

LESIAK Piotr¹
PODSIADŁO Rafał²

SYMULACYJNE BADANIA DYNAMICZNEGO ODDZIAŁYWANIA KOŁA Z PŁASKIM MIEJSCEM NA SZYNĘ W ŚRODOWISKU UNIVERSAL MECHANISM LOCO

W pracy przedstawiono model wagonu dwuosiowego, w którym na obręczy jednego z zestawów kołowych zamodelowano płaskie miejsce. Zbadano oddziaływanie dynamiczne tego zestawu na szynę w funkcji wielkości uszkodzenia, prędkości wagonu i jego masy dla dwóch przypadków sztywności toru. Symulację wykonano w środowisku UM LOCO. Na podstawie analizy badań, potwierdzono pełną zbieżność z badaniami doświadczalnymi w torze kolejowym.

THEORETICAL SIMULATION OF THE DYNAMIC RELATIONSHIP BETWEEN A FLATTEN WHEEL-SET AND THE TRACK IN THE UNIVERSAL MECHANISM LOCO ENVIRONMENT

In this paper a model of a two-axis boogie with a flatten (damaged) wheel set has been described. The dynamic relationship between such a configuration and the track, being a function of the damage scale, boogie speed and mass, for two cases of the track rigidity has been analyzed. The simulation has been performed in the UM LOCO environment. The results confirmed available empirical observations.

1. WSTĘP

Problemami badań i diagnostyki kół z płaskimi miejscami PKP zaczęły się interesować w końcu lat 70 –tych, kiedy to sukcesywnie następował wzrost obciążenia toru pojazdami o większej masie dopuszczalnej.

Efektem tych badań były pierwsze prototypy urządzeń pomiarowych, wykorzystujące zjawisko utraty kontaktu koła z szyną, zbudowane na radomskiej uczelni [1]. Doskonaleniem takich konstrukcji, wykorzystującą tzw. metodę impedancyjną, zajęła się firma TENS z Gdańska, oferując obecnie profesjonalne systemy diagnostyczne [3].

¹dr hab. inż. prof. nadzw. PRad Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki,
ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, p.lesiak@pr.radom.pl

² dr inż. Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki, ul. Malczewskiego 29,
26-600 Radom, r.podsiadlo@pr.radom.pl

Kontynuację badań zjawiska utraty kontaktu koła z szyną, prowadzono też na Politechnice Radomskiej, w wirtualnym środowisku VEE Pro [2].

Jednak z punktu widzenia bezpieczeństwa eksploatacyjnego, ważniejszym parametrem jest siła uderzenia uszkodzonego koła w szynę, gdyż siła ta wywołuje dodatkowe impulsowe naprężenie w szynie, zagrażające jej pęknięciu. Toteż znane są z eksploatacji przypadki licznych pęknięć szyn, wskutek przejazdu wagonów z uszkodzoną powierzchnią toczną kół i w konsekwencji ich wykolejeń.

Pomiary tych sił wykonywano też eksperymentalnie w torze kolejowym, a kompendium wiedzy na ten temat przedstawiono w pracach [3], [4]. Nie są jednak znane badania uwzględniające jednocześnie szereg różnych czynników, stąd autorzy zadali sobie trud symulacyjnego zbadania oddziaływania dynamicznego zestawu z płaskim miejscem na szynę w funkcji wielkości uszkodzenia, prędkości wagonu i jego masy dla różnych przypadków sztywności toru. Symulację wykonano w środowisku UM LOCO [6].

2. OPIS MODELU WAGONU

Na światowym rynku dostępnych jest kilkanaście komercyjnych pakietów oprogramowania do obliczeń symulacyjnych dynamiki pojazdów szynowych. Najbardziej znane to pakiety Adams/Rail, Vampire, E – train, Medyna oraz najnowszy Universal Mechanizm [6]. Oprogramowanie to pozwala na realistyczne modelowanie rzeczywistych konstrukcji, jak również na zaawansowane badania dynamiki pojazdów.

