

Badania bezpieczeństwa jazdy przy występowaniu dużych ściskających sił wzdłużnych

Andrzej ZBIEĆ

Streszczenie

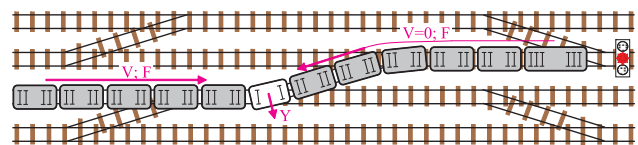
W artykule opisano przyczynę zjawiska wykolejeń próżnych wagonów dwuosioowych, umieszczonych razem z wagonami wózkowymi w długich składach towarowych oraz scharakteryzowano prace badawcze prowadzone w celu zapobieżenia temu zjawisku. Wynikiem tych prac było wprowadzenie odpowiednich zapisów do karty UIC 530-2, a następnie do normy europejskiej EN 15839. Opisano czynności wykonywane podczas przygotowania i prowadzenia badań, wymagania dotyczące toru badawczego i składu wagonów, warunki panujące podczas badań, wielkości mierzone i kryteria oceny, zasady analizy wyników oraz przykładowe wykresy dla jednej z jazd i regresje dla różnych wielkości kryterialnych. Podano przykłady wagonów poddanych tym badaniom.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo jazdy, badanie przepychania, siły wzdłużne

1. Sformułowanie problemu

Zagadnienie bezpieczeństwa jazdy przy występowaniu dużych ściskających sił wzdłużnych jest stosunkowo nowym zagadnieniem. Zwrócono na nie uwagę dopiero w latach 70-tych XX wieku na podstawie analizy przyczyn wypadków. Pojawienie się tego zjawiska było powiązane z coraz powszechniejszym zastosowaniem wózkowych wagonów towarowych (czterooosiowych i sześćoosiowych), a więc zwiększeniem mas wagonów, przy jednoczesnej eksploatacji wagonów dwuosioowych o historycznie starszym rodowodzie. Zauważono mianowicie, że jeśli w długim składzie pociągu towarowego, w przedniej i końcowej części, znajdują się ciężkie (ładowne) wagony wózkowe, a w części środkowej lekkie (próżne) wagony dwuosioowe, to podczas hamowania takiego składu wagonów towarowych, połączonego z jednoczesną zmianą toru na sąsiedni, następuje zjawisko unoszenia wagonu dwuosioowego i wypychania go na bok. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym wystąpieniu tego zjawiska jest szybkość rozchodzenia się fali zmiany ciśnienia, od lokomotywy przez cały skład pociągu, po uruchomieniu przez maszynistę hamowania hamulcem zespolonym. Po określonym czasie, w długim składzie pociągu, pierwsze wagony już zaczynają hamowanie, podczas gdy wagony na końcu składu jeszcze jadą z prędkością, z jaką przed chwilą poruszał się cały skład. Powoduje to powstanie dużych sił ściskających, działających wzdłuż składu. Siły te, w połączeniu

z opisanym uformowaniem pociągu i konfiguracją toru oraz wyższym położeniem zderzaków wagonów próżnych (z powodu mniejszego ugięcia resorów) w stosunku do wagonów otaczających, mogą spowodować wysadzenie z toru lekkiego wagonu znajdującego się w środku składu. Na szczęście wszystkie tego typu wykolejenia zaobserwowano przy niewielkich prędkościach jazdy, do około 10 km/h. Opisaną sytuację ilustruje rysunek 1. Kolorem szarym oznaczono wagony ładowne, a kolorem białym wagon próżny.



Rys. 1. Zespół czynników przyczyniających się do wykolejenia [opracowanie własne]

Badania nad zagadnieniem bezpieczeństwa jazdy długich wagonów dwuosioowych były początkowo prowadzone wspólnie przez należące do UIC (*Union Internationale des Chemins de fer* – Międzynarodowy Związek Kolei) koleje francuskie i niemieckie. W czerwcu 1981 roku połączony Komitet UIC „Eksplatacja” i „Tabor” zdecydował o utworzeniu w krótkim czasie multidyscyplinarnej grupy roboczej mającej na celu zdefiniowanie realnych sposobów podniesienia bezpieczeństwa jazdy długich wagonów dwuosioowych. Do prowadzenia prac nad tym zagadnieniem, już we wrze-

¹ Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Taboru; e-mail: azbiec@ikolej.pl.

śniu 1981 roku, w ramach Komitetu B 12 powołano Grupę Roboczą B 12-1, złożoną ze specjalistów z różnych państw zrzeszonych w UIC. Grupa ta zdecydowała o potrzebie uzupełnienia wcześniej wykonanych analiz i dalszego prowadzenia badań w celu opracowania środków zabezpieczających przed wykolejeniem.

