

dr hab. inż. Wiesław Szafranski
dr inż. Stanisław Sulej
mgr inż. Janusz Telega
mgr inż. Piotr Kulec
Wojskowa Akademia Techniczna

BADANIE PRZEMIESZCZEŃ POPRZECZNYCH MAS USPRĘŻYNOWANYCH I NIEUSPRĘŻYNOWANYCH POJAZDU PORUSZAJĄCEGO SIĘ PO RÓŻNYCH ODCINKACH TORU KOLEJOWEGO

W referacie przedstawiono metodę obserwacji, zapisu oraz pomiaru przemieszczeń poprzecznych nadwozia i koła wagonu osobowego. Metoda wykorzystuje układ rejestracji obrazu złożony z cyfrowej kamery, cyfrowego magnetowidu oraz komputera wyposażonego w kartę video umożliwiającą zapis obrazu pochodzącego z kamery i magnetowidu. Pomiar wartości przemieszczeń odbywa się przy użyciu oprogramowania graficznego.

RESEARCH OF TRANSVERSE DISPLACEMENTS OF SPRUNGED AND UNSPRUNGED MASSES OF MOVING ON VARIOUS TRACK SECTION VEHICLE

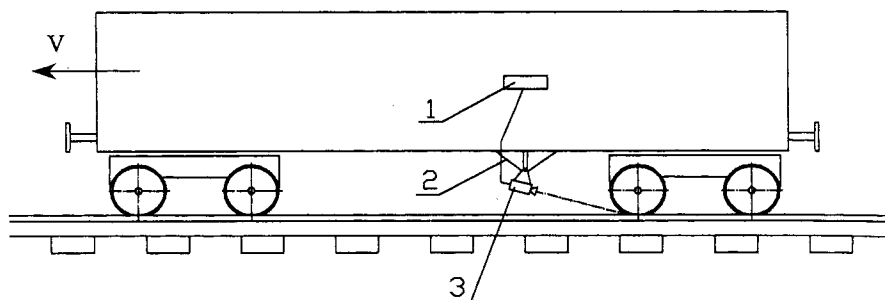
A visual observation, recording and measuring method of rail-car body transverse displacements and rail-coach wheel displacements is presented in this paper. The method used system of picture recording, which are digital camera, digital video-recorder and computer with video card. The video card allowed to recorded the pictures from the camera and video-recorder to hard disk. Measurement of displacements value is performed by means of graphical software.

1. MIEJSCE I WARUNKI WYKONYWANIA POMIARÓW ORAZ METODYKA WYKONYWANIA ZAPISU

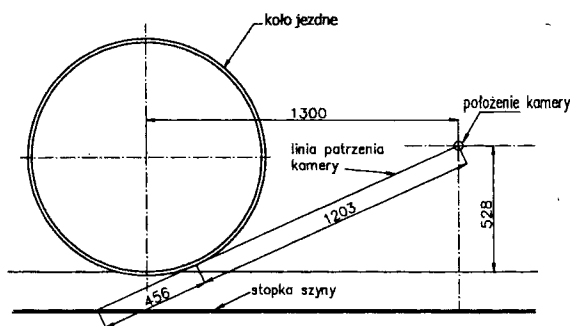
Zapis ruchu koła wagonu osobowego odbywał się podczas jazdy testowej składu osobowego złożonego z lokomotywy i 13 wagonów przeznaczonych do jazdy z prędkościami do 200 km/h. Przejazd odbywał się na trasie Nowy Sącz – Kraków – Idzikowice. Zapis wykonano na odcinkach Nowy Sącz – Kraków – Idzikowice oraz Idzikowice – Kraków. Na trasie Kraków – Idzikowice – Kraków rozwijał prędkości do 160 km/h.

Do rejestracji obrazu wykorzystano cyfrowy magnetowid DSR V10P (1), który otrzymywał sygnał wizyjny z kamery cyfrowej CVX-V18NSP (2) umieszczonej pod nadwoziem wagonu przed wózkami jezdny (rys.1, 2). Obszar rejestracji oświetlono dodatkowo dwoma reflektorami zamocowanymi do osłony kamery. Sterownie pracą kamery i reflektorów oraz rejestracja obrazu odbywała się w przedziale wagonu. Ponieważ znaczna część przejazdu oraz rejestracja obrazu odbywała się w godzinach nocnych, wykorzystywano zdolność kamery do

pracy w podczerwieni. Zapis odbywał się z częstotliwością 25 klatek na sekundę. Aby wyeliminować drgania obrazu migawkę kamery ustawiono na 1/10000 s.



