Seria: BUDOWNICTWO z. 73

Marek KRUŻYŃSKI

Politechnika Wrocławska

STRUKTURA NIERÓWNOŚCI POWIERZCHNI TOCZNEJ SZYNY I JEJ WPŁYW NA WZBUDZANIE DRGAŃ W UKŁADZIE KOŁO-SZYNA

> <u>Streszczenie</u>. W celu wyjaśnienia problemu wpływu zmienności pionowych nierówności na szerokości górnej powierzchni główki szyny na wielkość i charakter wzbudzania drgań w układzie koło-szyna przeprowadzono precyzyjne pomiary tych nierówności oraz pomiary poprzecznego przemieszczania się powierzchni styku koła z szyną względem krawędzi główki szyny. Wyniki przeanalizowano posługując się widmami falistości dla poszczególnych ścieżek pomiarowych oraz widmami falistości dla grup ścieżek mieszczęcych się w granicach szerokości powierzchni styku koła z szyną. Zestawienie wyników analiz wykazało, że wpływ ten nie może mieć dużego znaczenia w procesie wzbudzania drgań.

#### 1. WPROWADZENIE

Problemy wzbudzania drgań układu koło-szyna były badane w wielu ośrodkach naukowych i w różnych aspektach. Polegały one najczęściej na konfrontacji wyników pomiarów w torze z wynikami analiz wariacji parametrów modeli matematycznych, np. [1],[2], nie brak jednak również badań bazujących głównie na modelu matematycznym o różnym stopniu skomplikowania, np. [3] i [4] oraz badań typowo doświadczalnych, np. [5], [6]. Zastosowanie teorii sygnałów losowych, ich pomiaru i analizy, przedstawione w [7], pozwoliło na opisanie zakłóceń drgań układu koło-szyna. Metodę tę zastosowano w wielu pracach, m.in. w pracach ORE, np. [8].

Jeżeli zmierzymy drgania koła w czasie toczenia się po szynie i wyniki pomiarów przedstawimy w funkcji drogi, to otrzymamy pewien dynamiczny obraz powierzchni tocznej szyny. W dobrze utrzymanej eksploatowanej nawierzchni występuję wahania poziomu drgań do 15 dB, a maksymalne amplitudy przyspieszeń rejestruje się w stałych miejscach w torze.

Przy kolejnych przetoczeniach się koła po tym samym odcinku szyny położenie powierzchni styku koła z szynę na szerokości główki szyny nie jest powtarzalne. Zestaw kołowy ma bowiem możliwość poprzecznego przesuwania się względem szyn. Wynika z tego, że topografia górnej powierzchni główki szyny i jej zmiany w kierunku poprzecznym do szyny mogę mieć ietot-

Nr kol. 1126

ne znaczenie w generowaniu drgań układu. Mogę one być zasadniczym powodem braku powtarzalności amplitud drgań koła przy kolejnych przetoczeniach się po tym samym odcinku szyny. Dlatego podjęto jeszcze jedną próbą szczegółowego przebadania tego problemu.

## 2. POMIARY

### 2.1. Zakres prac pomiarowych

Pomiary przeprowadzono w eksploatowanym torze na wybranych odcinkach ezyn. Jako miejsce pomiarowe wybrano odcinki o zróżnicowanej konstrukcji nawierzchni, bez dodatkowych wpływów takich jak: rozjazdy, przejazdy kolejowe, styki szyn itp.

Odcinek I: szyny UIC 60, podkłady drewniane, na podsypce tłuczniowej, w niskim nasypie.

Odcinek II: szyny S49, podkłady betonowe, podsypka tłuczniowa, niski nasyp.

## 2.2. Sposób przeprowadzenia pomiarów

Pomiary nierówności górnej powierzchni główki szyny wykonano za pomocą indukcyjnych czujników przemieszczeń liniowych. Sygnały pomiarowe reje-



Rys. 1. Położenie ścieżek pomiarowych na główce szyny

Fig. 1. Location of measurement paths in the rail kead strowano na taśmie magnetycznej. Profil powierzchni szyny był mierzony na odcinkach o długości 540 mm.