W 1982 roku koleje francuskie i niemieckie przeprowadziły badania, a w 1983 roku wykonano badania uzupełniające w celu wyjaśnienia niektórych kwestii. W ciągu tych dwóch lat przeanalizowano i przebadano różne konfiguracje składu wagonów (wagony dwuosiove i czterosiove różnej budowy i o różnych wartościach zwisu), zastosowanych zderzaków (ich amortyzatorów i promieni tarcz zderzakowych) oraz siły tarcia występujące pomiędzy tarczami zderzakowymi (tarcze suche i smarowane). Wyniki badań zawarto w Raporcie 40 [2]. Wykazano w nim, że możliwe jest zredukowanie masy własnej wagonu dla długich wagonów dwuosiowych (wówczas chodziło o wagony o długościach ze zderzakami pomiędzy 14,1 m a 15,5 m), pod warunkiem zachowania wystarczająco wysokiej sztywności skrętnej wagonu i wyposażenia go w widły maźnicze o progresywnej sztywności. Na podstawie uzyskanych wyników opracowano nowelizację Kart UIC 517 [4] i 530-2 [5]. W Karcie 517 wprowadzono widły maźnicze o progresywnej sztywności, a do Karty 530-2 wprowadzono warunki zachowania bezpieczeństwa jazdy długich wagonów dwuosiowych (o długościach ze zderzakami pomiędzy 14,1 m a 15,5 m).

Wynikiem tych prac było opracowanie zasad badania odporności na wykolejenie pod wpływem dużych sił wzdłużnych ściskających, nowo dopuszczanego do ruchu wagonu. Badanie to w skrócie jest nazywane badaniem przepychania przez łuki odwrotne lub po prostu badaniem przepychania. Nazwa bierze się stąd, że do wywołania siły wzdłużnej, badany wagon jest umieszczony w pchanym przez lokomotywę składzie, na czole którego znajdują się wagony hamujące. Zmiana siły wzdłużnej jest realizowana za pomocą zmiany stopnia zahamowania wagonów hamujących. Badanie to jest zaliczane do grupy badań bezpieczeństwa jazdy. Po raz pierwszy w Polsce zostało ono przeprowadzone przez Instytut Kolejnictwa w 1997 roku na własnym Torze Doświadczalnym koło Żmigrodu. Do chwili obecnej Instytut Kolejnictwa jest jedynym ośrodkiem w Polsce przeprowadzającym takie badanie, a fragment Toru Doświadczalnego, przeznaczony do przeprowadzania tych badań jest jedynym w Polsce torem, na którym jest możliwe przeprowadzenie badań przepychania.

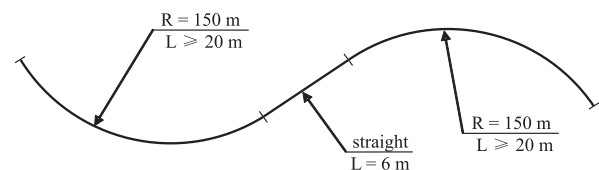
2. Warunki prowadzenia badania przepychania

Warunki prowadzenia badań przepychania pierwotnie były określone w znowelizowanej w tym celu

Karcie UIC 530-2, wydanie 4 z lipca 1985, opracowanej na podstawie wcześniej wspomnianego raportu ORE. Karta ta była jeszcze kilkakrotnie nowelizowana, a jej najnowsze 7. wydanie pochodzi z grudnia 2011 roku. Dokumentem obecnie obowiązującym, na podstawie którego przeprowadza się badania przepychania, jest norma PN-EN 15839 [1]. Odwołanie do tej normy zawiera obowiązująca TSI WAG [3], przy czym TSI WAG przywołuje normę EN 15839 z 2012 roku, a jej najnowsze wydanie jest z 2015 roku.

3. Tor badawczy

Według normy PN-EN 15839 tor, na którym przeprowadza się badania, powinien składać się z dwóch łuków odwrotnych o promieniach 150 m każdy i długościach przynajmniej 20 m, połączonych wstawką prostą o długości 6 m. Tor do prowadzenia badań przepychania pokazano na rysunku 2. Taka konfiguracja toru ma odzwierciedlać warunki opisywane na wstępie – a więc zmianę toru na sąsiedni, czyli przejazd przez dwa rozjazdy o promieniach 150 m, połączonych sześciometrowym odcinkiem toru prostego.



Rys. 2. Łuki odwrotne do prowadzenia badań przepychania [opracowanie własne]

Tor powinien być ułożony bez przechyłki, a jego średnia szerokość powinna zawierać się pomiędzy 1450 mm a 1465 mm. Tor powinien być zabezpieczony przed poprzeczną deformacją (przemieszczeniem poprzecznym). Dane charakteryzujące rzeczywisty odcinek toru z łukami odwrotnymi, będący częścią Toru Doświadczalnego Instytutu Kolejnictwa, są następujące:

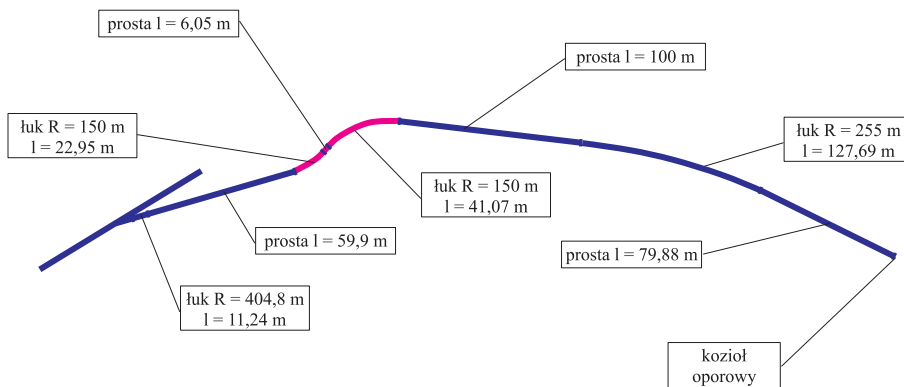
- 1) tor składa się z dwóch łuków $R = 150 \text{ m}$ o długościach 22,95 m i 41,07 m, połączonych wstawką prostą $l = 6,05 \text{ m}$, łuku $R = 404,80 \text{ m}$ o długości 11,24 m, łuku $R = 255 \text{ m}$ o długości 127,69 m oraz dwóch prostych $l = 100 \text{ m}$ i $l = 79,88 \text{ m}$,
- 2) łuki są bez przechyłki $h = 0,00 \text{ m}$,
- 3) ogólna długość toru wraz z rozjazdem S60 1:9 R300 wynosi 482,01 m,
- 4) długość użyteczna toru od rozjazdu do kozła oporowego wynosi 448,78 m,
- 5) położenie toru w profilu na całej długości w poziomie 0‰;
- 6) szyny S49 o długości 30 m, pochyleniu 1 : 20, ułożone na podkładach drewnianych, z przytwierdzeniem pośrednim typu K,

- 7) podsypka klinkowa o grubości warstwy 10–20 cm, ułożona na koronie torowiska o pochyleniu poprzecznym jednostronnym 2,5–4,0%,
- 8) odwodnienie drenażowe i rowy otwarte.

Na rysunku 3 zaprezentowano rzeczywisty widok toru do prowadzenia badań przepychania, a na rysunku 4 szkic tego toru.



Rys. 3. Rzeczywisty widok toru do badań przepychania [fot. A. Zbieć]



Rys. 4. Szkic toru z łukami odwrotnymi [opracowanie własne]

4. Skład badawczy

W celu zapewnienia najbardziej niekorzystnych warunków podczas badań, badany wagon jest umieszczony pomiędzy dwoma wagonami otaczającymi: poprzedzającym – dwuosiowym wagonem samowładowniczym serii Fcs lub Tds i następującym – czterosioową platformą serii Rs o wydłużonym, w stosunku do typowych wagonów kursujących po sieci PKP, zwisie. W tabelicy 1 przedstawiono podstawowe parametry tych wagonów.

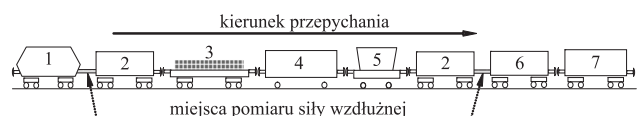
Tabela 1

Podstawowe parametry wagonów otaczających

Parametr	Seria wagonu	
	Fcs lub Tds	Rs
Liczba osi	2	4 (wózkowy)
Długość ze zderzakami [m]	9,64	19,90
Rozstaw osi [m]	6,00	–
Rozstaw czopów skreću [m]	–	13,00

Wagony otaczające oraz pozostałe wagony w składzie pociągu, oprócz badanego, powinny być załadowane do 20 t/oś. Wagon badany jest próżny. W celu prawidłowego pomiaru siły wzdłużnej należy użyć dwóch sprzęgów centralnych, umieszczonych za wagonem otaczającym i pośrednim, po obu stronach w sto-

sunku do wagonu badanego. Są to specjalne sprzęgi, zawierające otensometrowaną część pomiarową. Rysunek 5 pokazuje zestawienie składu do badań.



Rys. 5. Zestawienie składu do badań: 1) lokomotywa lub grupa lokomotyw, 2) wagon pośredni, 3) wagon otaczający Rs, 4) wagon badany, 5) wagon otaczający Fcs lub Tds, 6) wagony hamujące, 7) wagon pomiarowy [opracowanie własne]

Część składu znajdująca się pomiędzy sprzęgami do pomiaru siły wzdłużnej nie jest hamowana podczas testów. Hamowana jest tylko grupa wagonów na czole składu (na rysunku wagony oznaczone cyfrą 6 – na prawo od sprzęgu do pomiaru siły wzdłużnej), oprócz wagonu pomiarowego.

Wagony otaczające powinny być wyposażone w zderzaki kategorii A, o sile końcowej 590 kN, z tarczami nieobrotowymi o promieniu sfery 1500 mm. Wagon badany ma takie zderzaki, jakie przewidziano dla niego w eksploatacji. Powierzchnie tarcz zderzawkowych nie mogą nosić śladów zużycia (głębokich rys lub zadziorów).

Sprzęg śrubowy pomiędzy wagonem badanym a otaczającymi powinien być skręcony tak, aby tarcze

zderzakowe stykały się, bez wywierania nacisku wstępnego. Różnica wysokości pomiędzy osiami zderzaków wagonu badanego i otaczających powinna wynosić około 80 mm. Różnicę tę ilustruje rysunek 6. Tarcze zderzakowe powinny być lekko nasmarowane smarem.



