

Juliusz Sołkowski¹
Maciej Jamka²

DEFORMACJE NAWIERZCHNI I PODTORZA PRZY OBIEKTACH MOSTOWYCH – BADANIA I DIAGNOSTYKA

Streszczenie

W referacie przedstawiono wyniki badań ugięć dynamicznych szyn oraz przyspieszeń pionowych szyn na pięciu obiektach w obrębie Zakładu Linii Kolejowych w Krakowie. Obiekty różniły się typem nawierzchni (podsypkowe, na mostownicach oraz bezpodsypkowe) a także wielkością przewozów. Pomiary prowadzono w okresie około 18 miesięcy. Wynikiem badań było opracowanie algorytmów dla przewidywania deformacji nawierzchni oraz zmian sztywności dynamicznej nawierzchni. Algorytmy zostały zaimplementowane w programie komputerowym DIAGTOR, służącym do wspomagania diagnostyki drogi kolejowej. Przykłady obliczeń przedstawiono w niniejszym referacie.

Słowa kluczowe: strefa przejściowa, sztywność nawierzchni i podtorza kolejowego, efekt progowy, deformacja nawierzchni, utrzymanie

1. Wstęp

W referacie przedstawiono syntetycznie wyniki około 3-letniego projektu badawczego wykonanego przez Politechnikę Krakowską, reprezentowana przez jednego z autorów referatu oraz firmę NEOSTRAIN sp. z o.o., reprezentowana przez drugiego współautora referatu. Projekt składał się z dwóch faz: badawczej i wdrożeniowej.

W pierwszej z nich przeanalizowano istniejącą literaturę dotyczącą zagadnienia oddziaływań dynamicznych pojazd-droga kolejowa oraz powstawania nierówności geometrycznych toru i osiadania nawierzchni oraz podtorza – przykładowo [2,3,4,5,7,12,16]. Wprowadzono własne algorytmy do wyznaczania sztywności dynamicznej drogi kolejowej oraz przewidywania degradacji geometrycznej [9,10,11].

W części wdrożeniowej wykonano dziesiątki pomiarów oddziaływań dynamicznych pojazd-tor w postaci pomiarów ugięć dynamicznych szyny, przyspieszeń pionowych szyny przy równoczesnym pomiarze prędkości pociągów na sześciu obiektach mostowych o zróżnicowanej konstrukcji i zróżnicowanym obciążeniu rocznym (wielkości przewozów).

W efekcie badań powstał system i program komputerowy DIAGTOR do diagnostyki i prognozowania zmian stanu drogi kolejowej w trakcie eksploatacji.

2. Opis przeprowadzonych badań na odcinkach badawczych

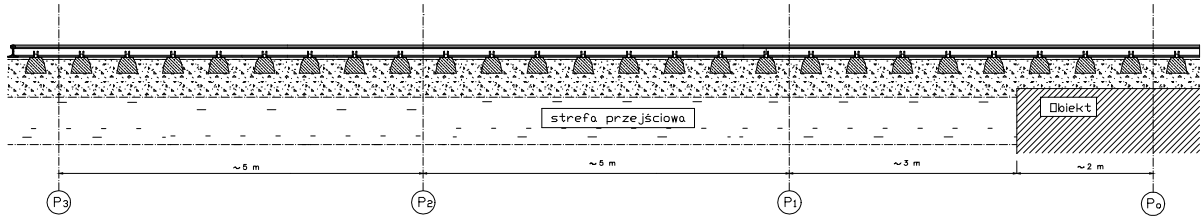
2.1. Lokalizacja odcinków badawczych

Badania ugięć dynamicznych oraz przyspieszeń pionowych szyn w strefach przejściowych przeprowadzono na 6 odcinkach badawczych w okresie od czerwca 2014 r. do grudnia 2015 roku

¹ Dr hab. inż., Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Katedra Infrastruktury Transportu Szynowego i Lotniczego, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel: (012) 628 2157, e-mail: jsolkow@pk.edu.pl, (60%)

² NeoStrain Sp. z o.o. ul. Lipowa 3, Kraków, (40%)

w kilku seriach pomiarowych. Odcinki badawcze zlokalizowano na 3 liniach kolejowych, na linii kolejowej nr 8 Warszawa Zachodnia-Kraków, na linii kolejowej nr 91 Kraków-Medyka, oraz na linii kolejowej nr 100 Mydlniki-Gaj.



Rys. 1 Schemat rozmieszczenia przekrojów pomiarowych

Na każdym z odcinków badawczych założono 4 przekroje pomiarowe według schematu przedstawionego na rysunku nr 1. Punkty, w których prowadzono pomiary ugięć dynamicznych i przyspieszeń (rys. 2) zlokalizowano na obu szynach toru.