W dwóch cyklach pomierowych zdjęto profile wzdłuż 10 równoległych ścieżek (rys. 1). Profile nieparzyste zostały pomierzone w pierwszym cyklu, a parzyste w drugim. Zestawienie wyników obydwu cykli pozwoliło na uzyskanie quasi-przestrzennego precyzyjnego obrazu topografii powierzchni główki szyny, to znaczy rozkładu nierówności nie tylko wzdłuż, ale i na całej szerokości tej powierzchni.

#### 2.3. Opracowanie wyników pomiarów

Zestawione razem wyniki obydwu cykli pomiarów po kalibracji przedetawiono w określonej skali graficznie (rys. 2 i 3). Pozwoliło to na poczynienie pierwszych spostrzeżeń i wycięgnięcie początkowych wniosków.



Rys. 2. Profile powierzchni szyny wzdłuż 10 ścieżek pomiarowych na odcinku 1

Fig. 2. Profiles of the rail surface along 10 measurement paths in the section 1



Rys. 3. Profile powierzchni szyny na odcinku 2 Fig. 3. Profiles of the rail surface in the section 2 Stwierdzono, że falistość powierzchni rozcięga się na całą szerokość główki szyny. Długość tych fal wynosi l = 40-50 mm, są to więc typowe fale krótkie, a ich amplituda osięga wartość y = 70 µm.

Wzrokowa ocena pozwoliża na jednoznaczne zakwalifikowanie ich jako "taśmowych", według systematyki zamieszczonej w [9]. Odznaczaję się one tym, że tworzę metalicznie lśniącę wstęgę w zarysach falistych. Charakterystyczne jest, że struktura ta rozcięga się na całę szerokość główki szyny, co może być istotne ze względu na wzbudzanie drgań.

Dla dokonania właściwej interpretacji zjawisk dynamicznych ważne jest określenie, jaka część powierzchni główki szyny jest powierzchnię tocznę. Można to często rozpoznać wizualnie, ponieważ na tej części powierzchni na ogół nie ma śladów korozji, jest ona więc metalicznie błyszcząca.

W przykładzie przedstawionym na rys. 2 powierzchnia toczna znajduje się w zakresie profili 2-5,czyli w pobliżu wewnętrznej krawędzi szyny. Gdy rozpoznanie krawędzi powierzchni tocznej napotykało na trudności, stosowano specjalny lakier. Stwierdzona w ten sposób szerokość powierzchni tocznej wynosiła 20 ± 4 mm i była nieco mniejsza od przeciętnej [10].

Dla nowego zestawu kołowego, obciążonego masę ok. 10 000 kg nie zużytych szyn, szerokość strefy kontaktowej wynosi do 11 mm, a w przypadku zużytych profili zwiększa się do 26 mm.

Nierówności działające na koło wystarczy więc opisać za pomocę 2-5 profili pomiarowych.

Ogólnie, na podstawie pomiarów oraz podanego przykładu można stwierdzić, że amplitudy fal zwiększaję się w kierunku środka szyny lub środka przeciętnej powierzchni tocznej. Szorstkość w sensie mikrostruktury zmienia się odwrotnie, tzn. pośrodku powierzchni tocznej jest najmniejsza, a przy krawędziach główki szyny największa.

Wyrażnie pokazano to na rys. 4, gdzie przedstawiono powiększenie krótkich odcinków profili nr 4, 6, 8 i 10 z rys. 2. Dokładne przyporzędkowanie odczytów wzdłuż wszystkich ścieżek pomiarowych pozwala rozpoznać, że na szerokości siedmiu ścieżek, tj. ok. 36 mm, w wielu przypadkach istnieje zgodność występowania maksymalnych i minimalnych odchyleń profilu. Na rys. 4 zaznaczono to przerywanymi liniami. Wynik ten nie pokrywa się z wynikami innych badań i stwierdzeniami spotykanymi w literaturze. Johneon [11] stwierdził na przykładzie dwóch walców toczęcych się po sobie, że nawet profile szorstkości oddalone od siebie na odległość 0,33 mm nie wykazuję żadnej znaczęcej korelacji.

