

Stanisław ZIMNOCH

CNTK, Warszawa

DOSKONALENIE KONSTRUKCJI PRZEJAZDÓW KOLEJOWYCH

Streszczenie. W referacie omówiono wyniki badań dotyczące eksperymentalnych przejazdów kolejowych w poziomie szyn. Zaproponowano modele: fizyczny i matematyczny. Podano przykłady obliczeń oraz wnioski.

1. WPROWADZENIE

Nawierzchnie samochodowe jednopoziomowych przejazdów kolejowych na sieci PKP można m.in. usystematyzować w dwóch grupach:

- nadające się po demontażu do ponownego zastosowania,
- do jednorazowego użytku, gdy nawierzchnia po demontażu ulega zniszczeniu.

Do grupy pierwszej zaliczyć można nawierzchnie: z kostki kamiennej, klinkieru lub bruku, z podkładów budowlanych oraz z płyt wielko- i małowymiarowych, a do grupy drugiej - z mas bitumicznych.

Jak wykazano w pracach [4], [6], [7], nawierzchnie z grupy pierwszej cechuje znacząca wadliwość konstrukcyjna i eksploatacyjna [11], [12]. Na tej podstawie można stwierdzić, że stosowane w kraju konstrukcje przejazdów nie spełniają podstawowych wymagań eksploatacyjnych z następujących powodów:

- małej trwałości i odporności na odkształcenia,
- podatności na działanie agresywnego środowiska,
- utrudnień w przekraczaniu przez pojazdy samochodowe, co zakłóca płynność i bezpieczeństwo ruchu,
- skomplikowanego montażu lub demontażu w przypadku napraw jezdni drogi lub nawierzchni toru,
- braku unifikacji elementów nawierzchni samochodowej.

Porównanie cech technicznych i eksploatacyjnych przejazdów kolejowych z zagranicznymi [3], na których coraz częściej stosuje się do budowy nawierzchni samochodowych tworzywa sztuczne (True Temper, Gen Track, Cobra X), elastomery (Strail, Track Span, Rubber Cushion), profile stalowe

we (Steel Plank) oraz specjalne betony (Bodan) skłoniło autora do poszukiwań nowych materiałów na nawierzchnie przejazdów na sieci PKP i do doskonalenia ich konstrukcji [6], [9], [10], [11].

2. SFORMUŁOWANIE (ZAŁOŻEŃ) WARUNKÓW WSTĘPNYCH

Na przejazdach kolejowych muszą być ze sobą połączona w sposób trwały, rozłączny, dwa różne rodzaje nawierzchni: nawierzchnia drogi samochodowej i nawierzchnia kolejowa. Obiekt taki powinien odpowiadać wymaganiom zarówno ruchu samochodowego, który cechują duże natężenie i zróżnicowane naciski osiowe oraz ruchu kolejowego - duże prędkości (do 160 km/h) i obciążenia. Przyjęto założenia, że model fizyczny przejazdu powinien spełniać następujące wymagania:

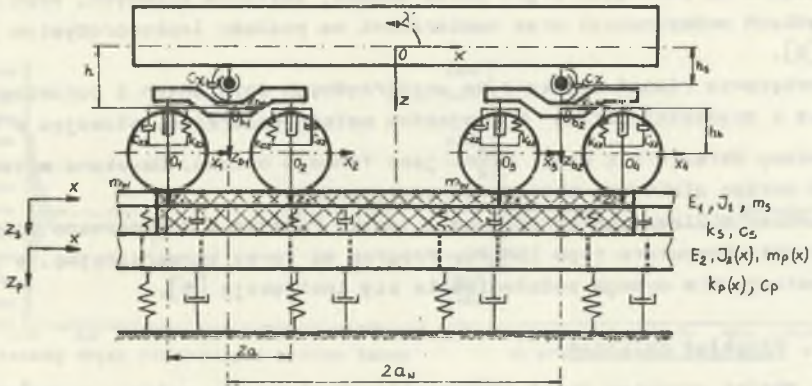
- sztywność giętna, trwale ze sobą połączonych nawierzchni samochodowej i kolejowej, będzie zbliżona do sztywności toru w pobliżu przejazdu,
- podtorze będzie odpowiednio wytrzymałe i dobrze odwodnione,
- jezdnia samochodowa w obrębie przejazdu będzie dopasowana do poziomu toru (szyn), przeciwpoślizgowa i trudno ścieralna oraz łatwa w montażu lub demontażu (głównie przy naprawach toru), umożliwiająca pracę maszyn torowych.