Rys. 6. 80-cio milimetrowa różnica wysokości pomiędzy osiami zderzaków wagonu badanego i otaczającego [fot. A. Zbieć]

Dla wagonów dwuosioowych, o długości ze zderzakami $\geq 15,75$ m, należy ponadto wykonać badania w wariancie uzupełniającym, w którym badany wagon jest otoczony dwoma takimi samymi wagonami, zamiast wymienionymi wcześniej wagonami Rs i Fcs/Tds, przy zachowaniu tych samych warunków obciążenia, sprzęgnięcia i stanu tarcz zderzakowych. Zderzaki są takie same, jak przewidziano dla tych wagonów w eksploatacji (takie, jak w badanym wagonie).

5. Przygotowanie do badań

Podczas przygotowania do badań, na zestawach kołowych badanego wagonu montuje się specjalne głowice pomiarowe do pomiaru sił poprzecznych H oraz specjalne urządzenia do pomiaru uniesień kół. Urządzenia te, pokazane na rysunku 7, są rozwiązaniem własnym, powstałym w Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa.



Rys. 7. Głowice do pomiaru sił poprzecznych i urządzenia do pomiaru uniesień kół [fot. A. Zbieć]

W przypadku wagonów dwuosioowych montuje się czujniki do pomiaru ugięcia wideł maźniczych. Ponadto na wagonach pośrednich montuje się specjalne sprzęgi pomiarowe do pomiaru siły wzdłużnej F_{LX} ścisnącej skład. Miejsce zamontowania sprzęgów pomiarowych pokazano na rysunku 5. Pomiędzy wagonem badanym i wagonami otaczającymi montuje się czujniki do pomiaru przemieszczeń poprzecznych, na podstawie których określa się pokrycie tarcz zderzakowych podczas badań. Montuje się także wszystkie dodatkowe czujniki pomiarowe, np. do pomiaru prędkości oraz odczytujące znaczniki toru, które pokazują moment wejścia wagonu na poszczególne odcinki toru.

Wszystkie wagony, oprócz badanego, załadunku się do obciążenia 20 t/oś. Dodatkowo wagony otaczające – platformę i wagon dwuosioowy wyposaża się w zderzaki kategorii A z nieobrotowymi tarczami o promieniu sfery 1500 mm. Przed rozpoczęciem badań sprawdza się powierzchnie tarcz zderzakowych, czy nie noszą śladów zużycia lub nie mają głębokich zarysowań. W takim przypadku zarysowania usuwa się. Tarcze zderzakowe zostają nasmarowane smarem grafitowym. Na rysunku 8 pokazano, stwierdzone podczas badań, głębokie rysy i zadziory na powierzchni zderzaka diagonalnego w wagonie dwuczłonowym.



Rys. 8. Rysy i zadziory na powierzchni zderzaka diagonalnego [fot. A. Zbieć]

Przez ewentualną regulację masy wagonów otaczających doprowadza się do 80-cio milimetrowej różnicy pomiędzy osiami zderzaków wagonu badanego i wagonami otaczającymi. Sprzęgi śrubowe pomiędzy wagonem badanym i wagonami otaczającymi zostają tak skręcone, aby na prostym i poziomym torze powierzchnie tarcz zderzakowych stykały się bez wywoływania napięcia wstępnego.

W celu utrzymania stałej siły wzdłużnej podczas każdej z jazd pomiarowych, montuje się specjalny

układ elektryczno-pneumatyczny służący do sterowania intensywności hamowania wagonów hamujących. Układ ten jest rozwiązaniem własnym, powstałym w Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa i został przez IK opatentowany. Działanie układu polega na bezpośrednim sterowaniu cylindrów hamulcowych w wagonach hamujących, przez układ elektrozaworów. Te z kolei są sterowane komputerem, który porównuje wartość zadanej siły wzdłużnej z siłą mierzoną na sprzęgach pomiarowych. Dzięki zastosowaniu tego rozwiązania w trakcie każdego z przejazdów uzyskuje się zmienność siły wzdłużnej nie większą niż ± 10 kN.

Po zakończeniu wszystkich czynności przygotowawczych dokonuje się wstępnego sprawdzenia aparatury.

6. Prowadzenie badań

Badania przepychania należy przeprowadzać z prędkością pomiędzy 4 km/h a 8 km/h, utrzymując w przybliżeniu stałą siłę wzdłużną. Podczas pomiarów szyny powinny być suche. Należy przeprowadzić co najmniej 20 jazd z różnymi siłami wzdłużnymi, aż do osiągnięcia któregoś z kryteriów, albo osiągnięcia maksymalnej siły wzdłużnej 280 kN (od 5. wydania Karty UIC 530-2 z grudnia 2005 roku zwiększono siłę wzdłużną, do której prowadzi się badania, z 200 kN do 280 kN oraz ustalono, że minimalna dopuszczalna siła wzdłużna dla wagonu wózkowego wynosi 240 kN). Jeżeli podczas badań żaden z mierzonych parametrów nie przekroczył wartości dopuszczalnej, to nie ma potrzeby dalszego zwiększania siły wzdłużnej powyżej 280 kN.