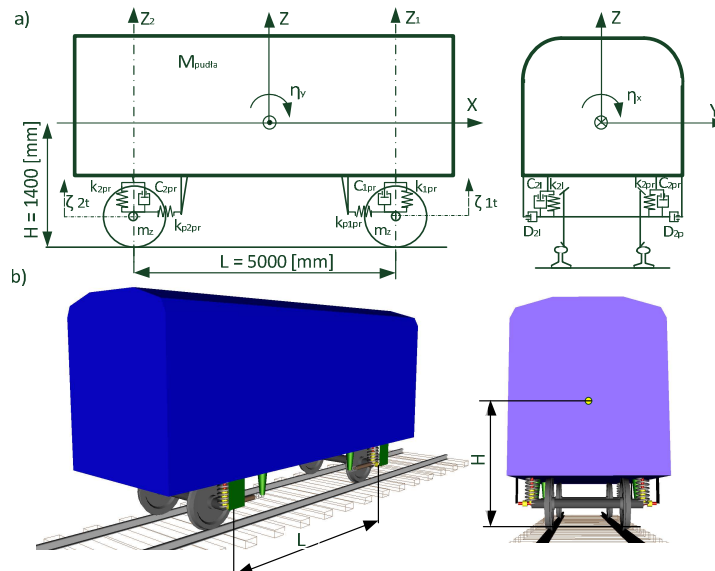
Symulacja dynamiki ruchu układów wielo-masowych umożliwia w przypadku pojazdów szynowych analizę zawiesznień, układów biegowych, itp. w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Konstruktorzy muszą podczas projektowania pojazdów brać pod uwagę wszystkie kryteria, które mają bezpośredni wpływ na komfort i bezpieczeństwo jazdy.

Możliwość zastosowania specjalistycznego oprogramowania do symulacji dynamiki pojazdów pozwala przewidywać wpływ założeń konstrukcyjnych na warunki stateczności ruchu oraz komfort i bezpieczeństwo jazdy. Programy te pozwalają również na przeprowadzenie optymalizacji założeń konstrukcyjnych. W ten sposób już na etapie tworzenia modelu można znaleźć optymalne rozwiązania wykorzystujące najlepszy zbiór kryteriów i założeń konstrukcyjnych.

W pracy użyto oprogramowania UNIVERSAL MECHANIZM Loco (UM LOCO) [6] do definicji i symulacji matematycznego modelu wagonu. Program automatycznie generuje równania ruchu wagonu na podstawie danych wejściowych (prędkość, szlak kolejowy, itp.).

Symulacyjny model wagon składa się z ciał sztywnych, które zostały połączone elementami prowadzącymi oraz podatnymi, tzn. model wagonu stanowi pudło połączone z dwoma zestawami kołowymi. Założono, że zestawy kołowe mają średnicę 1000 [mm] oraz profil S1002 (europejski). Szyny zostały zamodelowane jako idealne (bez zużyć) o profilu UIC60.

Pierwszy stopień usprężynowania wagonu jest złożony z układu czterech sprężyn śrubowych, ośmiu tłumików (czterech pionowych i poprzecznych) oraz czterech prowadników. Utworzony model wagonu przedstawiono na rys. 1.