Rys.1. Układ rejestracji obrazu na wagonie osobowym: 1- magnetowid, 2- elementy zawieszenia kamery, 3- kamera.

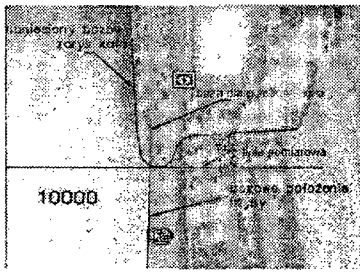


Rys.2. Parametry położenia kamery względem koła.

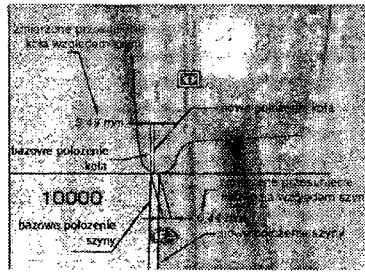
2. METODYKA ODCZYTU PRZESUNIĘCIA KOŁA I NADWOZIA

Odczyt zapisu przesunięć koła oraz pomiar wartości tych przesunięć odbywał się po rozbiciu zapisu z taśmy na pojedyncze klatki. W tym celu zapis z magnetowidu wczytywany był do komputera poprzez kartę video i zapisywany na twardy dysk w postaci pojedynczych obrazów rastrowych. Następnie każdy z tych obrazów był wczytywany do programu graficznego umożliwiającego jego powiększenie oraz pomiar przesunięcia koła względem szyny. Po wczytaniu obrazu naniesiono bazy pomiarowe na tle widocznego zarysu koła i szyny na pierwszej klatce filmu (fot.1). Uzyskane bazy kopiowano następnie na kolejne klatki filmu, nanoszono prostą wskazującą położenie krawędzi stopki szyny i mierzono odległość między bazami i krawędzią szyny (fot.2).

Ponieważ kamera obejmowała ciągle obszar o tej samej wielkości, było możliwe jednoczesne określenie przemieszczenia poprzecznego nadwozia wagonu (przemieszczenia kamery) i przemieszczenia koła względem szyny. Ponieważ zmierzone przesunięcie koła zawierało w sobie błąd paralaksy, to po odczytaniu przesunięcia koła odejmowano wartość błędu obliczoną na podstawie zmierzonego przesunięcia nadwozia względem szyny.



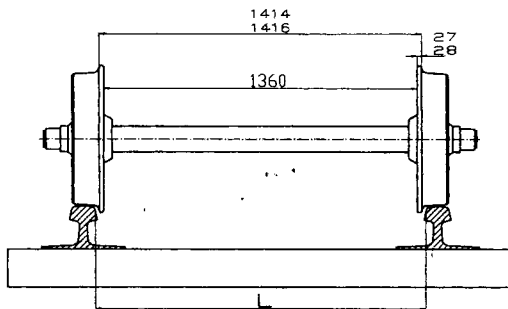
Fot.1. Zapisana pierwsza klatka z naniesionymi bazami dla położenia szyny i koła



Fot.2. Zapisana kolejna klatka z zaznaczonym położeniem szyny i koła oraz zmierzonymi przesunięciami

3. UZYSKANE WYNIKI

Wartości maksymalnych możliwych przemieszczeń poprzecznych koła wynikają z parametrów technicznych wykonania torowiska oraz kół jezdnych wraz z osią. Każdy z tych elementów wykonywany jest z pewną tolerancją a dodatkowo podlegają one odkształceniom w zależności od masy pojazdu oraz zużyciu w trakcie pracy. Podstawowe parametry zestawu koła – oś – szyny pokazane zostały na rysunku 3.



Rys.3. Podstawowe wymiary osi z kołami i torowiska.