Na rys. 3 przedstawiono zestawienie profili powierzchni główki szyny o większej długości, równej maksymalnej długości pomiarowej. Na dłuższych odcinkach pomiarowych można lepiej niż na rys. 2 rozpoznać, że długości i amplitudy fal są zróżnicowane. Wynika z tego, że do oceny lokalnych zwięzków między nierównościami a postacię wzbudzanych drgań wystarczą krótkie odcinki pomiarowe. Nie można jednak z tych rozważań wyciągnęć wniosków bardziej ogólnych. Do tego celu należałoby stosować dłuższę bazę pomiarowę, tzn. profile powierzchni o większej długości.





Rys. 4. Struktura szorstkości powierzchni szyny. Odcinek 1, profile: 4, 6, 8, 10 Fig. 4. Roughness structure of the rail surface. Section 1, profiles: 4, 6, 8, 10

## 3. WIDMA FALISTOŚCI POWIERZCHNI TOCZNEJ SZYNY

## 3.1. Podłużne zróżnicowanie wielkości nierówności

Wyniki pomiarów nierówności powierzchni tocznej szyny zależą od położenia odcinka pomiarowego na długości toru. Małe zmiany lokalizacji (przesunięcie podłużne o kilka milimetrów) mogą prowadzić do dużych różnic w widmach. Dla przykładu przedstawiono na rys. 5 widma nierówności, które zostały obliczone dla tej samej ścieżki pomiarowej i odcinków równej długości. Początek odcinka był każdorazowo przesuwany wzdłuż szyny o 5 mm lub o 55 mm. Zestawienie wyników wykazało w zakresie długości fal krótkich różnice do 6 dB. W zakresie mikrostruktury jednak odchylenia są niewielkie. Zwiększenie przesunięć powoduje z reguły wystąpienie większych różnic. Zwiększenie się różnic poziomów widm jest szczególnie wyraźne w dolnym zakresie długości fal. Porównanie wyników pomiarów dla tej samej ścieżki, ale dla czterech różnych miejsc pomiarowych daje również duże rozrzuty widm. Odchylenia w zakresie długości fal od 1 mm do 20 mm osiągają wartości 8 dB.

## 3.2. Poprzeczne zróżnicowanie nierówności

Falistość powierzchni główki szyny jest, jak stwierdzono, zmienna w kierunku poprzecznym, wobec czego położenie strefy kontaktowej koła może być, w aspekcie wzbudzania drgań, istotne. Remington podaje w [12] na podstawie wyników pomiarów wzdłuż dwóch ścieżek, że rozrzut wielkości nierówności w poprzek powierzchni tocznej szyny jest znaczny.



M. Krużyński



Rys. 6. Widma falistości powierzchni tocznej szyny a) odcinek 1, b) odcinek 3, c) odcinek 4, d) odcinek 7 Fig. 6. Waviness spectra of the rail rolling surface a) section 1, b) section 3, c) section 4, d) section 7

W przedstawionych badaniach pomiary nierówności wykonano wzdłuż dziesięciu ścieżek. Umożliwiło to prześledzenie zmian nierówności na całej szerokości górnej powierzchni główki szyny.

Ogólnie stwierdzono duży rozrzut poziomów widm nierówności w całym zakresie długości fal, tj. od 0,063 mm do 123 mm. Największa różnica poziomów następuje przy v/f - 16 mm i wynosi L = 20 dB. W zakresie długości nierówności odpowiadających falom krótkim (od 20 mm do 100 mm) występują różnice w widmach dochodzące do 18 dB. Rozrzut ten odpowiada ścieżkom 2 i 5 poddanym badaniom stosunkowo blisko siebie. Zróżnicowanie to ma charakter czysto losowy, podobnie jak zróżnicowanie nierówności na długości szyny.

# 3.3. Zakres zróżnicowania nierówności w granicach powierzchni tocznej

Wyniki pomiarów wzdłuż ścieżek znajdujęcych się w granicach powierzchni tocznej zostały dokładniej przeanalizowane, ponieważ nierówności tej części powierzchni główki szyny maję decydujęce znaczenie.przy wzbudzaniu drgań. Sę to ścieżki od nr 2 do nr 5 włęcznie. Zestawienie widm nierówności pomierzonych wzdłuż tych ścieżek na różnych odcinkach pomiarowych przedstawiono na rys. 6. Na każdym z wykresów znajduję się widma, które w szerokim zakresie długości fal wykazuję najniższe poziomy. Widać to szczególnie wyrażnie na rys. 6b (ścieżka 2) i na rys. 6c (ścieżka 3).

