3. Kryteria dynamicznej oceny pojazdu szynowego

Dyponując więc metodykami i kryteriami można przystąpić do opracowania programu badań pojazdu.

2. Program badań pojazdu szynowego

Złożoność pojazdów szynowych przeznaczonych do jazdy z dużymi prędkościami oraz dążenie do ich ciągłego ulepszania spowodowały wzrost liczby różnorodnych badań.

Klasyfikację (rodzaje i zakres) badań pojazdów przedstawiono na rys.4.



Rys. 4. Klasyfikacja badań pojazdów

Doskonalenie konstrukcji, lepiej spełniających różnorodne funkcje użytkowe, zasada się na badaniach poszukiwawczych. Badania te prowadzone są jeszcze przed przystąpieniem do projektowania konkretnego pojazdu wtedy, kiedy zamierza się zastosować zupełnie nowe rozwiązanie konstrukcyjne. Stanowią więc one wstępną fazę tworzenia nowej konstrukcji pojazdów, ich zespołów albo niektórych fragmentów zespołów lub układów.

Badania poszukiwawcze odnoszą się do problemów dotąd nie rozwiązanych, najczęściej nie ujawnionych zależności ilościowych pomiędzy różnorodnymi wielkościami.

Dla każdego nowego typu pojazdu, jego zespołu lub układu zachodzi potrzeba opracowania zakresu badań, uściślenia ich celu i przygotowania metodyki, a więc opracowania programu. Opracowanie programu badań wymaga rozległej wiedzy i doświadczenia. Program powinien być opracowany w taki sposób, aby z jednej strony wyniki postulowanych badań pozwoliły na wszechstronną ocenę nowych rozwiązań konstrukcyjnych, z drugiej zaś, aby postulowane badania były możliwe do wykonania na danym etapie rozwoju techniki.

Istotny wpływ na własności dynamiczne pojazdów mają rozwiązania zawiesznień nadwozi i wózków. Badania układów zawiesznień nadwozia i wózków oraz prowadzenia zestawów kołowych wpływają z wyboru układu oraz doboru parametrów jego elementów.

Najkorzystniejszą metodą wyboru układu i jego charakterystyk są badania prowadzone na modelach matematycznych. Pozwalają one na szybkie sprawdzenie wielu różnych konstrukcji układów jak również umożliwiają optymalizację konstrukcji już istniejących.

Niezależnie od prowadzonych badań na modelach matematycznych, sprawdzenie konstrukcji układu dokonywane jest w ramach badań stanowiskowych. Ponadto ważną rolę w ocenie układu spełniają następujące parametry – masy, momenty bezwładności, charakterystyki elementów sprężysto-tłumiących oraz parametry geometryczne pojazdu.

Te parametry wyznaczone teoretycznie sprawdzane są również na obiekcie rzeczywistym poprzez odpowiednie pomiary. W warunkach badań stanowiskowych ocenia się:

- nacisk kół na szynę,
- skrętność wózka pod pudłem,
- moment oporowy wózka względem pudła,
- drgania własne,
- charakterystyki usprężynowania wózka,
- sztywność podłużną i poprzeczną zestawu kołowego,
- radialność ustawienia zestawów kołowych,
- siłę zwrotną między pudłem a wózkiem,
- drgania gięte pudła.

Zakres tych badań uzależniony jest od rodzaju pojazdu szynowego, przeznaczenia oraz jego konstrukcji.

W celu uzyskania wyników ilościowych wielkości mechanicznych niezbędnych do prawidłowej oceny układów zawieszonych przeprowadza się ponadto badania ruchowe, które obejmują:

- pomiary przyspieszeń w trzech kierunkach (x,y,z) na nadwoziu, ramie wózka i zestawach kołowych, (na prostej i łukach),
- pomiary przemieszczeń względnych między różnymi punktami pojazdu oraz przemieszczeń bezwzględnych (w kierunku x,y,z),
- pomiary sił poprzecznych (prowadzących) i nacisków (sił pionowych) działających na każde koło zestawu kołowego w punkcie styku koło-szyna,
- badania wskaźników spokojności biegu (na torze prostym i łuku) w trzech kierunkach pionowym, poziomym poprzecznym i wzdłużnym,
- badania stateczności ruchu wózka – poprzez pomiar przyspieszeń poprzecznych na ramie wózka oraz pomiar częstotliwości ruchu wężykowania wózka,
- pomiar sił prowadzących i bezpieczeństwa jazdy na torze wchrowatym w quasistatycznych warunkach ruchu ($v \leq 3$ km/h),
- badania oddziaływania pojazdu na tor obejmujące pomiary sił łożyskowych, przyspieszeń pionowych i poziomych w kabinie maszynisty, ugięcie usprężynowania nadwozia i wózka, sił przenoszonych przez tłumiki drgań, przyspieszeń na maźnicach i ramach wózków,
- pomiary drgań (przyspieszeń) na stanowiskach obsługi i stanowiskach pasażerskich wagonów osobowych.