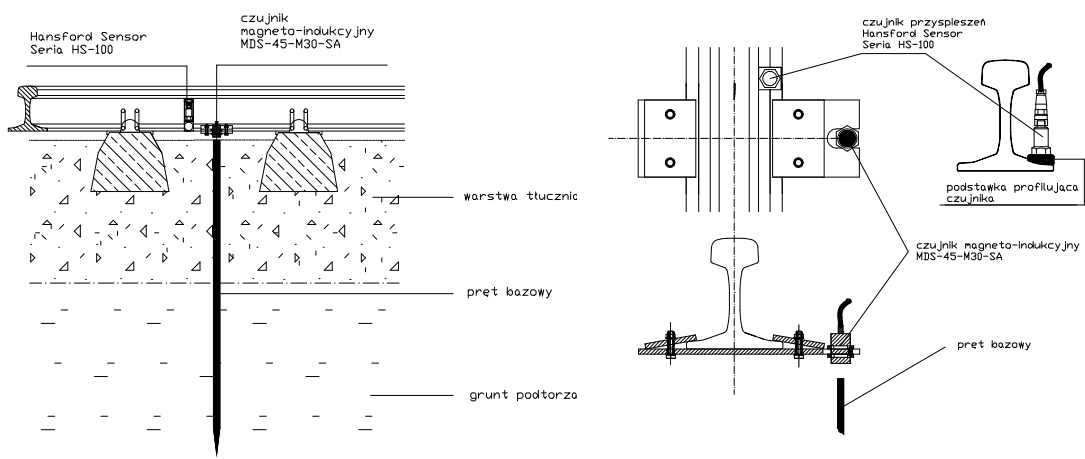
2.2. Oprzyrządowanie pomiarowe odcinków badawczych

Pomiary przemieszczeń pionowych szyny w pierwszych seriach pomiarów, przeprowadzono metodą bezkontaktową czujnikami magneto-indukcyjnymi typu MDS-45-M30-SA.

Zespół pomiaru przemieszczeń pionowych szyn (rys. 2) stanowią:

- uchwyt przyrządu zamocowany do stopki szyny;
- czujnik magneto-indukcyjny MDS-45-M30-SA, zamocowany w uchwycie przyrządu;
- pręt stalowy wbity w podtorze (baza pomiarowa) w okienku pomiędzy podkładami.

Pomiar przyspieszeń pionowych szyny mierzono akcelerometrami HS 100 firmy Hansford Sensors, przykręcanymi do metalowych kostek przyklejonych do stopki szyny (rys. 2).



Rys.2 Zespół pomiaru przemieszczeń pionowych i przyspieszeń szyny



Rys. 3 Pomiar ugięć dynamicznych i przyspieszeń pionowych szyny

Przeprowadzone w pierwszym okresie pomiary, miały za zadanie dopracowanie metodologii pomiaru przyspieszeń dla wykorzystania wyników tych pomiaru do obliczeń amplitudy ugięć pionowych i długości fali ugięcia oraz poszukiwania korelacji pomiędzy wartościami skutecznymi przyspieszeń, a ugięciami szyny, dlatego w prowadzonych badaniach testowano różne typy czujników pod kątem zakresu oraz częstotliwość mierzonych przyspieszeń pionowych szyny.

Testowano również alternatywne metody pomiaru pionowych ugięć szyny obciążonej dynamicznie (pomiary kontaktowe) z wykorzystaniem czujnika potencjometrycznego Burster Typ 8713 oraz pomiaru amplitudy maksymalnego ugięcia dynamicznego szyny przy użyciu linału elektronicznego (rys. 4).

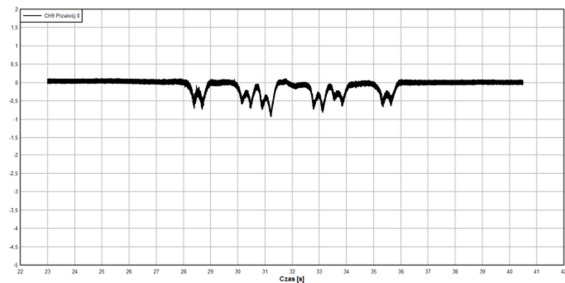


Rys. 4 Pomiary testujące czujniki przyspieszeń oraz czujniki ugięć dynamicznych nawierzchni

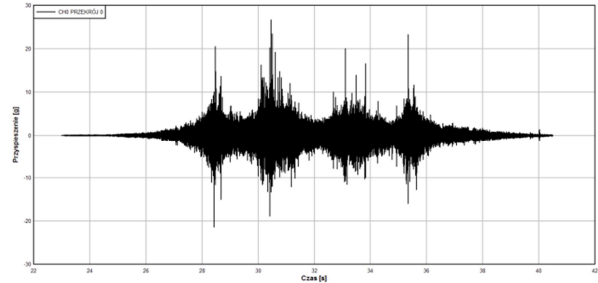
2.3. Wyniki przeprowadzonych badań

Pomiary ugięć dynamicznych oraz przyspieszeń pionowych szyny (rys. 3), prowadzono podczas normalnego ruchu pojazdów szynowych (lokomotywy, pociągów oraz jednostek osobowych oraz pociągów towarowych) prowadzonego z różnymi prędkościami (od 10 km/h do 110 km/h).