Jeżeli zestawimy te widma o najniższych poziomach, to okaże się że wszystkie mają podobnę postać. Zaznacza się tu wyraźnie zakres długości fal odpowiadających falom krótkim (2-10 cm). Falom krótszym niż 2 cm odpowiada gwałtowny spadek poziomu widma. Można tu również stwierdzić stosunkowo niewielki rozrzut poziomów w granicach 5-6 dB, szczególnie w środkowej części wykresów, tj. dla V/f = 0,5-20 mm. Zjawisko to może wskazywać na istnienie minimalnej zmierzonej szorstkości powierzchni tocznej.

Podsumowując, można stwierdzić, że powierzchnia toczna szyny, optycznie metalicznie błyszcząca i gładka, jest powierzchnią o zróżnicowanej strukturze nierówności. Zróżnicowanie to ma charakter losowy i nie można ująć go w proste zależności.

Na szerokości ok. 20 mm, która odpowiada prawie podwójnej minimalnej szerokości strefy kontaktowej koła z szyną, występuję różnice nierówności wynoszące przeciętnie około 10 dB.

# 4. ŚREDNIE WIDMA NIERÓWNOŚCI POWIERZCHNI TOCZNEJ

Przedstawione w tym rozdziale widma są średnimi dla większej ilości ścieżek pomiarowych. Uśrednienie zostało przeprowadzone sposobem energetycznym uwzględniajęcym amplitudy nierówności. Na rys. 7 przedstawiono średni poziom widma dla wszystkich dziesięciu ścieżek i porównano ze







rys. .. widma sreaniej falistosci powierzonni tocznej szyny Fig. 7. Spectra of medium waviness of the rail rolling surface średnim poziomem widma dla ścieżek 2-5, znajdujących się w granicach powierzchni tocznej. Różnice między wykresami są niewielkia, to znaczy, że mają one podobny charakter i zbliżone zakresy zmienności poziomu. W zakresie długości fal krótkich poziom dla powierzchni tocznej jest o 2 dB wyższy od poziomu dla całej powierzchni główki szyny, a dla fal o długości V/f = 0,25-20 mm niższy maksymalnie o 4 dB. Potwierdza się tu tendencja wyraźniejszego występowania fal krótkich na powierzchni tocznej niż poza nię.

## 5. PODSUMOWANIE

W zależności od położenia powierzchni kontaktowej na szerokości główki szyny mogą występować pewne różnice wzbudzania. Mimo że charakter styku koła z szyną, czyli istnienie powierzchni kontaktowej, ma działanie integrujące i uśredniającę, jednak różnice te w zależności od miejsca pomiaru są mniej lub bardziej wyraźne, ale zawsze niewielkie. Na rys. 8 przedstawiono wykresy średnich widm dla grup ścieżek (po trzy) położonych w różnej odległości od krawędzi główki szyny. W przypadku "a" przedstawiającym maksymalny stwierdzony rozrzut widm różnice poziomów dochodzą do 10 dB, natomiast w przypadku "b" reprezentującym stan przeciętny, maksymalne różnice poziomów widm nie przekraczają wartości 6 dB. Ponadto należy tu jeszcze stwierdzić, że różnice nierówności powierzchni tocznej szyny nie odzwierciedlają się we wzbudzonych drganiach oraz w ich poziomie [6]. Oznacza to, że różnice amplitud drgań są zawsze mniejsze niż różnice amplitud nierówności powodujących te drgania.

Wynika stęd, że różnice amplitud nierówności na szerokości górnej powierzchni główki szyny można przy analizowaniu procesów wzbudzania drgań w układzie koło-szyna ze względu na nieistotny wpływ pomijać, tym bardziej że położenie powierzchni tocznej na szerokości główki szyny nie jest ściśle powtarzalne dla różnych przejazdów i nie jest możliwe jego zdefiniowanie. Przedstawione rozważania stanowię uzasadnienie właściwości przyjmowania do badania procesów dynamicznych zachodzących w układzie koło-szyna wyników pomiarów nierówności powierzchni tocznej szyny wzdłuż jednej tylko ścieżki pomiarowej znajdującej się w granicach tej powierzchni. Również dla celów diagnostycznych wystarczające jest przyjmowanie wyników takich pomiarów szczególnie wtedy, gdy instrumentem odczytującym nierówności jest koło pojazdu szynowego.