Pojazd szynowy poddaje się wszechstronnym badaniom i pomiarom według z góry ustalonego przez projektowania lub użytkownika programu [3].

Szczegółowe programy badań określone są dla lokomotyw w pracach [13,14,15], wagonów osobowych w pracach [5,8,10,12], a wagonów towarowych w pracach [3,5,7,9].

Z punktu widzenia prawidłowego kształtowania układów mechanicznych najważniejsze są badania ruchowe. Stwierdzają one właściwości dynamiczne pojazdu, a szczególnie jego właściwości biegowe, tzn. wykazują czy nie nastąpiło przekroczenie wartości dopuszczalnych (granicznych) bezpieczeństwa biegu, oddziaływania na tor i spokojności jazdy dla wszystkich ustalonych (przyjętych i zrealizowanych) charakterystyk pojazdu i toru w całym zakresie prędkości pojazdu.

Ogólny program i warunki badań ruchowych dla oceny tych właściwości można przedstawić w poniższym ujęciu.

Spokojność biegu, stateczność ruchu (komfort jazdy) oceniane są przez następujące kryteria:

- bezpośrednio przez pomiar przyspieszeń na nadwoziu w kierunku drgań pionowych, poprzecznych i wzdłużnych,
- pośrednio przez pomiar przyspieszeń na ramie wózka w dwóch, ewentualnie trzech kierunkach drgań.

Obciążenie układu biegowego oceniane jest przez:

- przyspieszenia na ramie wózka w kierunkach drgań pionowych i poprzecznych,
- siły poprzeczne w łożyskach tocznych zestawów kołowych.

Obciążenie nawierzchni jest oceniane przez:

- sumę sił poprzecznych Y , które zestaw kołowy wywiera na tor o długości większej niż 2 m,
- sił poprzecznych w łożyskach tocznych zestawu kołowego i przyspieszeń poprzecznych zestawu kołowego.

Bezpieczeństwo przed wykolejeniem na torze wchrowatym oceniane jest przez iloraz siły prowadzącej Y do nacisku pionowego Q na szynę zewnętrzną łuku toru.

Podczas badań ruchowych ocenia się:

a) na prostej przy różnych prędkościach:

- spokojność jazdy, stateczność ruchu, obciążenie układu biegowego i obciążenie nawierzchni przy uwzględnieniu prześwitu toru, pochylenia szyn oraz profilów koła i szyny,
- obciążenie układu biegowego i obciążenie nawierzchni na krzyżownicach i zwrotnicach, na przejściach kolejowych i mostach, na torze o różnym stanie utrzymania (złym i dobrym).

b) na łukach przy prędkościach dopuszczalnych ze względu na przechyłkę i promień łuku:

- spokojność i stateczność biegu, obciążenie układu biegowego i obciążenie nawierzchni przy różnych promieniach krzywizn toru,
- obciążenie układu biegowego i obciążenie nawierzchni przy różnych stanach utrzymania toru.

c) na łukach o małym promieniu (łuk 150 m) przy małej prędkości (warunki zbliżone do quasistatycznych):

- bezpieczeństwo przed wykolejeniem na wchrowatych torach.

Mierzone wielkości przedstawione są w zależności od prędkości jazdy.