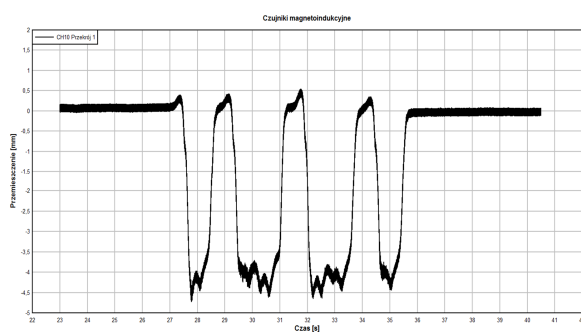
Na kolejnych rysunkach pokazano przebiegi ugięć dynamicznych szyny pomierzone na odcinkach badawczych dla różnych obciążeń dynamicznych.



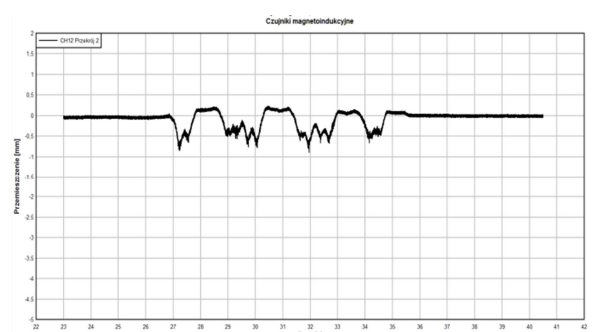
a)



b)



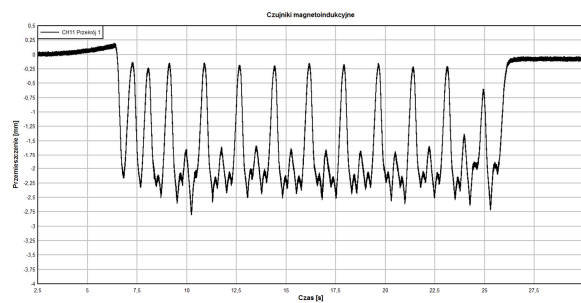
c)



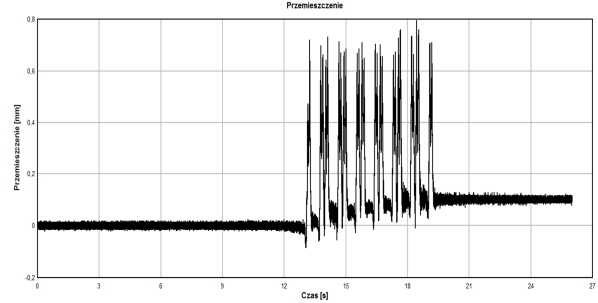
d)

Rys. 5. Nawierzchnia RHEDA2000, przejazd jednostki EN 64 z prędkością 40 km/h:

- a) wykres ugięć w przekroju P_0 , b) wykres przyspieszeń w przekroju P_0 ,
- c) wykres ugięć w przekroju P_1 , d) wykres ugięć w przekroju P_2



a)



b)

Rys. 6. Przejazd pociągu osobowego:

- a) linia nr 91 prędkość pociągu 80 km/h, przekrój P_1
- b) linia kolejowa nr 8 prędkość pociągu (Pendolino) 110 km/h, przekrój P_1

2.4 Metodyka pomiarów dla celów diagnostyki

System diagnozowania stref przejściowych opiera się na pomiarze ugięć dynamicznych szyn z równoczesnym pomiarem prędkości pociągu.

Na podstawie ugięć dynamicznych i prędkości pociągów wyznaczane są oddziaływania dynamiczne koło-szyna oraz naprężenia w nawierzchni (np. pod podkładami), a także określana

jest sztywność dynamiczna nawierzchni i jej podłoża. Na podstawie naprężeń i sił wewnętrznych w nawierzchni wyznaczane są osiadania w wymienionych punktach, nierówności szyn oraz wchrowatość toru – możliwe jest także diagnozowanie powstawania luk pod podkładami.

Znając początkowy stan geometrii toru (np. stan po przeprowadzonym remoncie), można dokonywać oceny jego stanu (diagnostyka odbiorowa), w chwili bieżącej (diagnostyka bieżąca) oraz prognozować zmiany w trakcie dalszej eksploatacji na podstawie formuł empirycznych.

Wykonanie pomiarów ugięć dynamicznych nawierzchni dla celów diagnostycznych przeprowadza się podczas przejazdu pociągu z prędkością rozkładową i sprowadza się do:

- pomiaru ugięcia dynamicznego nawierzchni w dwóch przekrojach normalnych P_0 i P_1 (zob. rys. 1) zlokalizowanych jeden przed, a drugi na obiekcie;
- pomiaru prędkości przejeżdżającego pociągu podczas pomiaru ugięć.

Pomiary te przeprowadza się zestawem pomiarowym (rys. 7) złożonym z czujników przemieszczeń, radarowego miernika prędkości, oprogramowanego tabletu .