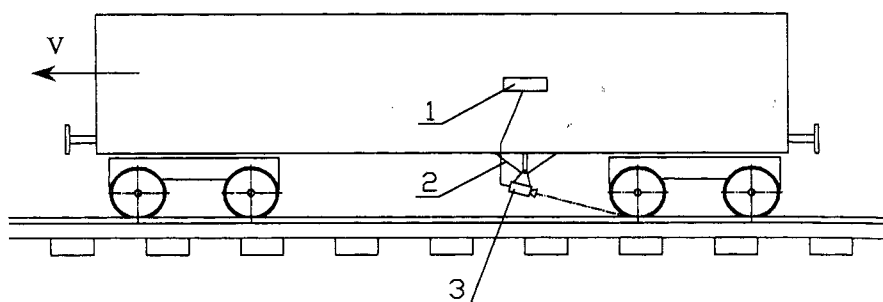
Wymiary podano zgodnie z artykułem [1].

Standardowy rozstaw wewnętrznych powierzchni wieńców kół wynosi 1360^{+2} mm, minimalna grubość obrzeża 28 mm co daje maksymalny rozstaw obrzeży 1416^{+2} mm.

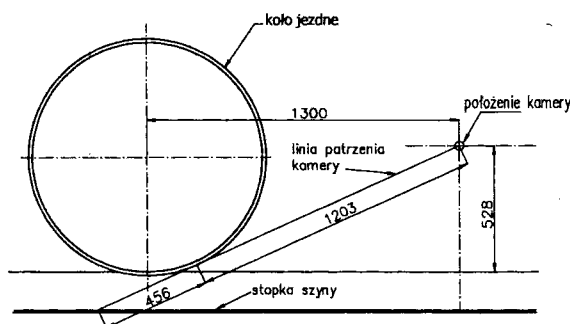
Wielkość rozstawu szyn (wymiar „L” na rys.3) wynosi 1435 na odcinkach prostoliniowych oraz 1465 mm na łuku (dla promienia łuku $R=250$ m.). Stąd maksymalne przemieszczenie koła na odcinku prostoliniowym może wynosić 19mm a na łuku 49mm.

Po wykonaniu pomiarów zostały zbudowane wykresy obrazujące przemieszczenia poprzeczne nadwozia i koła względem szyny. Przyjęta metoda rejestracji była w dużym stopniu zależna od jakości torów. Zawieszenie kamery pod nadwoziem wagonu miało zabezpieczyć ją przed zniszczeniem w wyniku działania dużych przeciążeń działających na elementy podwozia w czasie przejazdu przez rozjazdy. Spowodowało to duży wpływ nierówności torów oraz ruchów nadwozia na elementach amortyzujących na wyniki pomiarów przemieszczenia koła. Mimo to dzięki znajomości parametrów geometrycznych

pracy w podczerwieni. Zapis odbywał się z częstotliwością 25 klatek na sekundę. Aby wyeliminować drgania obrazu migawkę kamery ustawiono na 1/10000 s.



Rys.1. Układ rejestracji obrazu na wagonie osobowym: 1- magnetowid, 2- elementy zawieszenia kamery, 3- kamera.

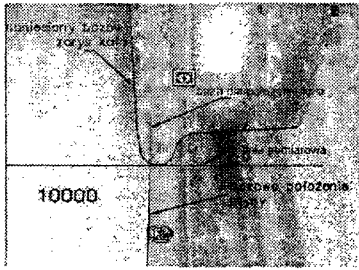


Rys.2. Parametry położenia kamery względem koła.

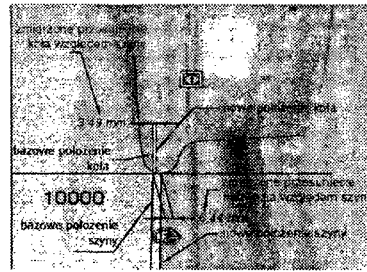
2. METODYKA ODCZYTU PRZESUNIĘCIA KOŁA I NADWOZIA

Odczyt zapisu przesunięć koła oraz pomiar wartości tych przesunięć odbywał się po rozbiciu zapisu z taśmy na pojedyncze klatki. W tym celu zapis z magnetowidu wczytywany był do komputera poprzez kartę video i zapisywany na twardy dysk w postaci pojedynczych obrazów rastrowych. Następnie każdy z tych obrazów był wczytywany do programu graficznego umożliwiającego jego powiększenie oraz pomiar przesunięcia koła względem szyny. Po wczytaniu obrazu naniesiono bazy pomiarowe na tle widocznego zarysu koła i szyny na pierwszej klatce filmu (fot.1). Uzyskane bazy kopiowano następnie na kolejne klatki filmu, nanoszono prostą wskazującą położenie krawędzi stopki szyny i mierzono odległość między bazami i krawędzią szyny (fot.2).