W celu sprawdzenia i weryfikacji przyjętych założeń wykonano eksperymentalne przejazdy z płyt małowymiarowych (z uwagi na eliminację dźwięgów) z betonu prasowanego, z siatkobetonu oraz z gumy osadzonej na podbudowie nieelastycznej [6], [10].

3. EKSPERYMENT FIZYCZNY

Badania diagnostyczne stanu dróg kolejowych wykazują, że w obrębie przejazdów ma miejsce niespokojna jazda pociągów i występują charakterystyczne odkształcenia nawierzchni [12], [9].

Przyjęty w niniejszej pracy opis analityczny ma na celu identyfikację przebiegu wymuszonych ruchem pojazdów szynowych drgań nawierzchni na przejazdach i w ich najbliższym sąsiedztwie. Wyniki pomiarów drgań zestawów kołowych zrealizowane na doświadczalnych i już eksploatowanych konstrukcjach charakteryzują się wyróżniającymi się wyraźnie większymi amplitudami, jak w sąsiedztwie przejazdów. Próbę analitycznego wyjaśnienia tego zjawiska przeprowadzono w sposób podany w pracy [5], dodatkowo uwzględniając haeviside'owską zmianę masy jednostkowej i sztywności w rejonie przejazdu. Posłużono się dyskretno-ciągłym modelem matematycznym, który zilustrowano na rys. 1.



Rys. 1. Model fizyczny układu tor-pojazd
Fig. 1. Physical model of track-vehicle system

Tworzą go dwie nieograniczonej długości belki sprężyste, sprzężone z podkładką lepkosprężystą, przy czym dolna spoczywa na podłożu Kelvina-Voigta. Po górnej porusza się czteroosiowy, usprężynowany pojazd szynowy. Drgania tego układu są wywołane ruchem pojazdu przemieszczającego się ze stałą prędkością V wzdłuż osi podłużnej toru. W tej części obliczeń, zgodnie z założonym celem analizy, jest rozpatrywany wpływ tylko tego rodzaju parametrycznych wymuszeń. Warstwa górna nawierzchni i sztywności $E_1 J_1$ i masy jednostki długości m_s modeluje szyny oparte na lepkosprężystych podkładkach podszynowych o charakterystykach k_s, c_s .

Warstwa dolna jest modelem układu podkładów opartych na lepkosprężystej podsypce odpowiednio o charakterystykach k_p, c_p . Sztywność giętna $E_2 J_2$ znika w strefie poza przejazdem, co oznacza, że podkłady nie przenoszą giętności w płaszczyźnie podłużnej. Masa jednostki długości ma oczywiście różne wartości w obu tych przypadkach, z których jeden odnosi się do samej nawierzchni, drugi zaś do nawierzchni z płytami przejazdu.

Model powyższy, jak wiele innych, wprowadza pewne uproszczenia w stosunku do rzeczywistości. Umożliwia on analizę niustalonych drgań w sensie przemieszczeń pionowych $z(t)$, wywołanych symetrycznym obciążeniem nawierzchni z pominięciem przestrzennego charakteru ruchu całej konstrukcji. Jest więc modelem płaskim, kontakty kół z szynami są opisane dystrybucjami Diraca, ale dyskretne działanie podkładek podszynowych i podkładów zostało uśrednione i rozłożone równomiernie wzdłuż osi nawierzchni. Skokowe zmiany sztywności $E_2 J_2$ oraz masy rozłożonej m_p w strefie przejazdu opisane są funkcjami gładkimi, co oczywiście powoduje pewne osłabienie efektu progowego w obrazie wyników analizy. Wybrano jednak do jej realizacji tę metodę ze względu na cel obliczeń, przyjmujący za podstawę bardziej jakościowe, mniej zaś ilościowe zbadanie zjawiska.