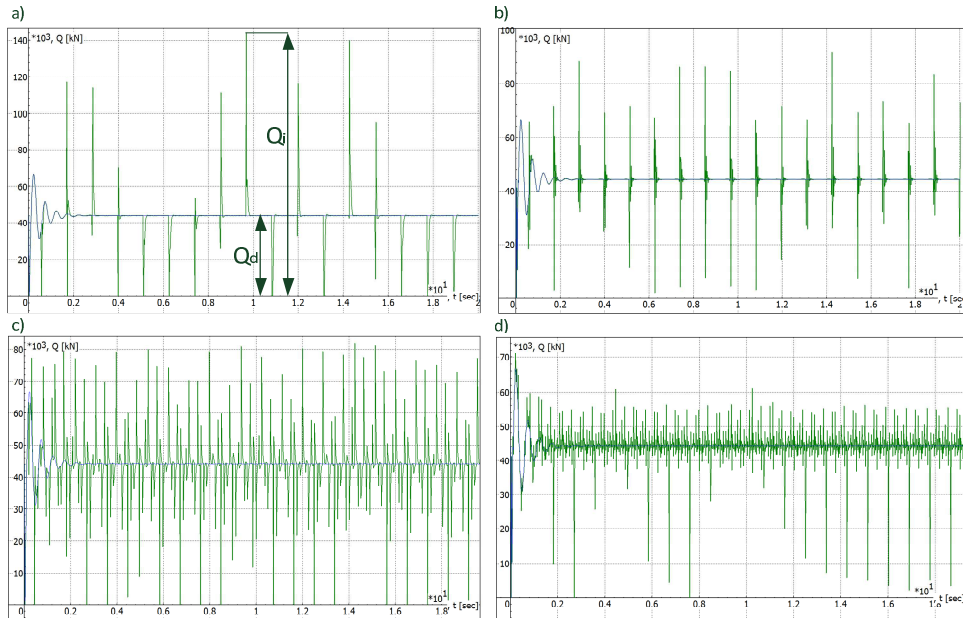


Rys. 1. Widok ogólny pojazdu szynowego, a) schemat dwuosiowego symetrycznego wagonu b) widok pojazdu utworzonego w UM LOCO

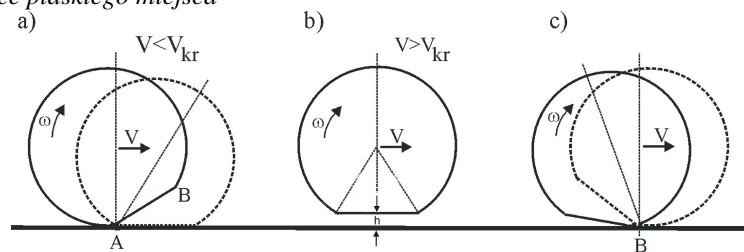
Tor kolejowy zachowuje się jak nieskończenie długa belka o podporze sprężystej. Obciążenie w danym punkcie szyny pochodzące od kół przejeżdżającego pociągu nieprzerwanie się zmienia. Szczególny przebieg mają generowane siły przez koło z płaskim miejscem, co pokazano na rys. 2, dla uszkodzenia o wielkości strzałki $h = 2$ mm i masie wagonu $M_p = 15$ t. W przypadku przetaczania się koła w obrębie płaskiego miejsca, nacisk na szynę zmniejsza się, rys. 3a. Przy tzw. prędkości krytycznej V_{kr} około 30 km/h, następuje zjawisko utraty kontaktu zestawu z szyną rys. 3b. Wówczas ruch koła i szyny przebiegają od siebie niezależnie (w przypadku toru elastycznego). W ostatniej fazie obrotu koła, następuje udarowe zderzenie krawędzi płaskiego miejsca z szyną, rys. 3c. Szczegóły tych zjawisk dynamicznych, przedstawiono w pracy [1].

Symulację wykonano przy następujących założeniach:

- tor prosty idealny $R = \infty$ m (szyny zamodelowano jako elementy nieużyte),
- rozpatrzono dwa rodzaje tłumienia i sztywności toru - tor twardy (parametry $k_p = 8,5 \cdot 10^7$ N/m i $c_p = 3,8 \cdot 10^4$ Ns/m) oraz miękki (parametry $k_p = 3 \cdot 10^7$ N/m i $c_p = 2,2 \cdot 10^4$ Ns/m) [1],
- zamodelowano płaskie miejsce na zestawie kołowym nr 1 (w zakresie wysokości jego strzałki $h = 1, 2 \dots 5$ mm),
- prędkości wagonu $V = 10, 30, 50, 70, 90, 110$ km/h
- masy pudła wagonu wynosiły $M_p = 10$ t, 15 t, 20 t, 25 t, 30 t.