Rys. 7 Zestaw pomiarowy do diagnozowania stref przejściowych

Elementem pomiarowym amplitudy ugięcia szyny obciążonej dynamicznie jest liniał elektroniczny na wysięgniku (rys. 8) zamocowanym do stopki szyny i swobodnie oparty końcówką pomiarową o powierzchnię czołową szpilki pomiarowej osadzonej w tłuczniu.



Rys. 8 Liniał elektroniczny do pomiaru ugięć dynamicznych szyny

W celu wykonania pomiarów diagnostycznych związanych z określeniem wielkości ugięć dynamicznych szyn należy:

- a) wyznaczyć przekroje pomiarowe na odcinku strefy przejściowej,
- b) w okienkach przekrojów pomiarowych osadzić w tłuczniu szpilki pomiarowe (wypełniając przestrzeń między ziarnami tłucznia pianką montażową) tak, aby płaska powierzchnia szpilki znajdowała się w osi przekroju w odległości od 10 do 20 cm od stopki szyny i około 5 cm poniżej stopki szyny,
- c) do stopki szyny zamocować wysięgniki z czujnikami pomiarowymi,
- d) końcówki czujników oprzeć o płaską powierzchnię szpilek osadzonych w tłuczniu tak, aby końcówka pionowo ustawionego czujnika była wysunięta na odległość około 10 mm,
- e) przed rozpoczęciem pomiaru włączyć tablet i uruchomić na nim program DIAGTOR oraz wyzerować odczyty na czujnikach pomiarowych.
- f) sesja pomiarowa obejmuje serię kilku pomiarów. Podczas każdego pomiaru, wykonuje się pomiar amplitudy ugięcia dynamicznego szyny w 4 punktach pomiaru oraz pomiar prędkości pojazdu przejeżdżającego przez badaną strefę przejściową.

Pomiar amplitudy ugięcia dynamicznego szyny, realizowany jest elektronicznym miernikiem zamocowanym do stopki szyny, poprzez pomiar wielkości przemieszczenia końcówki pomiarowej miernika od górnej powierzchni szpilki pomiarowej osadzonej w pryzmie tłucznia pomiędzy dwoma sąsiednimi podkładami.

Pomiar prędkości pojazdu przejeżdżającego przez odcinek strefy przejściowej, przeprowadza się przyrządem Yukon Extend RLS-100. Pomiar prędkości pojazdu wykonuje się kierując osł celową na powierzchnię czołową zbliżającego się pociągu lub powierzchnię czołową ostatniego wagonu oddalającego się pociągu.

2. Opis zmian deformacji nawierzchni i podtorza

Stan nawierzchni i podtorza w obrębie obiektu mostowego w danej chwili (okresie) eksploatacji t_0 jest określony jako:

$$S(t_0) = \{K_{naw}(t_0), G_{naw}(t_0), K_{pdt}(t_0), G_{pdt}(t_0)\} \quad (1)$$

gdzie:

K_{naw} - sztywność nawierzchni (statyczna oraz dynamiczna),

G_{naw} - geometria nawierzchni (nierówności pionowe szyn w postaci niecki lub rampy oraz wichrowatość),

K_{pdt} - sztywność podtorza,

G_{pdt} - geometria podtorza (osiadania oraz deformacje poprzeczne).

Obciążenie dynamiczne zależy od stanu parametrów mechanicznych nawierzchni oraz od bieżącego stanu geometrii nawierzchni, gdyż nierówności szyn znacząco wpływają na obciążenie dynamiczne. W danym okresie eksploatacji t_0 jest ono wyrażone jako:

$$P(t_0) = \{S(t_0), Q(t_0), V(t_0)\} \quad (2)$$

gdzie:

$S(t_0)$ - jest określone wzorem (1),

$Q(t_0)$ - statyczne naciski osi taboru,

$V(t_0)$ - jest prędkością eksploatacyjną w danym okresie t_0 .

Ewolucja stanu nawierzchni i podtorza jest definiowana jako:

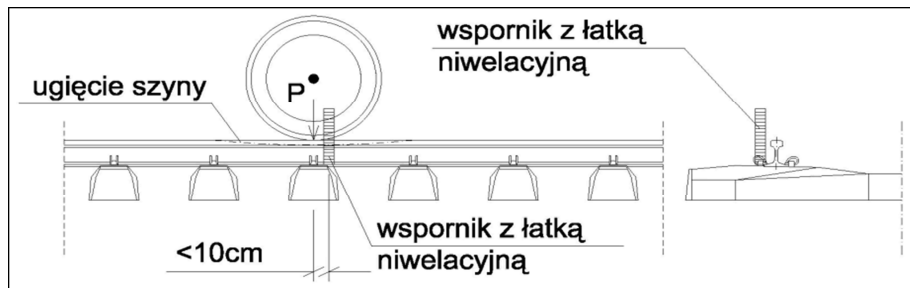
$$E = S(t) \quad (3)$$

oraz obciążenie dynamiczne w danej chwili eksploatacji jest określone jako $P(t)$.