Ponieważ kamera obejmowała ciągle obszar o tej samej wielkości, było możliwe jednoczesne określenie przemieszczenia poprzecznego nadwozia wagonu (przemieszczenia kamery) i przemieszczenia koła względem szyny. Ponieważ zmierzone przesunięcie koła zawierało w sobie błąd paralaksy, to po odczytaniu przesunięcia koła odejmowano wartość błędu obliczoną na podstawie zmierzonego przesunięcia nadwozia względem szyny.



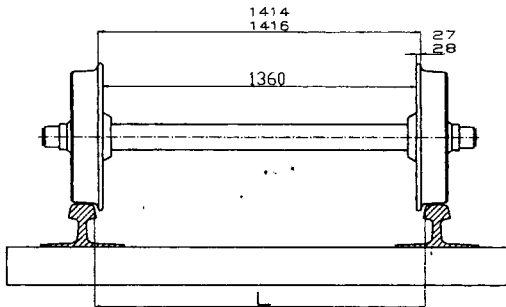
Fot.1. Zapisana pierwsza klatka z naniesionymi bazami dla położenia szyny i koła



Fot.2. Zapisana kolejna klatka z zaznaczonym położeniem szyny i koła oraz zmierzonymi przesunięciami

3. UZYSKANE WYNIKI

Wartości maksymalnych możliwych przemieszczeń poprzecznych koła wynikają z parametrów technicznych wykonania torowiska oraz kół jezdnych wraz z osią. Każdy z tych elementów wykonywany jest z pewną tolerancją a dodatkowo podlegają one odkształceniom w zależności od masy pojazdu oraz zużyciu w trakcie pracy. Podstawowe parametry zestawu koła – oś – szyny pokazane zostały na rysunku 3.



Rys.3. Podstawowe wymiary osi z kołami i torowiska.

Wymiary podano zgodnie z artykułem [1].

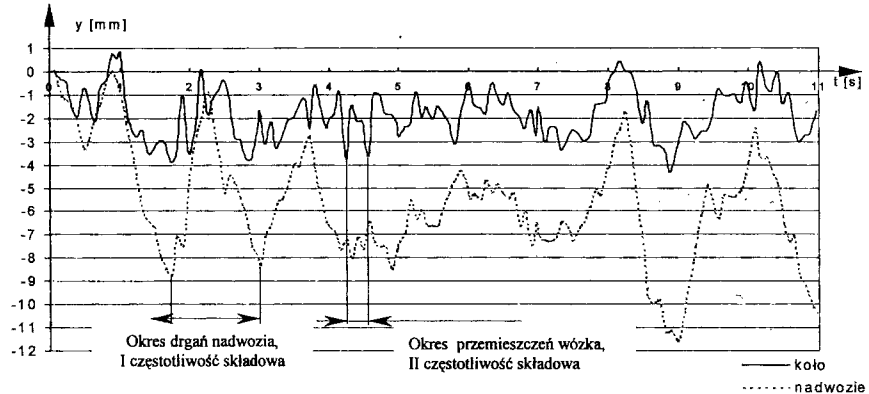
Standardowy rozstaw wewnętrznych powierzchni wieńców kół wynosi 1360^{+2} mm, minimalna grubość obrzeża 28 mm co daje maksymalny rozstaw obrzeży 1416^{+2} mm.

Wielkość rozstawu szyn (wymiar „L” na rys.3) wynosi 1435 na odcinkach prostoliniowych oraz 1465 mm na łuku (dla promienia łuku $R=250$ m.). Stąd maksymalne przemieszczenie koła na odcinku prostoliniowym może wynosić 19mm a na łuku 49mm.

Po wykonaniu pomiarów zostały zbudowane wykresy obrazujące przemieszczenia poprzeczne nadwozia i koła względem szyny. Przyjęta metoda rejestracji była w dużym stopniu zależna od jakości torów. Zawieszenie kamery pod nadwoziem wagonu miało zabezpieczyć ją przed zniszczeniem w wyniku działania dużych przeciążeń działających na elementy podwozia w czasie przejazdu przez rozjazdy. Spowodowało to duży wpływ nierówności torów oraz ruchów nadwozia na elementach amortyzujących na wyniki pomiarów przemieszczenia koła. Mimo to dzięki znajomości parametrów geometrycznych

rozmieszczenia punktów położenia kamery oraz punktów pomiarowych można ten wpływ w znacznym stopniu wyeliminować.