W czasie badań powinny być spełnione następujące wymagania:

- pojazd do prób umieszczony jest na końcu pociągu próbnego i luźno sprzęgnięty, tak aby, na łukach nie występowało pomiędzy nim i innymi pojazdami żadne tarcie i oddziaływanie poprzeczne,
- pojazd do prób jest zdolny do eksploatacji (w przypadku wagonów – w stanie próżnym) wyposażony w koła z nieużytym profilem (po dotarciu czyli przebiegu od 2 + 5 tys. km),
- odcinki tras do prób winny znajdować się w stanie utrzymania odpowiednim do dopuszczalnej prędkości – prosta o długości ponad 1500 m, łuk o promieniach pozwalają-

- cych osiągnąć maksymalną prędkość ze względu na przechyłkę,
- prędkość jazdy próbnych winna wynosić:
 - na prostej – $1,1 V_{\max}$,
 - na łukach – $V_{\max} + 10 \text{ km/h}$ – odpowiadające największej prędkości na danym łuku powiększonej o 10 km/h , przy czym należy wybrać co najmniej trzy wartości prędkości poniżej prędkości maksymalnej z przedziałem co 20 km/h ,
 - na łukach o małych promieniach – maksymalnej dopuszczalnej prędkości na danym łuku.
 - szyny podczas badań winny być suche,
 - siły łożyskowe i poprzeczne winny być mierzone na zestawach kołowych, na których oczekiwane są największe ich wartości, tj. na przednim zestawie kołowym przedniego wózka.

Podczas badań mierzy się przyspieszenia i przemieszczenia pionowe, poprzeczne i wzdłużne pudła, ram wózków i zesta-

wów kołowych oraz siły poprzeczne (prowadzące i łożyskowe) i pionowe naciski kół.

Wyniki pomiarów należy rejestrować w postaci oscylogramów, na taśmie magnetycznej, a następnie po opracowaniu dokonać oceny własności biegowych pojazdu oraz oceny układów zawieszni.

3. Kryteria oceny własności dynamicznych

Ocenę własności dynamicznych i biegowych pojazdu na podstawie przeprowadzonych badań prowadzi się w oparciu o kryteria i zalecenia, a czasami doświadczenia zebrane podczas badań podobnych pojazdów.

Kryteria te służące do oceny właściwości dynamicznych pojazdów szynowych opracowane na podstawie wymagań i zaleceń przedstawionych w kartach UIC, przepisach ORE, normach międzynarodowych i państwowych przedstawiono w tabeli 1.

Kryteria oceny własności dynamicznych i ruchowych pojazdów szynowych.

Tabela 1

Lp.	Nazwa kryterium zalecenia	Wartości dopuszczalne, zalecane, graniczne	Norma, przepis regulujący kryterium	Metoda pomiaru, badań
1	2	3	4	5
1.	Spokojność biegu Wskaźnik spokojności	<u>Wagony osobowe</u> $W_{z \text{ pion}}=3,0$ (dopuszcz.) $W_{z \text{ poziom}}=3,5$ (dopuszcz.) $W_{z \text{ pion}}=W_{z \text{ poziom}}=3,25$ (granicz.) $W_{z \text{ pion}}=W_{z \text{ poziom}}=2,5$ (zalecana) <u>Wagony towarowe</u> $W_{z \text{ pion}}=4,0$ (dopuszcz.) $W_{z \text{ poziom}}=4,5$ (dopuszcz.) $W_{z \text{ pion}}=W_{z \text{ poziom}} \leq 4,25$ (granicz.) <u>Lokomotywy</u> $W_{z \text{ pion}}=W_{z \text{ poziom}}=3,75$ (granicz.) $W_{z \text{ pion}}=W_{z \text{ poziom}}=3,2$ (zalecana)	Karta UIC 515 Karta UIC 432	Badania ruchowe
	Przyspieszenie pionowe i poziome	Pojazdy trakcyjne, wagony osobowe i pojazdy trakcyjne z pasażerami. Tymczasowa wielkość graniczna dla pudła $\ddot{y} \leq 2 \text{ m/s}^2$ $z \leq 2,5 \text{ m/s}^2$ Pojazdy trakcyjne pojazdy osobowe i pojazdy trakcyjne z pasażerami. Tymczasowa wartość skuteczna S_y i $S_z \leq 0,5 \text{ m/s}^2$ Wagony towarowe $S_y \leq 1,3 \text{ m/s}^2$ $s_z \leq 1,3 \text{ m/s}^2$	Karta UIC 518	Badania ruchowe – tor prosty, łuki