Parametryczne drgania tego modelu są opisane układem ośmiu cząstkowych równań różniczkowych zwyczajnych, z których każda z czterech par odnosi

się kolejno do pionowych drgań pudła wagonu, zestawów kołowych, szyn na podkładkach podszytowych oraz nawierzchni na podłożu lepkosprężystym [1], [2], [3].

Rozwiązanie równań uzyskano we współrzędnych związanych z poruszającym się z prędkością stałą V pojazdem metodą Galerkińa, stosując w niej wielomiany Jermite'a z wagą $e^{-\frac{x^2}{2}}$ jako funkcje bazowe. Uzyskano w ten sposób bardzo efektywną zbieżność rozwiązania.

Przebieg obliczeń oprogramowano w języku Fortran i dostosowano do wykorzystania komputera typu IBM PC. Program ma formę konwersacyjną, a jego eksploatacja nie wymaga podążugiwania się instrukcję [5].

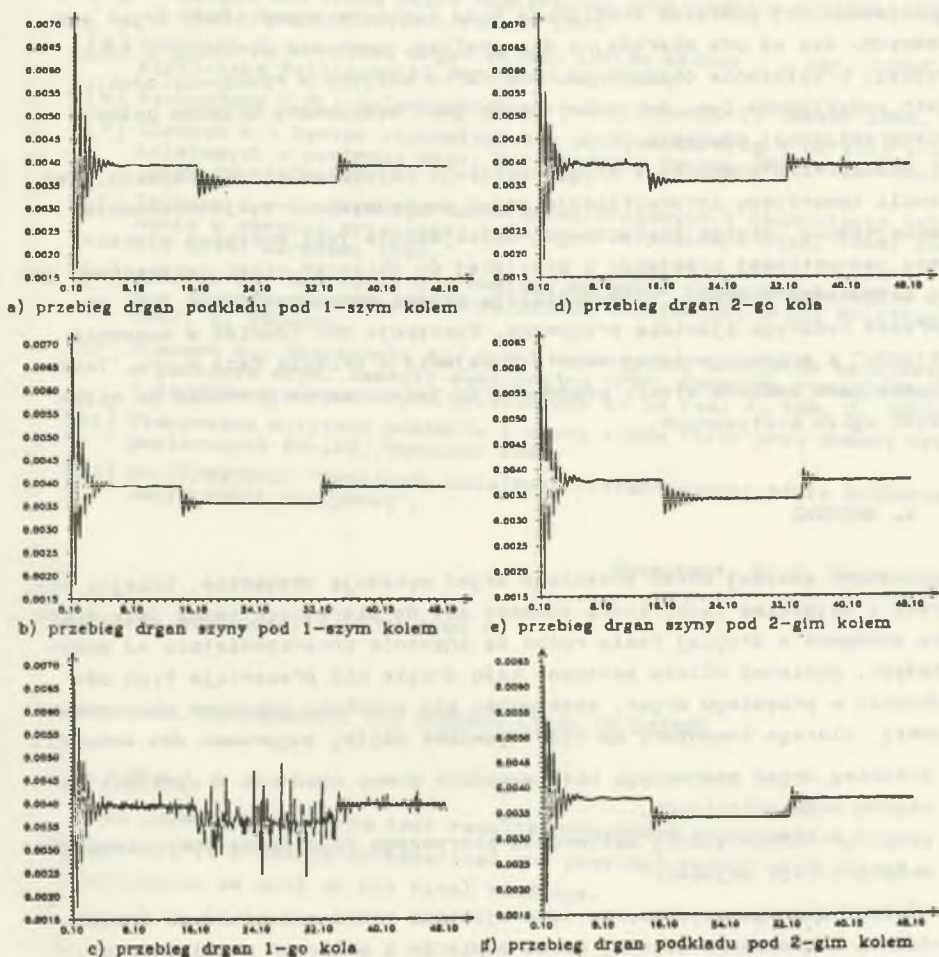
3.1. Przykład obliczeń

Aby zbadać przebieg drgań poszczególnych elementów układu: ruchomy wagon - nawierzchnia - przejazd, wykonano serię przykładów, przyjmując dane do obliczeń zbliżone do wartości rzeczywistych. Zakładając, że precyzyjna ocena wpływu płyt przejazdu na sztywność giętą $E_2 J_2$ jest niemożliwa z uwagi na ich luźny i nieidentyfikowalny kontakt z nawierzchnią, przyjęto szacunkowo, że w stosunku do sztywności giętej szyn następuje wzrost tej sztywności w strefie przejazdu o około 10 procent.