Geometrycznymi miarami degradacji są:

- nierówności szyn w postaci tzw. „niecki” lub „rampy” oraz wichrowatości toru,
- osiadania podtorza.

Pomiar deformacji geometrycznych pod obciążeniem wykonuje się z wykorzystaniem np. niwelacji precyzyjnej. Potrzebne są łatki niwelacyjne zamontowane na stopce szyny – Rys. 9.



Rys. 9 Schemat rozmieszczenia łatek niwelacyjnych na stopce szyny

W wyniku pomiarów uzyskuje się kształt deformacji w strefie przejściowej, na podstawie których oblicza się:

- gradienty nierówności pionowych dla każdej szyny jako:

$$g_{i,i-1}^{lewa} = \frac{|w_i^P \text{ lewa} - w_{i-1}^P \text{ lewa}|}{\Delta_{i,i-1}} [^0/_{00}] \quad \text{oraz} \quad g_{i,i-1}^{prawa} = \frac{|w_i^P \text{ prawa} - w_{i-1}^P \text{ prawa}|}{\Delta_{i,i-1}} [^0/_{00}] \quad (4)$$

przy czym: $w_i^P [mm]$ - wysokość główki szyny pod obciążeniem w przekroju i -tym dla szyny lewej oraz prawej, $w_{i-1}^P [mm]$ - wysokość główki szyny pod obciążeniem w przekroju $i-1$ dla szyny lewej oraz prawej, dla $i = 1, 2, 3, 4$, $\Delta_{i,i-1} [m]$ - odległość pomiędzy punktami.

- wichrowatość toru pod obciążeniem statycznym w przypadku 4 par punktów na bazie 5 m, określoną jako:

$$w_{i,i-1} = \frac{(w_i^P \text{ lewa} - w_i^P \text{ prawa}) - (w_{i-1}^P \text{ lewa} - w_{i-1}^P \text{ prawa})}{b} [^0/_{00}] \quad (5)$$

przy czym:

$i = 1, 2, 3$ oraz

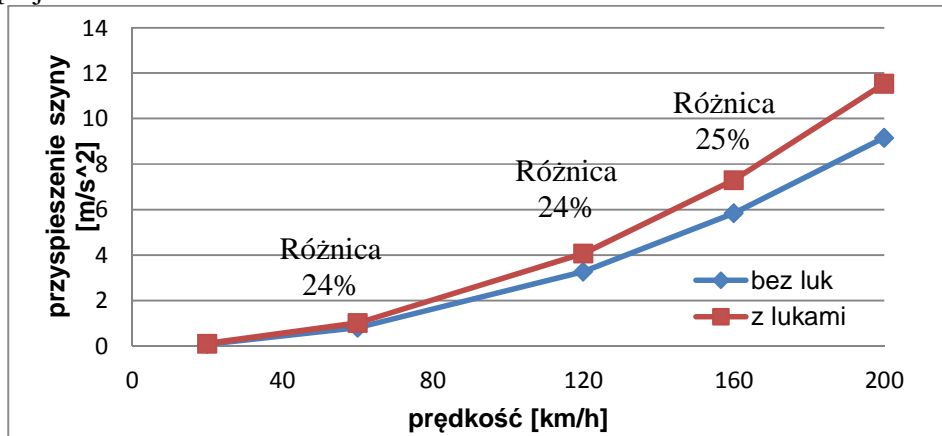
$w_0^P \text{ lewa} [mm]$ - wysokość główki szyny lewej zmierzona pod obciążeniem na obiekcie inżynierskim (względnie na nawierzchni innego typu),

$w_i^P \text{ lewa} [mm]$ - wysokość główki szyny lewej w i -tym przekroju toru,

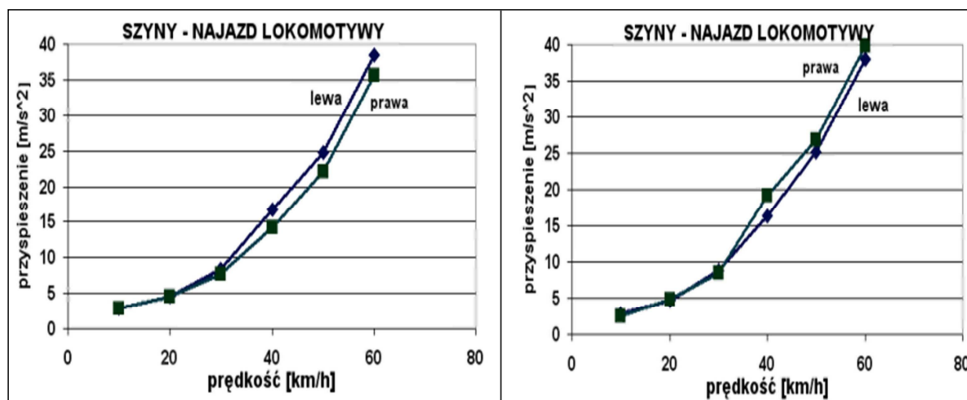
w_0^P [mm] – wysokość główki szyny prawej zmierzona pod obciążeniem na obiekcie inżynierskim (względnie na nawierzchni innego typu),
 w_i^P [mm] – wysokość główki szyny prawej w i -tym przekroju toru,
 b [m] – baza pomiarowa wynosząca 5 m.