2.	Przyspieszenia na łuku (niezrównoważone przyspieszenie odśrodkowe)	$0,9 \div 1 \text{ m/s}^2$ (0,1g) – dla pojazdów nieczułych na stan toru $0,6 \div 0,8 \text{ m/s}^2$ (0,08g) – dopuszczalne ze względu na nieregularność toru	Wg [17]	
3.	Stateczność ruchu	Przyspieszenie poprzeczne na ramie wózka – $8 \div 10 \text{ m/s}^2$ dla więcej niż 6 cykli w paśmie przejścia $4 \div 8 \text{ Hz}$	Wg [18] lub Karty UIC 515	Pomiar przyspieszeń poprzecznych na ramie wózka nad zestawem kołowym, podczas badań ruchowych
4.	Komfort jazdy	<u>Wagony osobowe</u> Przyspieszenia Wartość szczytowa - pion $0,25 \div 0,4 \text{ m/s}^2$ - poziom $0,24 \div 0,3 \text{ m/s}^2$ Wartość średnia - pion $0,15 \div 0,2 \text{ m/s}^2$ - poziom $0,12 \div 0,15 \text{ m/s}^2$ (dla $0,5 \div 40 \text{ Hz}$)	Wg [18]	Pomiar przyspieszeń na podłodze nad wózkami i między nimi (wagony osobowe)
		<u>Kabiny pojazdów trakcyjnych (lokomotyw)</u> Przyspieszenia - pion $0,55 \text{ m/s}^2$ - poziom $0,4 \text{ m/s}^2$ (granica uciążliwości)	wg PN-90/ K-11001	Pomiar przyspieszenia dla 8 godzinnego czasu pracy obsługi
5.	Bezpieczeństwo na torze wchrowatym Wskaźnik bezpieczeństwa przed wykolejeniem	$\frac{Y_a}{Q_a} \leq 1,2$ Y_a – siła prowadząca na kole nabiegającym, Q_a – nacisk koła nabiegającego Dla kąta pochylenia obrzeży $\gamma = 70^\circ$ $\frac{Y_a}{Q_a} \leq 0,85$ dla kąta pochylenia obrzeży $\gamma = 60^\circ$ $Y_a/Q_a \leq 0,8$ dla $r \geq 300 \text{ m}$.	Karta UIC 515, przepis OREB55/RP8 Karta UIC 530-2 Karta UIC 518	Pomiar na łuku standardowym o promieniu 150 m i przechyłce 0 mm, przy prędkości $\leq 3 \text{ km/h}$
6.	Kryterium poprzecznych sił łożyskowych	<u>Wagony osobowe</u> Maksymalna $H_{\max} = H_a + 2S \leq 0,4 \times 2Q_o$ [kN] Średnia $H = H_a + S \leq 0,25 \times 2Q_o$ [kN] <u>Wagony towarowe</u> $H_{\max} \leq 0,85 \left(10 + \frac{2Q_o}{3} \right)$ $H_{sr} + S \leq \left(-10 + \frac{2Q_o}{3} \right)$ Q_o – nacisk koła na szyny, S – odchyłka standardowa sił H .	Karta UIC 515 Karta UIC 432	Pomiar na torze doświadczalnym lub na odcinku toru kolejowego eksploatowanego