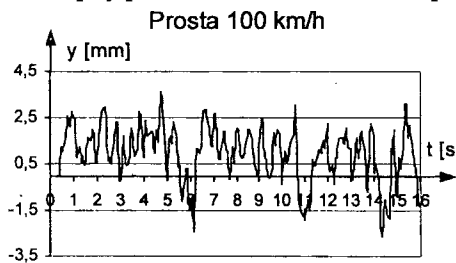
Na wszystkich wykresach można zaobserwować wyraźny wpływ przemieszczeń nadwozia na przemieszczenia wózka względem szyn. Wszystkie nierówności toru oddziałują na cały wagon powodując ruch nadwozia na sprężystych elementach zawieszenia. Duża masa nadwozia rozpędzona na nierówności toru wymusza ruch wózka względem szyny. Z tego powodu koła jezdne przemieszczają się porzecznie względem szyny nie tylko w wyniku zmian obszaru styku z szyną ale także, w wyniku wymuszenia przez przemieszczające się nadwozie.



Rys. 4. Przykładowe przebiegi przemieszczeń koła i nadwozia.

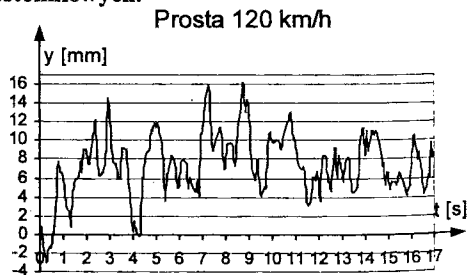
Na przebiegu przemieszczeń nadwozia (rys.4) wyraźnie widać duże wychylenia o częstotliwości około 0,7 Hz oraz nałożone na nie małe wychylenia o wyższej częstotliwości pochodzące od wózka jezdnego. Z kolei na przebiegu przemieszczeń koła widać dwie składowe częstotliwości wychyleń. Pierwsza zgodna wychyleniami nadwozia i nałożona na nią druga, kilkakrotnie większa pochodząca od zmian styku koła z szyną.

3.1. Zapisy przemieszczeń na odcinkach prostoliniowych.



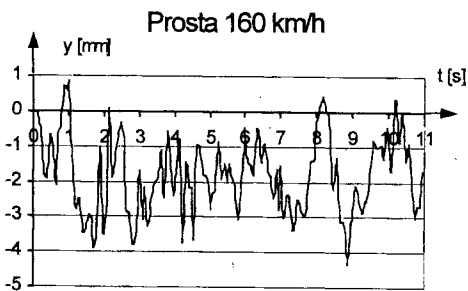
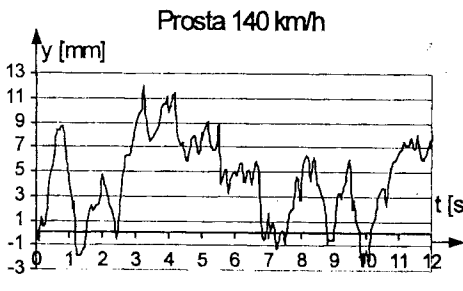
Rys.5. Zapis przemieszczeń dla prędkości 100 km/h:

- maksymalna amplituda przemieszczeń koła – 6 mm,
- I składowa wężykowania – 0,7 Hz,
- długość fali dla I składowej - 39,68 m,
- II składowa wężykowania – 1,87 Hz,
- długość fali dla II składowej –14,85 m.



Rys.6. Zapis przemieszczeń dla prędkości 120 km/h:

- maksymalna amplituda przemieszczeń koła –19 mm,
- I składowa wężykowania – 0,7 Hz,
- długość fali dla I składowej - 47,62 m,
- II składowa wężykowania – 2,14 Hz,
- długość fali dla II składowej –15,58m.