W związku z powstaniem nierówności wzrasta obciążenie dynamiczne, które powoduje przyspieszenie tempa osiadania nawierzchni i podtorza. Miarami degradacji nawierzchni pod względem mechanicznym są:

- zmniejszenie sztywności układu nawierzchnia-podtorze – znaczące zmniejszenie sztywności obserwuje się gdy ugięcia pod osiami taboru kolejowego ok. 200kN osiągają wartości większe niż 3.0mm,
- zwiększenie niejednorodności nawierzchni – sztywności (względnie ugięcia dynamiczne) w poszczególnych przekrojach różnią się od siebie o więcej niż 30%,
- wartości skuteczne przyspieszeń w poszczególnych przekrojach różnią się od siebie o więcej niż 20%.



Rys. 10 Obliczone zależności przyspieszeń maksymalnych szyny od prędkości pojazdu. Punkt $x=17m, v=200km/h, c=100 kNs/m/m, U=40MPa, P=3 \times 100kN$



Rys. 11 Zmierzone zależności przyspieszeń skutecznych szyn od prędkości lokomotywy [9]

W fazie badawczej niejednorodności nawierzchni i podtorza brano pod uwagę w czterech przekrojach pomiarowych.

- względne różnice ugięcia maksymalnego (dynamicznego) szyny wzdłuż osi podłużnej toru,
- względne różnice przyspieszeń pionowych szyny (wartości skuteczne przyspieszeń).

W związku z w/w niejednorodnościami pojawiają się lokalnie zwiększone reakcje na podkłady (które wiążą się ze zwiększonymi naprężeniami na podsypkę) oraz zwiększone drgania przekazywane przez podkłady na podsypkę oraz na podtorze w strefie przejściowej.

Zwiększone oddziaływania w danym przekroju poprzecznym spowodują zwiększone osiadania w tym przekroju. Dodatkowe ugięcie szyny, które powstaje w wyniku niejednorodności mechanicznych określone jest dla przekroju położonego w odległości około 2-3 m od miejsca łączenia nawierzchni lub od obiektu mostowego (przykładowo punkt P_1 , pozostałe analogicznie). Ugięcie to będzie określone jako:

$$w_{P_1} = w_{szt} + w_m + w_c + w_{wiezy} \quad (6)$$

gdzie:

w_{szt} - ugięcie dynamiczne szyny w wyniku zmiany sztywności nawierzchni,

w_m - ugięcie dynamiczne szyny w wyniku zmiany masy nawierzchni,

w_c - ugięcie dynamiczne szyny w wyniku zmiany tłumienia nawierzchni,

w_{wiezy} - ugięcie dynamiczne szyny w wyniku zmiany przytwierdzenia szyny do podłoża (np.

zmiana typu przytwierdzenia, zmiana typu podkładów lub zmiana typu nawierzchni na bezpodsypkową).

Przyczyny zwiększonego ugięcia podane powyżej nie będą występowały równocześnie, gdyż każdy obiekt posiada swoją specyfikę. Średnie naprężenie pod podkładem w wyniku ugięcia określonego wzorem (5) jest określone w następujący sposób:

$$p = \frac{U \cdot w_{P_1} \cdot b}{F_{ps}} \quad (7)$$

gdzie:

p - średnie naprężenie pod podkładem, U - współczynnik podłoża szyny w danym punkcie,

b - rozstaw podkładów, F_{ps} - powierzchnia podkładu odpowiadająca naciskowi z jednej szyny.

Ugięcie określone powyżej będzie wykorzystane do obliczenia osiadań w modelu przyjętym w systemie DIAGTOR. Jest on oparty na modelu monachijskim [6] oraz modelu Kassel [8].

W modelu monachijskim przyjęto trzy wartości do oszacowania osiadania podsypki [mm] (S_{opt}

- wariant optymistyczny, S_{pes} - wariant pesymistyczny, S_{sred} - wariant średni):

$$\begin{aligned} S_{opt} &= 1.57 \cdot p \cdot \Delta N + 3.04 \cdot p^{1.21} \ln N \\ S_{pes} &= 2.33 \cdot p \cdot \Delta N + 15.20 \cdot p^{1.21} \ln N \\ S_{sred} &= 1.89 \cdot p \cdot \Delta N + 5.15 \cdot p^{1.21} \ln N \end{aligned} \quad (8)$$

gdzie:

p - naprężenie pod podkładem,

ΔN - liczba osi w pierwszej fazie osiadania,

N - liczba osi przejeżdżająca przez dany odcinek (obliczona na podstawie liczby pociągów, które są monitorowane).