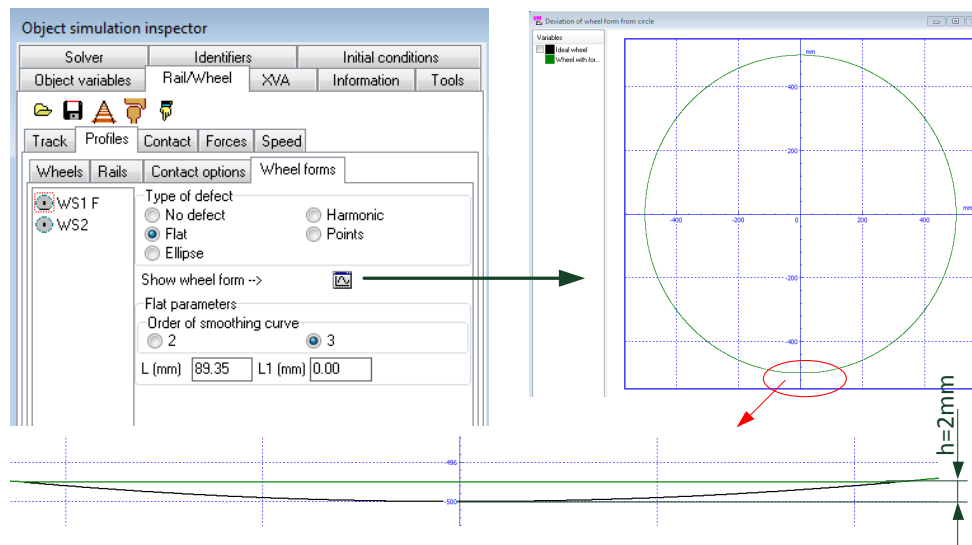


Rys. 2. Ilustracja sił oddziaływania koła z płaskim miejscem na szynę: a) tor twardy, $V = 10$ km/h, b) tor miękki $V = 10$ km/h, c) tor twardy $V = 90$ km/h, d) tor miękki $V = 90$ km/h, Q_i - siła dynamiczna przekazywana na szynę przez koło z płaskim miejscem o wysokości $h = 2$ mm, Q_d - siła dynamiczna przekazywana na szynę przez koło nie posiadające płaskiego miejsca

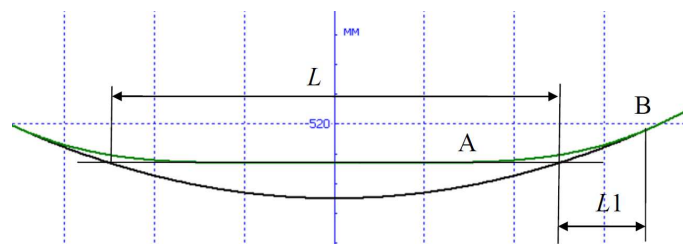


Rys. 3. Fazy ruchu koła ze spłaszczeniem: a) brak utraty kontaktu, b) z utratą kontaktu, c) uderzanie krawędzi B w szynę

Program UM LOCO dysponuje możliwościami modelowania i symulacji pięciu rodzajów uszkodzeń obręczy zestawu kołowego, co przedstawiono w oknie programu na rys. 4. Uszkodzenia te mogą być zdefiniowane jako: płaskie miejsce, elipsa, odkształcenia harmoniczne i punktowe. W celu wprowadzenia defektu, w oknie programu należy go zaznaczyć - dla przypadku symulacji płaskiego miejsca oznaczenie ang. Flat. Można zauważyć, że przy oznaczeniu WS1 (zestaw kołowy nr 1) pojawi się litera F co oznacza, że jest to zestaw z płaskim miejscem. Następnie w celu określenia jego wielkości należy wprowadzić dane liczbowe w oknie oznaczonym jako L oraz L_1 . Znaczenie tych wielkości zostało przedstawione na rys. 5.