Na podstawie przeprowadzonych jazd, dla każdego z parametrów są budowane proste regresji. Do dopuszczenia wagonu wystarczy, aby dla wagonu dwuosiowego została osiągnięta minimalna, dopuszczalna siła wzdłużna 200 kN bez przekroczenia żadnego kryterium, a dla wagonu wózkowego 240 kN. Spośród co najmniej 20 jazd, przynajmniej 10 powinno być przeprowadzone z minimalnymi dopuszczalnymi siłami wzdłużnymi zwiększonymi o 10% (czyli 220 kN dla wagonu dwuosiowego i 264 kN dla wagonu wózkowego).

W przypadku konieczności wymiany zderzaków (np. z powodu uszkodzenia tarcz zderzakowych) należy przeprowadzić przynajmniej 5 kolejnych testów z minimalną dopuszczalną siłą wzdłużną. Zderzaki należy wymienić, jeżeli z powodu ich uszkodzenia uzyskiwane wyniki różnią się wyraźnie od uzyskanych wcześniej.

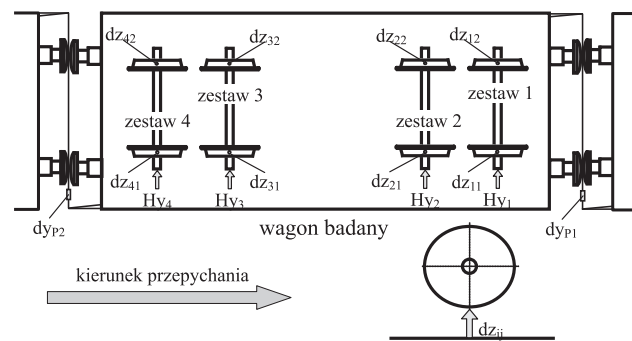
7. Wielkości mierzone

Podczas badań mierzy się:

- wzdłużną siłę ściskającą F_{LXi} działającą na skład,

- uniesienie każdego koła wagonu badanego ponad główkę szyny dz_{ij} ,
- siłę poprzeczną H_i każdego zestawu kołowego wagonu badanego, z jaką poszczególne zestawy kołowe oddziałują na tor, powodując jego ewentualną deformację,
- odkształcenia widel maźniczych dy_{Aij} dla wszystkich kół wagonu badanego (tylko dla wagonów towarowych wyposażonych w widły maźnicze),
- pokrycie tarcz zderzakowych dy_{p1} i dy_{p2} pomiędzy wagonem badanym a otaczającymi;
- znaczniki toru (według normy, np. co 1 m; w IK rejestrujemy początki i końce łuków $R 150$ m oraz wstawki prostej),
- prędkość przepychania składu.

Na rysunku 9 przedstawiono rozmieszczenie punktów pomiarowych na przykładzie wagonu czterosiowego (a więc bez pomiaru odkształcenia widel maźniczych dy_{Aij}).



Rys. 9. Rozmieszczenie punktów pomiarowych [opracowanie własne]

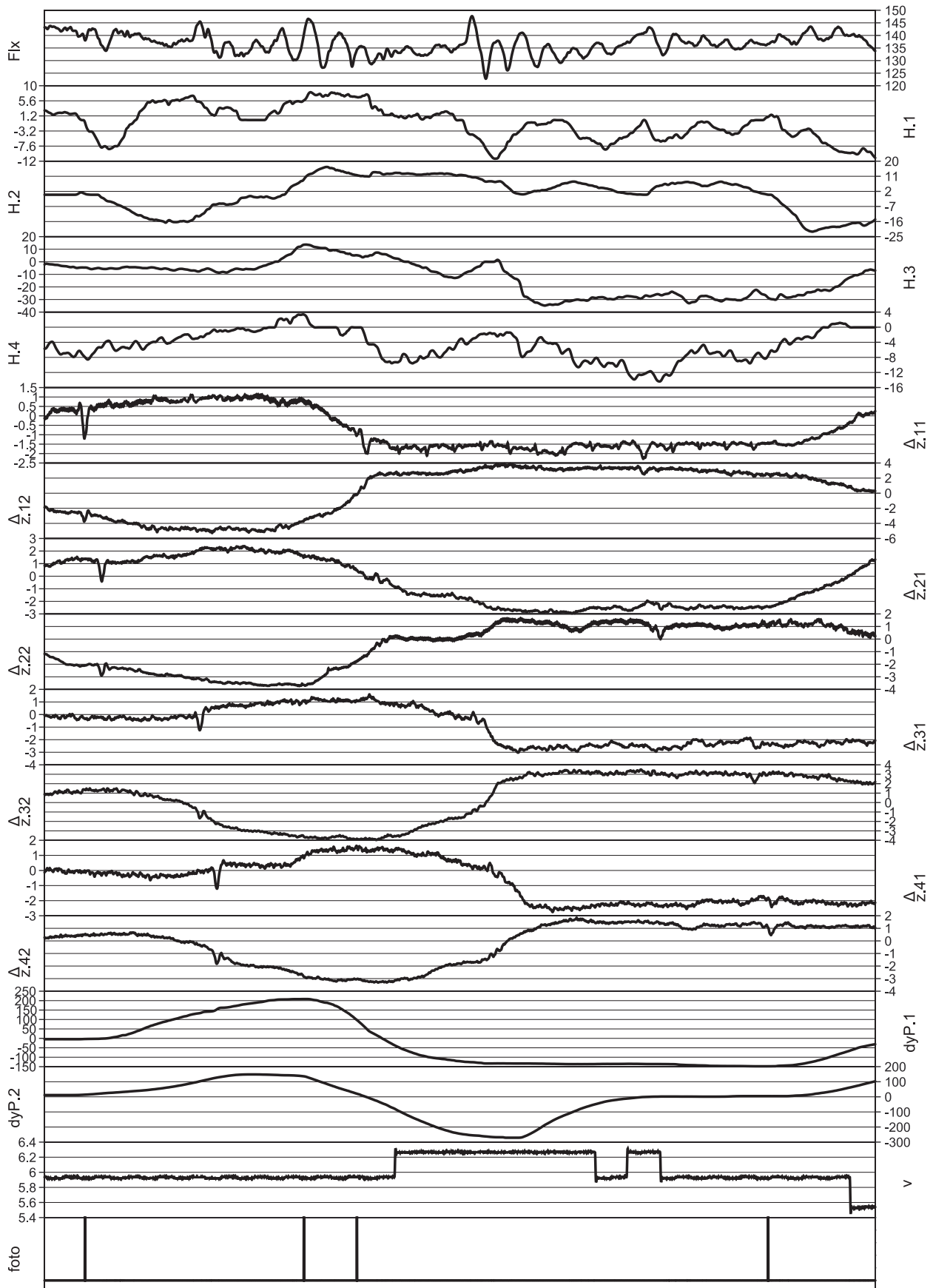
Dodatkowo należy zmierzyć:

- charakterystyki zderzaków wagonu badanego i otaczających, w celu weryfikacji parametrów testu,
- geometrię toru przed i po teście, w celu weryfikacji zachowania parametrów toru badawczego,
- luzy wzdłużne i poprzeczne pomiędzy maźnicami i widłami maźniczymi, w celu weryfikacji stanu wagonu badanego oraz wykrycia ewentualnych uszkodzeń,
- wysokość osi zderzaków ponad główką szyny dla wagonu badanego i otaczających, w celu weryfikacji parametrów testu (zachowania właściwej różnicy wysokości).

8. Kryteria oceny

Dopuszczalną siłę wzdłużną dla wagonu określa się przez osiągnięcie jednej z wartości granicznych:

- uniesienia koła nienabiegającego na drodze 2 m $dz_{ij}^{lim} = 50$ mm,



Rys. 10. Przykładowe zestawienie mierzonych wielkości w funkcji drogi [opracowanie własne]

- odkształcenia wideł maźniczych, mierzonego 380 mm poniżej dolnej krawędzi podłużnicy wagonu, $dy_{Aij,lim} = 22$ mm,
- siły poprzecznej H_{lim} (2 m) = $25 + 0,6 \cdot 2Q_0 + 25$ [kN] (Q_0 – średnia wartość nacisku na jedno koło),
- minimalnego pokrycia tarcz zderzakowych $dy_{p,lim} = 25$ mm,
- wspinania koła prowadzącego $dz_{ij,lim} = 5$ mm – tylko w wariantcie uzupełniającym, w którym badany wagon jest otoczony dwoma takimi samymi wagonami (wagony dwuosiove, o długości ze zderzakami $\geq 15,75$ m).

Jeżeli którykolwiek z wymienionych parametrów przekroczy wartość graniczną lub nastąpi wykołnienie wagonu zanim siła wzdłużna osiągnie wartość:

- 200 kN – dla wagonów dwuosioowych,
 - 240 kN – dla wagonów wózkowych
- wagon uznaje się, że wagon nie spełnia kryteriów bezpieczeństwa jazdy.

9. Analiza wyników

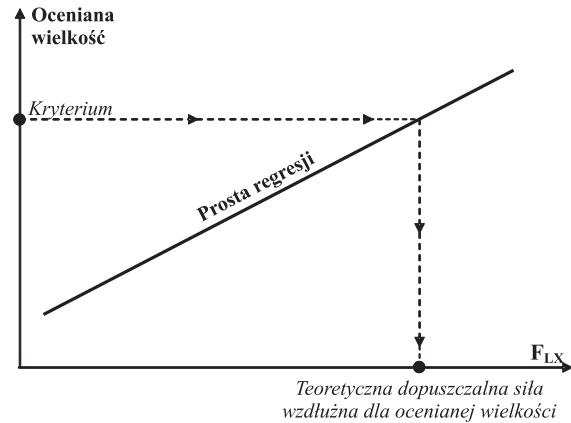
W sprawozdaniu z badań, zarejestrowane wyniki dla każdej z co najmniej 20 jazd, przedstawia się w formie wykresów. Przykładowe zestawienie takich wykresów dla jednej z jazd, zaczerpnięte z prac realizowanych przez Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa, zaprezentowano na rysunku 10. Na wykresach pokazano wszystkie mierzone wielkości w funkcji drogi. Dodatkowo, w ramce „Foto” zaznaczono punkty odpowiadające wejściu pierwszego zestawu kołowego na poszczególne odcinki toru (pionowe kreski).