W modelu Kassel przyjęto osiadanie podtorza jako

$$s_N = s_1 + \frac{c \cdot \ln N}{(1 - 0.047 \cdot \ln N)} (\varphi_{dyn} \cdot P)^{0.6} \cdot EI_{naw}^{-0.2} \left(\frac{0.5 \cdot h}{1 + 0.34 \cdot h} \right) \cdot f(D) \quad [\text{mm}] \quad (9)$$

$$s_1 = \frac{\sigma_{pdt} \cdot \varphi_{dyn} \cdot b_p}{E_{v2}} f_s \quad [\text{mm}] \quad (10)$$

gdzie:

s_1 - osiadanie po przejściu pierwszej osi,

c - współczynnik zależny od konstrukcji przejściowej (kształtu klina technicznego),

$N = Q_{brutto} / 20$ - liczba osi, która zależy od obciążenia skumulowanego brutto Q_{brutto} [t] oraz od przyjętego średniego nacisku osi 20 ton,

P - nacisk dynamiczny osi zgodnie z przyjętym współczynnikiem dynamicznym - np. wzór (17),

EI_{naw} - sztywność układu nośnego nawierzchni na zginanie, h - wysokość klina technicznego,

$f(D)$ - funkcja szerokości klina technicznego, dla $D \geq 1$, $f(D) = 1$ [4],

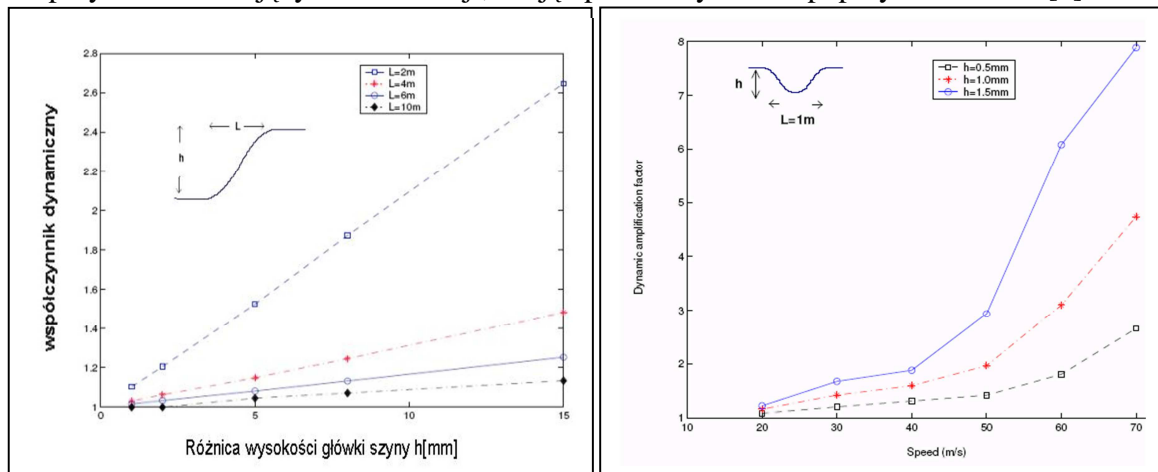
σ_{pdt} - średnie naprężenie na podtorzu, φ_{dyn} - współczynnik dynamiczny,

b_p - szerokość pasa oddziaływania nawierzchni na podtorze,

f_s - współczynnik uwzględniający względne osiadanie nawierzchni i podtorza (w [6] przyjęto

$f_s = 0.57$), E_{v2} - moduł odkształcenia podtorza

Współczynnik dynamiczny (funkcja obciążenia dynamicznego w zależności od prędkości) jest wyznaczony z odpowiedniego nomogramu po wykonaniu obliczeń parametrycznych dla pojazdów występujących na liniach PKP PLK oraz dla różnych wielkości „niecki” oraz „rampy” lub przy braku istniejących deformacji, znając parametry toru –np. przytwierdzenia [1].