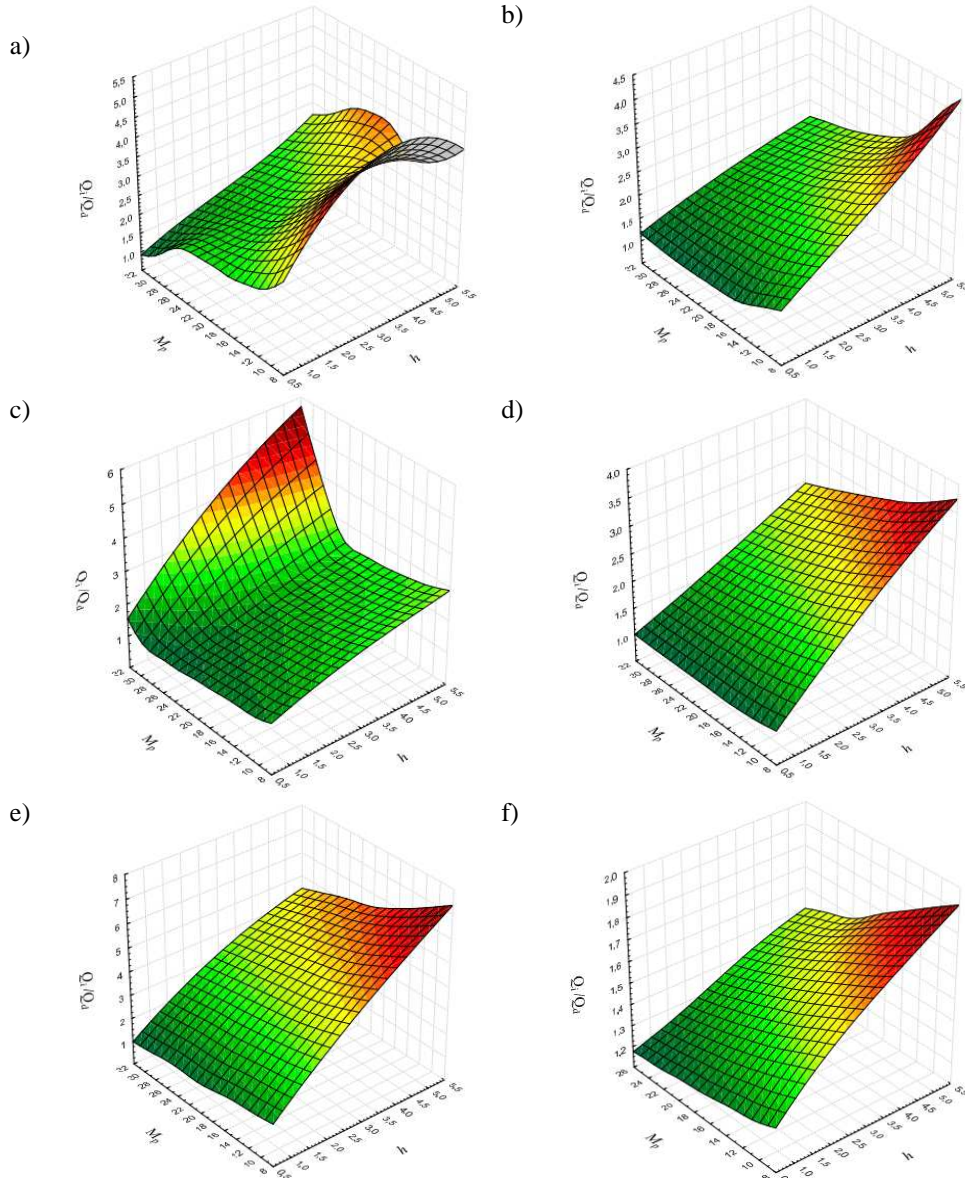
Rys. 4. Okno programu UM LOCO służące do zdefiniowania uszkodzenia obręczy koła zestawu