### LITERATURA

- Clarc R.A., Dean P.A., Elkins J.A., Newton S.G.: An investigation into the dynamic effects of railway wehicles running on corrugated rails, Journal of Engineering Mechanics, 1982 (24), No 2, s. 65-76.
- [2] Satoy: High-frequency Track Vibrations on Characteristics of Varions Track, IRCEA Tokyo, Permanent Way, No 69, Vol. 18, No 4.
- [3] Ahlbeck D.R., Meachan H.C.: The developement of analytical models for railroad track dynamics, Procc. Symp. on Railroad Track Mechanics, Pergamon Press 1975.
- [4] Bergander B.: Rechnerische Untersuchung des Schwingungsverhaltens von Schienenfehrzeugen in senkrechter Richtung, Archiv für Eisenbehntechnik (AET) 32, 1977, s. 46-52.
- Esveld C.: Ein Hochgeschwindigkeitsaufzeichnungssystem für Schienenunregelmässigkeiten, Schienen der Welt (1984) 8/9, s. 11.
- [6] Krużyński M.: Analiza doświadczalna drgań układu koło-szyna wywołanych nierównościami powierzchni tocznej szyny, Prace Naukowa Inst. Inżynierii Lędowej Politechniki Wrocławskiej nr 39, 1988.
- [7] Bendat J.S., Piersol A.G.: Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych. PWN, Warszawa 1976
- ORE: Frage C 116, Wechselwirkung zwischen Fahrzeugen und Gleis, Raporty: 1/71, 4/74 i 8/78, Utrecht.
- Fastenrath F.: Die Eisenbahnschiene, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin-München-Düsseldorf 1977.
- [10] Nefzger A.: Geometric der Berührung zwischen Radsatz und Gleis, Eisenbahntechnik Rundschau (ETR) 23 (1974) 3, s. 113-122.
- [11] Gray G.G., Johnson K.L.: The dynamic response of elastic bodies in rolling contact to Random roughness of their surfaces, Journal of Sound and Vibration 1972, 22 (3), s. 323-342.
- [12] Remington P.J., Dixon N.R., Wittig L.E.: Control of wheel/rail noise and vibration, raport UNIA-MA-06-009-82-5, U.S. Department of Transportation 1983.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Łucjan Siewczyński

UNEVENNESS STRUCTURE OF THE ROLLING SURFACE AND INFLUENCE TO THE VIBRATION'S EXCITATION IN THE WHEEL/RAIL SYSTEM

#### Summary

In order to explain the effect of changing on the width of rail head surface on the quantity and the character of vibration's excitation in the wheel/rail system, precise measurements of this unevenness were made. Also measurements were taken of transverse moving of the contact surface between wheel and rail in relation to the edge of the rail head. Results were analysed by waweness spectra for individual measurement paths and by average waveness spectra for the groups of paths placed on the surface of wheel/rail contact too.

Result of analysis has showed, that this influence hadn'n been important in the vibration's excitation process.

НЕРОВНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ РЕЛЬСА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОЛЕБАНИЕ СИСТЕМЫ КОЛЕСО-РЕЛЬС

### Резюме

Для решения проблемы влияния переменности вертикальных неровностей на пирине поверхности катания рельса на величину и карактер возбуждения колебаний системы колесо-рельс проведены точные измерения этих неровностей, а также измерения поперечного перемещения поверхности контакта колеса с рельсом относительно кромки рельса. Результаты были проанализированк, используя спектры волнистости для отдельных сечений измерения, а также средние спектры для групп сечений, находящихся на ширине поверхности контакта колеса с рельсом. Составление результатов анализов показало, что это влияние не имеет существенного значения для процесса возбуждения колебаний.

Iconi.molgy\_billion\_conc\_transp.

second sparter spectral second second restances to the second second