Zbadano przebieg drgań ruchomego punktu styczności koła z szyną oraz odpowiadającego mu także ruchomego punktu, położonego pod nim w stopce szyny nad podkładką, a także niżej pod podkładami. W każdym z przykładów zbadano przebieg drgań wymienionych punktów układu pod pierwszym i drugim kołem zestawu, ilustrując w ten sposób sześć kolejnych wykresów drgań dla każdego z rozpatrywanych przypadków (rys. 2).

Na rysunku 2 zilustrowano wyniki obliczeń wybranego przypadku, dla którego przyjęto następujące dane:

| | |
|--|--------------------------------------|
| 1) długość symulowanego odcinka ruchu | - 50 m |
| 2) długość przejazdu | - 18 m |
| 3) odległość początku przejazdu od początku toru | - 16 m |
| 4) moduł Younga materiału szyny | - $21 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ |
| 5) geometryczny moment bezwładności przekroju szyny | - $1442 \times 10^{-8} \text{ m}^4$ |
| 6) masa jednostkowa szyn | - 84 kg/m |
| 7) masa podkładów na długości 1 m | - 226 kg/m |
| 8) sztywność podkładek podszytowych | - $5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ |
| 9) tłumienie podkładek podszytowych | - $6 \times 10^4 \text{ Ns/m}^2$ |
| 10) moduł Younga przejazdu | - $2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ |
| 11) geometryczny moment bezwładności przekroju przejazdu | - $0,32 \times 10^{-4} \text{ m}^4$ |
| 12) masa 1 mb przejazdu | - 911 kg/m |
| 13) sztywność podtorza | - $22 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ |
| 14) tłumienie podtorza | - $2 \times 10^4 \text{ Ns/m}^2$ |



Rys. 2. Wykresy drgań w obrębie przejazdu
 Fig. 2. Diagrams of vibrations around the level crossing

Przebiegi zilustrowanych na wykresach drgań charakteryzuje podział na trzy, kolejne fazy o kształcie odpowiadającym, zgodnym z intuicją, statycznym ugięciom układu. W ogólnym obrazie tych drgań można odróżnić dwa podstawowe składniki, z których pierwszy, to ugięcia statyczne, drugi zaś, to zanikające drgania swobodne. Ich suma tworzy ogólną postać badanego zjawiska, a trzy kolejne fazy są związane z następującymi po sobie przejazdami; najpierw po elastycznej nawierzchni, później po nieco sztywniejsz-

szym i cięższym przejeździe, a następnie znów po nawierzchni, jak w strefie pierwszej. Pierwsza z faz ruchu rozpoczyna się daleko przed strefą przejazdu. Jej początek znamionują duże zanikające amplitudy drgań swobodnych. Nie są one miarodajne dla analizy, ponieważ wynikają z faktu nagłego przyłożenia obciążenia. Nie ma to miejsca w rzeczywistości, a jest podyktowane tym, że nawierzchnia jest modelowana układem belek o nieograniczonej długości.

Między fazą pierwszą i drugą następuje najazd na próg przejazdu. Tej chwili towarzyszy intensyfikacja drgań swobodnych, przy jednoczesnym zmniejszeniu ugięcia statycznego. Zmniejszenie jest wynikiem większej masy jednostkowej przejazdu i przyjętej do obliczeń nieco zwiększonej jego sztywności giętnej. Intensyfikacja części swobodnej drgań jest tu obrazem badanego zjawiska progowego. Występuje ono również w momencie "zjazdu" z przeszywnionej strefy i wejścia w trzecią fazę ruchu. Towarzyszą temu podobne efekty progowe przy jednoczesnym powrocie do większych ugięć statycznych.