7.	Kryteria poprzecznego oddziaływania pojazdu na tor	<u>Max wartości sił poprzecznych</u> $\Sigma Y_{\max}(2m) = (H + m \times \ddot{y})_{\max 2m} \leq \alpha \left(10 + \frac{2Q_o}{3} \right)$ $Y_{\max}$ – max suma sił poprzecznych, Q_o – nacisk statyczny koła, $H_{\max}$ – max siła poprzeczna w obszarze maźnic, m – masa zestawu kołowego, $\ddot{y}_{\max}$ – max przyśpieszenie poprzeczne zestawu kołowego. $\alpha = 1$ – dla pojazdów trakcyjnych, wagonów osobowych $\alpha = 0,85$ dla wagonów towarowych i wagonów trakcyjnych z podróżnymi	Karta UIC 515 Karta UIC 518 Wg [18]	Na odcinku toru doświadczalnego lub eksploatowanego na długości powyżej 2m
8.	Kryterium sił pionowych i prowadzących	Siła pionowa przypadająca na koło $Q \leq 170 \text{ kN}$ Quasistatyczna siła prowadząca w łuku $Y_{\text{gst}} \leq 60 \text{ kN}$	Karta UIC 518	Pomiar na stanowisku pomiarowym
9.	Kryterium skrętności wózków pod pudłem	<u>Wagony osobowe i towarowe na wózkach dwuosiowych</u> Kąt załamania toru $2^\circ 30'$ i łuk 150 m (pion) Kąt skrętu $3^\circ - 5^\circ 40'$ dla odległości czopów skrętu $10 \div 19,5 \text{ m}$ (poziom)	Karta UIC 569	Pomiar na torze i przesuwnicy
10.	Moment oporowy (zalecenie)	<u>Wagony nowe</u> Osobowe $\pm 8 \div 12 \text{ kNm}$ Towarowe $\pm 8 \div 14 \text{ kNm}$ Wartość niebezpieczna $> 25 \text{ kNm}$ <u>Lokomotywy</u> Brak określonych wartości	-----	Pomiar na stanowisku
11.	Siła zwrotna (zalecenie)	<u>Maksymalna</u> $P_{z \max} = K_y \times \Delta y$ K_y – sztywność poprzeczna zawieszenia Δy – max luz do odbijaków <u>Zalecana</u> $P_z = 0,1 \times g \times M_p$ M_p – masa pudła na 1 wózek	-----	Pomiar na stanowisku
12.	Ekwiwalentna stożkowatość koło-szyna	<u>Maksymalna</u> $0,30 \div 0,45$ <u>Zalecana (przeciętna)</u> $0,025 \div 0,030$ $0,40$ dla $v < 200 \text{ km/h}$ $0,30$ dla $v \geq 200 \text{ km/h}$ tor prosty i łuk o promieniu $R \geq 2500 \text{ m}$	Wg [18] Wg [10]	Pomiar obręczy kół na torze
13.	Drgania giętne nadwozia	<u>Wagony</u> Wartość podstawowa $W_1 = 7 \text{ Hz}$ (wagon sypialny) $W_1 = 9 \text{ Hz}$ (wagon przedziałowy) $W_1 = 11 \div 12 \text{ Hz}$ (wagon bezprzedział) $W_{z \max} = (0,75 \div 0,8) W_1$	wg [6]	Pomiar na stanowisku

		<u>Lokomotywy</u> $W_1 = 10 \div 12 \text{ Hz}$ $W_2 = 3 \div 3,5 \text{ Hz}$		
14.	Częstość drgań pionowych (swobodna)	$W_p = 0,95 \div 1,05 \text{ Hz}$ Zaleca się by $W_p \leq 1 \text{ Hz}$		Pomiar na stanowisku badawczym
15.	Częstość drgań poprzecznych (swobodna)	$W_{poprz} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{0,1g}{\Delta y}}$ gdzie: Δy – luz na odbijakach bocznych $W_{poprz} \sim 0,7 \text{ Hz}$ (dla $v < 120 \text{ km/h}$) $W_{poprz} \sim 0,6 \div 0,7 \text{ Hz}$ (dla dużych prędkości)	-----	Pomiar na stanowisku
16.	Częstość drgań weżykowania	$W_w = 1 \div 1,8 \text{ Hz}$ dla małych prędkości $W_{max} \approx 2 \text{ Hz}$ dla dużych prędkości	Wg [17]	Pomiar na torze (badania ruchowe)
17.	Częstość drgań bocznych złożonych	<u>Zalecana</u> $W_1 \geq 0,5 \text{ Hz}$ $W_1 = 1,4 \text{ Hz}$ $\text{Max } W_2 = 2 \text{ Hz}$	Wg [2]	Pomiar na torze (badania ruchowe)
18.	Częstość drgań galopowania wózków	$w_g = 5 \div 6 \text{ Hz}$	Wg [17]	Pomiar na stanowisku, względnie na torze
19.	Tłumienie drgań galopowania	<u>Wskaźnik tłumienia</u> $D \leq 0,5$	Wg [17]	
20.	Tłumienie drgań pionowych	<u>Wskaźnik tłumienia</u> $D = 0,2 \div 0,3$ – dla oparcia nadwozia $D = 0,4 \div 0,5$ – dla zawieszenia wózka	Wg [17]	
21.	Statyczne ugięcie usprężynowania	<u>Wagony osobowe</u> $150 \div 200 \text{ mm}$ <u>Wagony typu osobowego</u> $130 \div 160 \text{ mm}$ <u>Wagony towarowe</u> $40 \div 50 \text{ mm}$ <u>Wagony izometryczne</u> $70 \div 80 \text{ mm}$ <u>Lokomotywy</u> $25 \div 40 \text{ mm}$	Wg [3]	Pomiar na stanowisku

Wykorzystano w nich również prace prowadzone przez poszczególne zarządy kolejowe [16,18] oraz ośrodki uczelniane i przemysłowe [1,2,6].

Wybór kryteriów – gradacja ich ważności – jest niezwykle trudna i skomplikowana.