Rys.7. Zapis przemieszczeń dla prędkości

140 km/h:

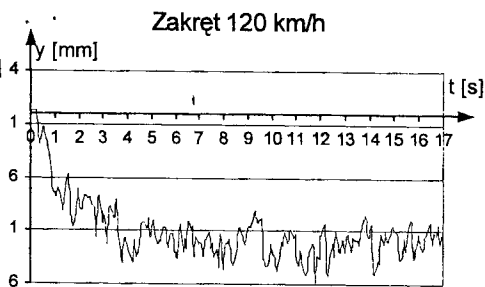
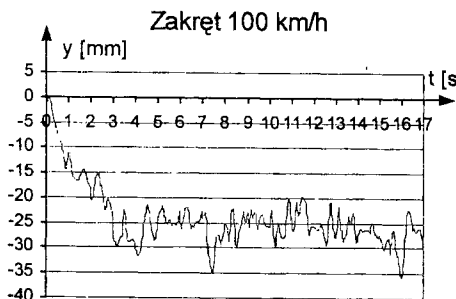
- maksymalna amplituda przemieszczeń koła - 14,5 mm,
- I składowa wężykowania - 0,7 Hz,
- długość fali dla I składowej - 55,55 m,
- II składowa wężykowania - 2,36 Hz,
- długość fali dla II składowej - 16,48 m.

Rys.8. Zapis przemieszczeń dla prędkości

160 km/h:

- maksymalna amplituda przemieszczeń koła - 5,1 mm,
- I składowa wężykowania - 0,7 Hz,
- długość fali dla I składowej - 63,49 m,
- II składowa wężykowania - 2,67 Hz,
- długość fali dla II składowej - 16,64 m.

3.2. Zapisy przemieszczeń na łuku.



Rys.9. Zapis przemieszczeń dla prędkości

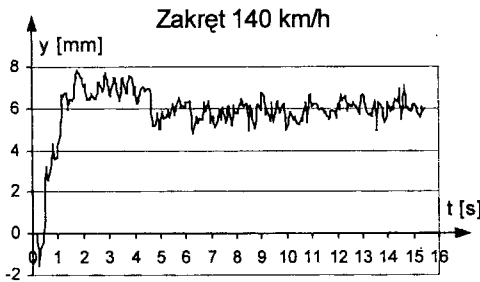
100 km/h:

- maksymalna amplituda wężykowania koła - 16,6 mm,
- maksymalne przemieszczenie koła - 35,9 mm
- częstotliwość wężykowania - 2,72 Hz,
- długość fali - 10,21 m.

Rys.10. Zapis przemieszczeń dla prędkości

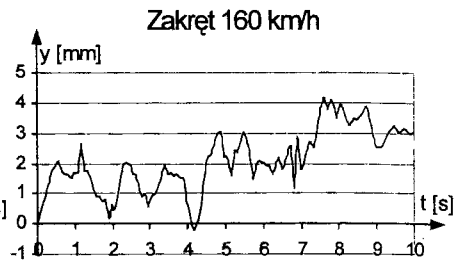
120 km/h:

- maksymalna amplituda wężykowania koła - 6 mm,
- maksymalne przemieszczenie koła - 16 mm
- częstotliwość wężykowania - 2,84 Hz,
- długość fali - 11,72 m



Rys.11. Zapis przemieszczeń dla prędkości 140 km/h:

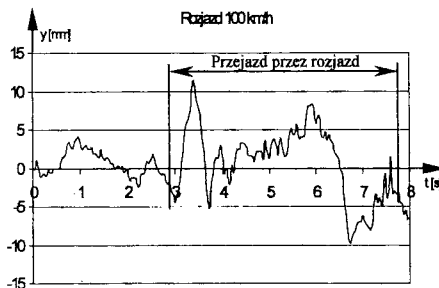
- maksymalna amplituda wężykowania koła – 1 mm,
- maksymalne przemieszczenie koła 9,4 mm
- częstotliwość wężykowania – 2,57 Hz, -
- długość fali – 15,12 m.



Rys.12. Zapis przemieszczeń dla prędkości 160 km/h (łuk o bardzo dużym promieniu):

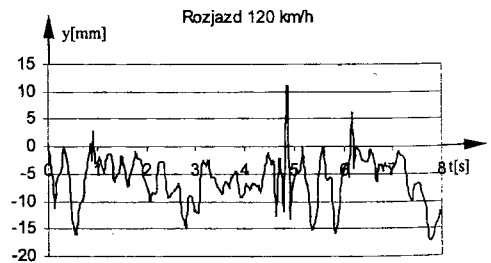
- maksymalna amplituda wężykowania koła – 3,3 mm,
- maksymalne przemieszczenie koła 4,4 mm
- częstotliwość wężykowania – 2,18 Hz,
- długość fali – 20,36 m.