Rys. 5. Oznaczenia opisujące płaskie miejsce w oknie UM LOCO [6]

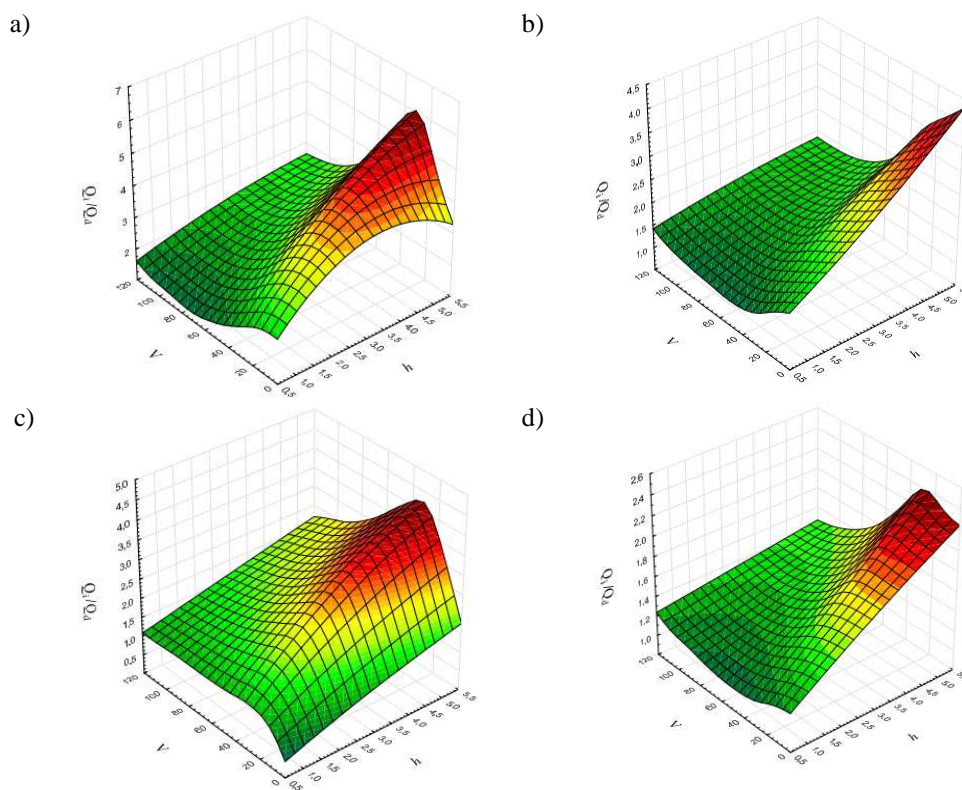
Na rys. 6 przedstawiono zależności funkcyjne Q_i/Q_d od wielkości płaskiego miejsca h i masy pudła pojazdu M_p , uzyskane z symulacji dynamicznej wagonu w środowisku UM LOCO. Analizując otrzymane wyniki można zauważyć, że największe siły dynamiczne przekazywane na szynę przez koło z płaskim miejscem występują przy małych prędkościach wagonu, $V < V_{kr}$, czyli gdy występuje ciągły kontakt koło – szyna, poprzez całą powierzchnię płaskiego miejsca. Wówczas siła oddziaływania płaskiego miejsca na szynę jest proporcjonalna do prędkości pojazdu i rozmiaru uszkodzenia [1]. Charakterystyczne jest maksimum tego stosunku siły dla prędkości zbliżonej do krytycznej i jej spadek w miarę wzrostu prędkości, co pokazano na rys. 7. Bardzo zbliżone wyniki zostały uzyskane w badaniach doświadczalnych na rzeczywistym obiekcie [4].