Dla pojazdów eksploatowanych z dużymi prędkościami wymagane jest spełnienie wszystkich ujętych w tabeli 1 kryteriów i zaleceń. Należy dążyć do zaprojektowania i wykonania takich układów biegowych, które spełniać będą najniższe podane wartości. Każde z podanych kryteriów jest w pewien sposób uzależnione od drugiego, a nie spełnienie jednego z nich może mieć wpływ na niespełnienie następnego. Dążeniem więc projektantów jest przyjęcie takiego ukła-

du oraz jego parametrów, by kryteria te, określające bezpieczeństwo i komfort ruchu, były spełnione.

4. Podsumowanie

Przedstawione kryteria, zalecenia, wymagania, mają służyć projektantom i badaczom pojazdów szynowych.

Zebrano je przede wszystkim do oceny układów biegowych na etapie projektowania oraz badań stanowiskowych i ruchowych.

Oczywistym jest, że przy badaniu pojazdów z reguły uwzględnia się większość zjawisk występujących na styku kołoszyzna oraz właściwości toru kolejowego. Właśnie te

właściwości w sposób szczególny wpływają na spełnienie zaprezentowanych kryteriów.

Wraz ze wzrostem prędkości ruchu pojazdów szynowych zakres badań będzie się powiększał. Tworzone będą również nowe kryteria, względne zawężane wartości graniczne kryteriów już obowiązujących lub zalecanych. Prace w tym zakresie prowadzone są już w komisjach UIC i ORE oraz w instytucjach badawczych wielu krajów.

Literatura

- [1] Chudzikiewicz A., Drożdżel J., Kisilowski J., Żochowski A.: „Modelowanie i analiza dynamiki układu mechanicznego tor-pojazd”. PWN, Warszawa 1982.
- [2] Furmaniak A., Kasprzak B., Ofierzyński M.: „Wpływ konstrukcji układu zawieszenia nadwozia na wartość krytycznych (rezonansowych) prędkości jazdy wagonów osobowych”. „Pojazdy szynowe” nr spec. 1975.
- [3] Gąsowski W.: „Wagony kolejowe”. WKiŁ – 1988.
- [4] Gąsowski W.: „Studium wpływu wybranych czynników na działanie rozpylaczy kolejowych silników wysokoprężnych”. Politechnika Poznańska, Rozprawy nr 126, Poznań 1981.
- [5] Gąsowski W., Nowak R.: „Badania wagonów kolejowych”. Wyd. PP. Poznań 1989.
- [6] Grzesikiewicz W., Osiecki J., Piotrowski J.: „Podstawy dynamiki pojazdów szynowych”. WPW, Warszawa 1974.
- [7] „Wagony towarowe – prędkości jazdy”. Karta UIC 432 – 1980.

- [8] „Wagony pasażerskie – układy biegowe”. Karta UIC 515 – 1984.
- [9] „Wagony towarowe – bezpieczeństwo biegu”. Karta UIC 530-2, 1985.
- [10] Badania ruchowe i dopuszczenie pojazdów szynowych ze względu na bezpieczeństwo, obciążenia toru oraz dynamikę podczas jazdy – Karta UIC 518, 1995.
- [11] ORE B 55/RP8 – „Zabezpieczenie wagonów towarowych przed wykołaceniem na torach z odkształceniami”. Utrecht 1984.
- [12] „Projekt ramowego programu badań wagonu pasażerskiego dla prędkości 200 km/h”. Praca CNTK – 1991.
- [13] „Program prób kwalifikacyjnych lokomotywy uniwersalnej dla weryfikacji spełnienia wymagań eksploatacyjnych PKP”. Praca CNTK (1735.04.21) – 1991.
- [14] Ramowy program prób kwalifikacyjnych pojazdów, warunkujących dopuszczenie ich do eksploatacji na PKP. Opracowanie CNTK – 1991.
- [15] Elaboration of a detailed test and research program for the EU 43-112E dual system locomotive, needed to check for conformity with PKP's requirements – in order to issue a Qualification Certificate, based on the order. Praca CNTK 8324/21 Warszawa – 1998.
- [16] Standarty techniczne dla pojazdów trakcyjnych i wagonów dostosowanych do prędkości 200 i 250 km/h. Opracowanie CNTK 6911/23 – 1997.
- [18] „Harmonizacja techniczna pociągów na duże szybkości jazdy” Raport Kolei CCFE – 1990.