3.3. Zapisy przemieszczeń podczas przejazdu przez rozjazdy



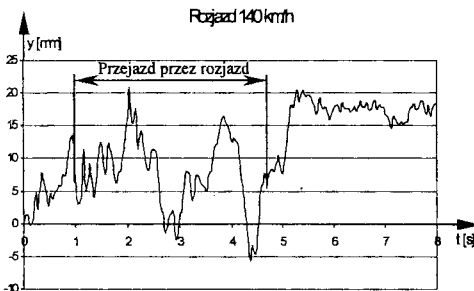
Rys.13. Zapis przemieszczeń dla prędkości 100 km/h:

- maksymalna amplituda przemieszczenie koła – 20,7 mm
- I składowa wężykowania – 0,7 Hz,
- długość fali dla I składowej 39,68 m,
- II składowa wężykowania – 5 Hz,
- długość fali dla II składowej – 5,56 m.



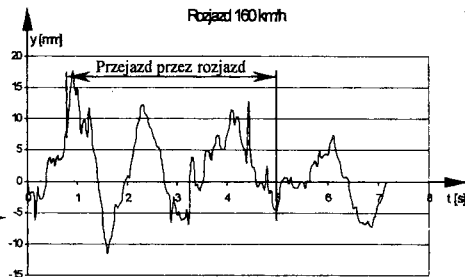
Rys.14. Zapis przemieszczeń dla prędkości 120 km/h:

- maksymalna amplituda przemieszczenie koła – 28,3 mm
- I składowa wężykowania – 0,7 Hz,
- długość fali dla I składowej 47,62 m,
- II składowa wężykowania – 4,59 Hz,
- długość fali dla II składowej – 7,26 m.



Rys.15. Zapis przemieszczeń dla prędkości 140 km/h:

- maksymalna amplituda przemieszczenie koła – 26,6 mm
- I składowa wężykowania – 0,7 Hz,
- II składowa wężykowania – 4,8 Hz,
- długość fali dla II składowej – 8,10 m.
- długość fali dla I składowej 55,56 m



Rys.16. Zapis przemieszczeń dla prędkości 160 km/h:

- maksymalna amplituda przemieszczenie koła – 29,2 mm
- I składowa wężykowania – 0,7 Hz,
- długość fali dla I składowej 63,49 m,
- II składowa wężykowania – 4,7 Hz,
- długość fali dla II składowej – 9,45 m

Błąd pomiaru mógł osiągnąć wartość do 0.7mm. Do tego błędu dochodził błąd paralaksy który mógł zmienić mierzone wychylenie koła o około 23%. Błąd paralaksy wynikał z odległości pomiędzy punktami pomiarowymi na kole i stopce szyny (rys.2). Punkty te rozsunęte były wzdłuż kierunku patrzenia kamery co wywoływało pozorny ruch koła względem szyny w momencie przesunięcia się kamery wraz z nadwoziem wagonu.

Na odcinkach prostoliniowych można zauważyć zmianę częstotliwości wężykowania koła wraz z ze zmianą prędkości jazdy. Częstotliwość ta wzrasta wraz ze wzrostem prędkości od około 1,9 Hz dla $V=100$ km/h do około 2,7 Hz dla $V=160$ km/h.

Na łukach położenie koła względem szyny jest wymuszane przez promień łuku i rozstaw wózków jezdnych wagonu. Jak widać z przebiegów na rys. 9, 10 i 11 w czasie wjazdu na łuk następuje przesunięcie koła o dość dużą wartość. Dalsze ruchy poprzeczne odbywają się względem tego nowego położenia. Jednocześnie wpływ wychyleń nadwozia maleje co umożliwia określenie amplitudy wężykowania koła dla II składowej częstotliwości. Na łukach o mniejszym promieniu amplituda wężykowania maleje wraz ze wzrostem prędkości co prawdopodobnie wywołane jest usztywnianiem się układu nadwozie – wózki jezdne. Na zarejestrowanych przebiegach amplituda zmienia się od 16,6 mm dla $V=100$ km/h do 1mm dla $V=140$ km/h. Jeżeli promień łuku jest duży (rys.12) , to nie następuje duże wstępne przesunięcie koła i widać dalej wpływ wychyleń nadwozia na wielkość wychyleń koła - 3,3mm amplituda wężykowania przy 4,4mm maksymalnego przesunięcia koła. Częstotliwość wężykowania na łuku nieznacznie się zwiększa w stosunku do częstotliwości wężykowania na prostej.