Przy elastycznym podłożu, składowa pionowa udaru punktu B płaskiego miejsca, wzrasta wolniej w funkcji prędkości V [1].



Rys. 6. Funkcje zależności stosunku sił impulsowej od płaskiego miejsca do dynamicznej siły oddziaływania zestawu na szynę Q_i/Q_d od wielkości płaskiego miejsca h i masy pudła wagonu M_p , przy różnej sztywności toru: a) i b) przy $V = 10$ km/h odpowiednio dla toru sztywnego i miękkiego, takiego jak dla c) i d) przy $V = 30$ km/h oraz e) i f) przy $V = 110$ km/h

Uzyskane wartości sił dynamicznym potwierdziły również znaczący wpływ sztywności toru. Można zauważyć, że dla toru miękkiego, siły dynamiczne pochodzące od uderzenia płaskiego miejsca są mniejsze niż w przypadku toru twardego, rys. 6 i 7. Tor miękki ze względu na swoją podatność ulega większemu ugięciu wskutek uderzenia (w porównaniu z twardym), w konsekwencji osłabiając siły dynamiczne. Ma to istotne reperkusje eksploatacyjne, gdyż w okresie zimowym, kiedy podtorze jest bardziej sztywne, szyny częściej pękają od uderzenia płaskiego miejsca.



Rys. 7. Funkcje zależności stosunku sił impulsowej od płaskiego miejsca do dynamicznej siły oddziaływania zestawu na szynę Q_i/Q_d od wielkości płaskiego miejsca h i prędkości przy różnej sztywności toru, dla: a) i b) $M_p = 10t$ odpowiednio dla toru sztywnego i miękkiego, takiego jak dla c) i d) przy $M_p = 30t$

3. WNIOSKI

Przeprowadzone badania symulacyjne w środowisku UM LOCO są zbieżne z wynikami doświadczalnymi [4]. Siła dynamiczna przekazywana na szynę przez koło z płaskim miejscem może osiągać cztero a nawet pięciokrotny przyrost oddziaływań przenoszących

się na tor (w stosunku do sił występujących dla nie uszkodzonych obręczy kół). Największe wartości sił dynamicznych pochodzących od kontaktu płaskiego miejsca, występują przy prędkościach z zakresu 10 do 40 km/h. Następnie po przekroczeniu prędkości krytycznej ulegają znacznemu zmniejszeniu.

Dlatego też uszkodzenia obręczy w postaci płaskich miejsc są szczególnie niebezpieczne w przypadku wagonów towarowych, poruszających się z reguły wolniej i bardziej obciążonych. Niestety występują one w nich najczęściej, ze względu na niewłaściwą obsługę systemów hamulcowych przez rewidentów.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Lesiak P.: *Badania i analiza właściwości metrologicznych wybranych metod pomiaru spłaszczeń w kołach wagonowych*. Rozprawa doktorska, Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1980.
- [2] Lesiak P., Gołębek P.: *Wirtualny czujnik do pomiaru spłaszczeń na obręczach kół wagonowych*. Prace Naukowe Politechniki Radomskiej, Transport Nr 1(17) 2003, Radom 2003, s. 337–344.
- [3] Pawełczyk M.: *Badanie dynamiki układu: koło z płaskim miejscem – szyna*. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów nr 1(68)/2008, Wydział SiMR PW, Warszawa 2008, s. 73 – 81.
- [4] Towpik K.: *Infrastruktura drogi kolejowej obciążenia i trwałość nawierzchni*. Wydawnictwo Instytut Technologii Eksploatacji, Warszawa – Radom 2006.
- [5] *System wykrywania stanów awaryjnych taboru kolejowego podczas jazdy*. Materiały firmy TENS Sp. z o. o., Gdańsk.
- [6] *Elektroniczny podręcznik użytkownika Universal Mechanizm 6.0, 2010*. Laboratory of Computational Mechanics, Bryansk State Technical University.