4. WNIOSKI

Opisany powyżej obraz przebiegu drgań wykazują wszystkie, kolejne wykresy z wyjątkiem tych, które odnoszą się do pierwszego koła. Jego drgania swobodne w drugiej fazie ruchu są znacznie intensywniejsze od pozostałych, ponieważ blisko położone koło drugie nie prezentuje tych odrębności w przebiegu drgań, zachowując się podobnie jak inne obserwowane punkty, dlatego komentarz do tego zjawiska mógłby sugerować dwa wnioski:

- przebieg drgań pierwszego koła wykazuje pewną zgodność z wynikami pomiarów doświadczalnych,
- przyczyn kinematycznej aktywności pierwszego koła można doszukiwać się w konstrukcji pojazdu.

Jednoznaczne wyjaśnienie tego zjawiska można oczekiwać po przeprowadzeniu odpowiednio licznej serii pomiarów i obliczeń uwzględniających współzależność ruchu pojazdu z innymi zjawiskami, np. rezonansowymi. Badania takie powinny być kontynuowane.

LITERATURA

- [1] Chudzikiewicz A., Drożdżal J., Kisilowski J., Zochowski A.: Modelowanie i analiza dynamiki układu mechanicznego tor-pojazd. PWN, Warszawa 1982.
- [2] Grassie S.L., Gregory R.W., Johnson K.L.: The behaviour of railway wheelset and track at high frequencies of excitation, Journal Mechanical Engineering Science Vol. 24, No 2, 1982.

- [3] Hadley W.J.: Obtaining the best crossing surface, RTS, No 5, 1980.
- [4] Kowalczyk W.: Próba oceny nawierzchni przejazdów w poziomie szyn, II Konf. Drogi Kolejowe, Poznań 1983.
- [5] Sowiński B.: Analiza drgań układu zestaw kołowy - tor, rozpr. dokt. Biblioteka Politechniki Warszawskiej 1988.
- [6] Sachunjan G.M.: Zeleznodoroznyj put', Transport, Moskwa 1969.
- [7] Zimnoch S.: System technologiczny utrzymania dróg w obrębie przejazdów kolejowych w poziomie szyn. Sprawozdanie roczne CPBP 02.18-06.25, IDiM. PW. 1986-89.
- [8] Zimnoch S.: Konstrukcja nawierzchni drogowych i technologia ich wykonania w obrębie przejazdów kolejowych w poziomie szyn, temat 3166.02/12, CNTK, Warszawa 1989.
- [9] Zimnoch S., Kudrzycka B.: Analiza warunków zastosowania EMC w systemie gromadzenia danych o przejazdach kolejowych. Drogi Kolejowe nr 8, 1987, s. 160-164.
- [10] Zimnoch S., Skarżyński R.: Model teoretyczny przejazdu kolejowego w poziomie szyn, Zeszyty seminaryjne CPBP. Podstawy rozwoju systemów i środków transportowych 02.19.06.25 s. 14 rys. 4, tab. 1, rękopis.
- [11] Tymczasowe wytyczne pomiarów i oceny stanu torów przy pomocy drezyn pomiarowych EM-120, Warszawa 1986.
- [12] BN-77/8939-03 "Przejazdy kolejowe. Prefabrykowane płyty żelbetowe nawierzchni kolejowej".

Recenzent: Prof. Henryk Bałuch

Wpłynęło do Redakcji: 22.01.1990 r.

STRUCTURAL IMPROVEMENTS FOR RAILWAY LEVEL CROSSINGS

С у м м а р у

The paper contains the test results concerning experimental level crossings. It presents mathematical and physical models with examples of calculations as well as the final findings.

У С О В Е Р Ш Е Н С Т В О В А Н И Е К О Н С Т Р У К Ц И И Ж Е Л Е З Н О Д О Р О Ж Н Ы Х П Е Р Е Е З Д О В

Р е з ю м е

В докладе обсуждаются результаты исследований экспериментальных железнодорожных переездов в сети ПКП.

В статье предложены физическая и математическая модели, а также приводятся примеры расчетов и выводы.