Na rys. 13, 15 i 16 widać wyraźną różnicę w zachowaniu się koła na rozjeździe w stosunku do jazdy przed i za rozjazdem. Amplituda przemieszczeń koła wzrasta w momencie wjazdu na rozjazd i maleje po jego opuszczeniu. Jednocześnie dwukrotnie wzrasta II częstotliwość składowa wężykowania. Na rys.13 można zaobserwować przejście z rozjazdu na łuk. Po dużej amplitudzie wychyleń koła na rozjeździe następuje przesunięcie koła o takim samym charakterze jak na rys. 11 i znaczne zmniejszenie amplitudy wężykowania.

Wnioski

- Częstotliwość poprzecznych wychyleń nadwozia wynosi ok. 0,7 Hz.
- Amplituda poprzecznych wychyleń nadwozia zależy od stanu technicznego torowiska.
- W przebiegu wężykowania koła można wyróżnić dwie składowe częstotliwości. Pierwsza składowa ~0,7 Hz wymuszona przez przemieszczenia nadwozia, druga zmienna zależna od prędkości jazdy oraz odcinka po jakim porusza się pociąg.
- Na odcinkach prostoliniowych druga składowa częstotliwość wężykowania zmienia się od ok. 1,9 Hz przy prędkości 100 km/h do ok. 2,7 Hz przy prędkości 160 km/h.
- Na odcinkach łuków druga składowa częstotliwość osiąga wartości powyżej 2 Hz (2,18 – 2,84 Hz) i zależy nie tylko od prędkości jazdy ale również od promienia łuku.
- Podczas przejazdu przez rozjazdy druga składowa częstotliwość wzrasta do 4,5÷5 Hz.
- Amplituda bocznych przemieszczeń koła na rozjazdach wzrasta do około 30mm.
- Na podstawie zapisu jazdy można stwierdzić, że najmniejsza amplituda wężykowania występuje na prostoliniowych i równych odcinkach torów. Amplituda wyraźnie wzrasta podczas przejazdu przez rozjazdy i w miejscach, gdzie tory nie są równe. Silne boczne wychylenia nadwozia w tych miejscach wymuszają dużą amplitudę wężykowania.

LITERATURA

- [1] Gąsowski W., Lang R.: „*Kołysanie poprzeczne zestawu kołowego podczas wężykowania w torze (1).*”, Pojazdy Szynowe 2/1999, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Pojazdów Szynowych w Poznaniu.
- [2] Gąsowski W., Lang R.: „*Kołysanie poprzeczne zestawu kołowego podczas wężykowania w torze (2).*”, Pojazdy Szynowe 3/1999, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Pojazdów Szynowych w Poznaniu.
- [3] Gąsowski W., Lang R.: „*Kołysanie poprzeczne zestawu kołowego podczas wężykowania w torze (3).*”, Pojazdy Szynowe 4/1999, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Pojazdów Szynowych w Poznaniu.
- [4] Gąsowski W., Lang R.: „*Kołysanie poprzeczne zestawu kołowego podczas wężykowania w torze (4).*”, Pojazdy Szynowe 1/2000, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Pojazdów Szynowych w Poznaniu.
- [5] Sobaś M.: „*O pewnych możliwościach zastosowania koncepcji probabilistycznej skrajni kinematycznej (2).*”, Pojazdy Szynowe 1/2000, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Pojazdów Szynowych w Poznaniu.
- [6] Gąsowski W., Lang R.: „*Kołysanie poprzeczne zestawu kołowego podczas wężykowania w torze (5).*”, Pojazdy Szynowe 2/2000, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Pojazdów Szynowych w Poznaniu.
- [7] Gąsowski W., Lang R.: „*Kołysanie poprzeczne zestawu kołowego podczas wężykowania w torze (6).*”, Pojazdy Szynowe 4/2000, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Pojazdów Szynowych w Poznaniu.
- [8] Gąsowski W., Lang R.: „*Kołysanie poprzeczne zestawu kołowego podczas wężykowania w torze (7).*”, Pojazdy Szynowe 2/2001, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Pojazdów Szynowych w Poznaniu.