Na podstawie zarejestrowanych wyników dla każdej z jazd testowych należy wyznaczyć:

- siłę wzdłużną ściskającą F_{LXi} ,
- siłę poprzeczną H_i na drodze 2 m,
- uniesienie koła nienabiegającego dz_{ij} na drodze 2 m,
- odkształcenie wideł maźniczych dy_{Aij} (dla wagonów dwuosioowych),
- pokrycie tarcz zderzakowych dy_p ,
- wspinanie koła prowadzącego dz_{ij} – tylko w wariantcie uzupełniającym, w którym badany wagon jest otoczony jest dwoma takimi samymi wagonami (wagony dwuosioowe, o długości ze zderzakami $\geq 15,75$ m).

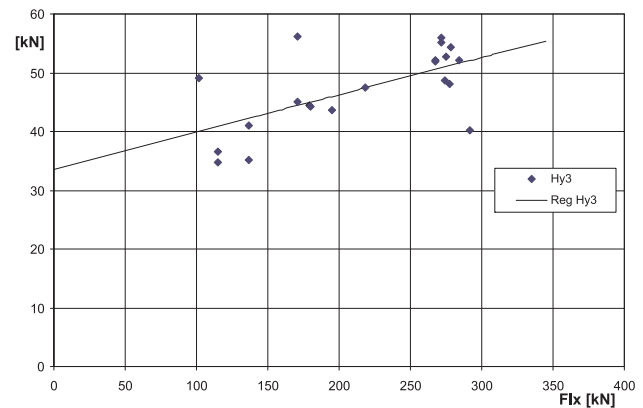
Wyznaczone wartości poddaje się obróbce statystycznej, budując w funkcji siły wzdłużnej F_{LXi} prostą regresji dla każdej wielkości podlegającej ocenie, a następnie na tej podstawie wyznacza się teoretyczną dopuszczalną siłę wzdłużną. Najmniejsza spośród wszystkich wielkości jest teoretyczną dopuszczalną siłą wzdłużną dla wagonu. Sposób wyznaczania teo-

retycznej dopuszczalnej siły wzdłużnej dla ocenianej wielkości ilustruje rysunek 11.

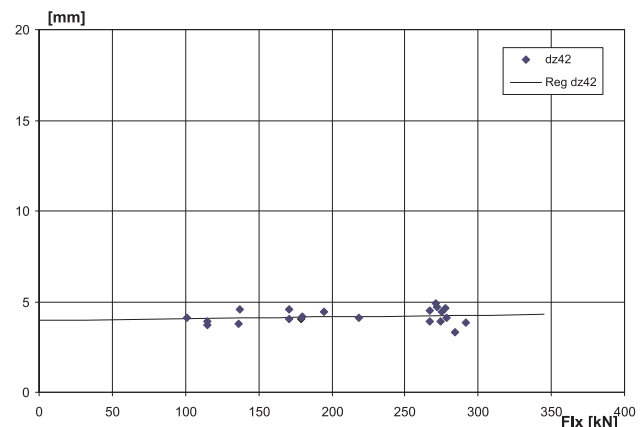


Rys. 11. Schemat wyznaczania teoretycznej dopuszczalnej siły wzdłużnej [opracowanie własne]

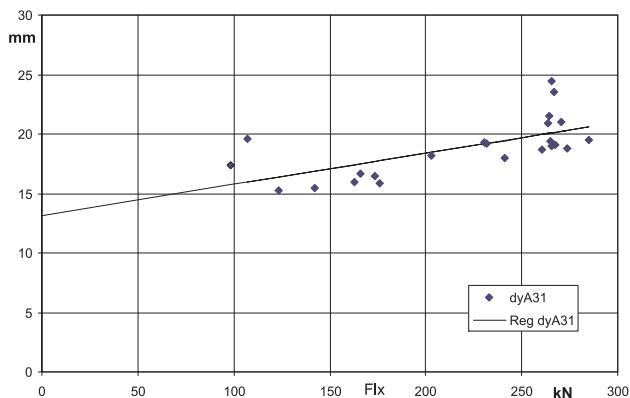
Na rysunkach 12–15, zaczerpniętych z prac realizowanych przez Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa, zaprezentowano przykładowe wykresy z prostymi regresji dla różnych wielkości ocenianych.



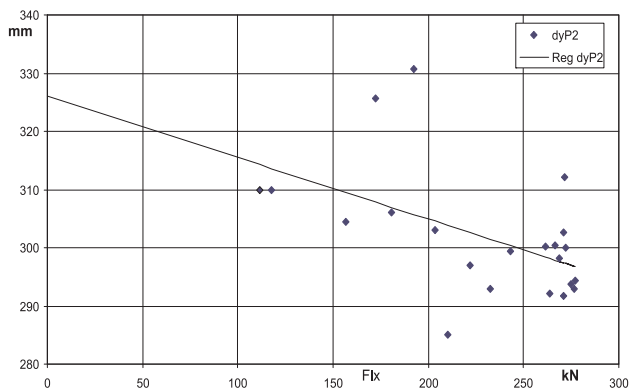
Rys. 12. Regresja dla siły poprzecznej H



Rys. 13. Regresja dla uniesienia koła dz



Rys. 14. Regresja dla odkształcenia

Rys. 15. Regresja dla pokrycia tarcz widel maźniczych dy_{Aij} zderzakowych dy_p

10. Przykładowe badania

Jak zaznaczono na wstępie, badanie przepychania wykonano w Polsce po raz pierwszy w 1997 roku – a więc 21 lat temu. Od tamtej pory Laboratorium Badań Taboru przeprowadziło około 40 badań tego typu na własnym Torze Doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa k. Żmigrodu. Badano zarówno wagony dwuosiove i czterosiove, jak i dwuosiove i czterosiove wagony krótkosprężnięte oraz wagony przegubowe (trójwózkowe, ze wspólnym wózkiem dla dwóch członów). Na rysunkach 16–23, zaprezentowano przykładowe obiekty poddane badaniom przepychania.



Rys. 16. Platforma dwuosiowa o długości 17,4 m i bardzo dużym zwisie 3,7 m [fot. A. Zbieć]



Rys. 17. Zespół bimodalny w uformowaniu kolejowym [fot. A. Zbieć]



Rys. 18. Wagon wózkowy kryty plandeką [fot. A. Zbieć]



Rys. 19. Czteroczłonowy krótkosprężnięty wagon samowyładowczy o członach dwuosioowych [fot. A. Zbieć]



Rys. 20. Wagon dwuosioowy z przesuwными ścianami badany w wariacie uzupełniającym, w którym wagon badany otoczony jest dwoma takimi samymi wagonami [fot. A. Zbieć]



Rys. 21. Platforma dwuczłonowa na czterech wózkach [fot. A. Zbieć]



Rys. 22. Platforma dwuczłonowa na trzech wózkach – dwóch wózkach skrajnych i jednym środkowym [fot. A. Zbieć]



Rys. 23. Długa platforma, o długości 27,5 m na dwóch wózkach, do przewozu rozjazdów [fot. A. Zbieć]

11. Podsumowanie

Niniejszy artykuł jest pierwszą publikacją prezentującą w sposób kompleksowy zagadnienie bezpieczeństwa jazdy przy występowaniu dużych ściskających sił wzdłużnych, łącznie ze wskazaniem źródła problemu oraz prowadzonych prac nad jego rozwiązaniem. O tym, że problem jest stosunkowo nowy może świadczyć chociażby fakt, że do niedawna o przeprowadzaniu takiego badania wielu producentów dowiadywało się dopiero podczas zlecenia badań wagonu Instytutowi Kolejnictwa.

Artykuł powinien uświadomić producentom już na etapie projektowania wagonu, że takie badanie jest przeprowadzane i spowodować, aby zawczasu przeprowadzili stosowne symulacje komputerowe i przy ewentualnym niekorzystnym wyniku, na ich podstawie dokonali zmian konstrukcyjnych tak, aby zostały

spełnione wymagane przepisy. Zasadniczy wpływ na pozytywny wynik testów mają parametry geometryczne wagonu, jak długość i zwis wagonu oraz rozstaw czopów skreśtu, parametry sztywnościowe, jak sztywność skrętna wagonu lub sztywność wideł maźniczych (dla wagonów dwuosioowych), a także charakterystyka zastosowanych zderzaków oraz masa własna wagonu.

W przypadku przekroczenia poszczególnych wielkości kryterialnych dla wyprodukowanego już wagonu można dokonywać odpowiednich zmian. I tak:

- dla przekroczonej siły poprzecznej H można zwiększyć masę wagonu (zależy to oczywiście od kalkulacji kosztów / zysków dla wagonu o zwiększonej masie),
- dla przekroczonych uniesień kół czy ich wspinania również można zwiększyć masę wagonu albo zwiększyć sztywność skrętną wagonu, co wymaga już większych zmian konstrukcyjnych oraz także pociągnię za sobą zwiększenie masy własnej wagonu,
- dla przekroczonego odkształcenia wideł maźniczych wystarczy zwiększyć ich sztywność, co nie powinno mieć znaczącego wpływu na masę własną wagonu,
- dla przekroczonego pokrycia tarcz zderzakowych wystarczy zastosować zderzaki z szerszymi tarczami zderzakowymi.

Na podstawie ponad dwudziestoletnich doświadczeń Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa, można stwierdzić, że obecnie produkowane wagony, zarówno dwuosioowe, jak i wózkowe, w przeważającej większości spełniają wymagania pod względem bezpieczeństwa jazdy przy występowaniu dużych sił wzdłużnych ściskających, pomimo, że wiele dzisiejszych wagonów dwuosioowych ma długość znacznie większą niż 15,5 m, a dla wagonów wózkowych zwiększono minimalną dopuszczalną siłę wzdłużną z 200 kN do 240 kN.

Literatura

1. PN-EN 15839+A1:2015-12: Kolejnictwo – Badania właściwości dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem do ruchu – Wagony towarowe – Badanie bezpieczeństwa jazdy przy występowaniu wzdłużnych sił ściskających.
2. Raport 40 ORE B12: Propelling tests with long two-axled wagons, Utrecht, kwiecień 1984.
3. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 321/2013 z dnia 13 marca 2013 r. dotyczące technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – wagony towarowe” systemu kolei w Unii Europejskiej i uchylające decyzję 2006/861/WE (Dz.U. L 104 z 12.4.2013 ze zmianami).
4. UIC 517: Wagony towarowe – Części zawieszenia – Normalizacja, wydanie 7, kwiecień 2006 r.
5. UIC 530-2: Wagony towarowe – Bezpieczeństwo jazdy, wydanie 7, grudzień 2011 r.