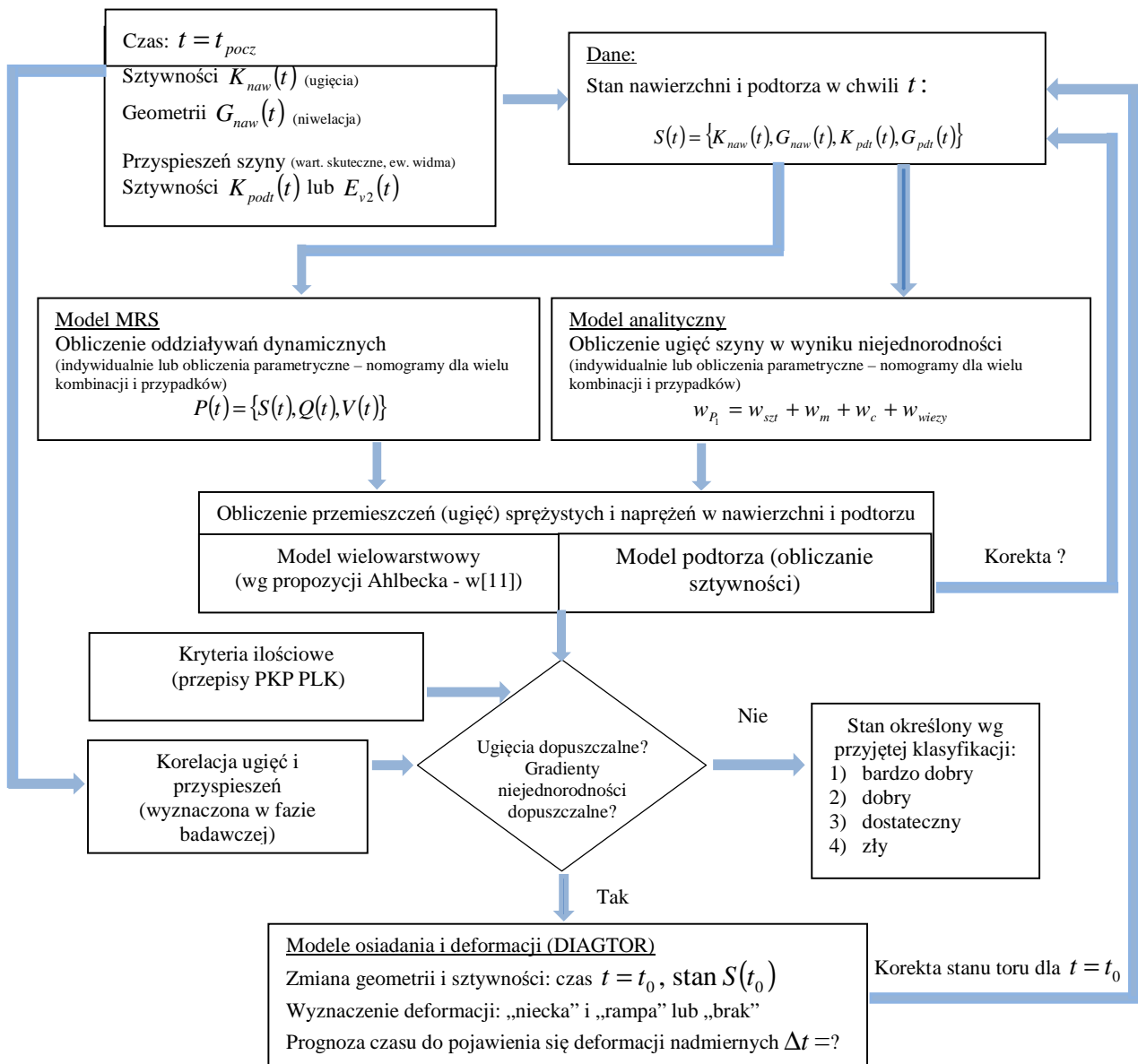


Rys. 12 Przykładowa zależność współczynnika dynamicznego (oznaczonego jako φ_{dyn}) od prędkości pociągu i wielkości nierówności w postaci „rampy” oraz „niecki” [3]

Model degradacji nawierzchni i podtorza składa się z następujących elementów składowych:

- 1) model do obliczeń dynamicznych MRS (w Metodzie Różnic Skończonych), który służy do sporządzenia nomogramów określających współczynnik dynamiczny dla deformacji w postaci „niecki” oraz „rampy” oraz do weryfikacji linii ugięcia oraz przyspieszeń szyny,

- 2) model podtorza do wyznaczania sztywności nawierzchni i podtorza na podstawie danych konstrukcyjnych strefy przejściowej i obiektów mostowych,
- 3) model osiadania w dwóch wersjach: monachijskiej oraz Kassel, podlegają one kalibracji na danym obiekcie (tzn. wyznacza się współczynniki występujące w równaniu osiadania),
- 4) na podstawie wyznaczonego osiadania zgodnie z powyższymi wzorami wyznaczony zostanie nowy kształt deformacji („niecka” i „rampa” lub „brak deformacji”) oraz na podstawie nomogramów obliczony jest nowy współczynnik dynamiczny, który jest ponownie użyty do oszacowania osiadania,
- 5) po wykonaniu w/w punktu znowu zostanie obliczone osiadanie i w ten sposób – w sprzężeniu zwrotnym – wyznaczona zostanie ewolucja stanu toru $E = S(t)$ - Rys. 13.



Rys. 13 Model degradacji nawierzchni i podtorza

Dopuszczalne wartości niejednorodności ustalone są na podstawie:

- obowiązujących przepisów (Rozporządzenie MTiGM, 1998, Dz. U. 151) [14], według których różnica sztywności pomiędzy nawierzchniami łączonymi nie powinna przekraczać 30% (warunek zniesiony w Rozporządzeniu MIR z 2014r. (Dz. U. 867) [15],
- przepisów Id-1 [13],
- dokładnych analiz dynamicznych z wykorzystaniem programu komputerowego, w którym zaimplementowano model MRS,
- z uwzględnieniem procesu osiadania i deformacji,
- z wykorzystaniem danych ugięć i przyspieszeń otrzymanych z pomiarów.

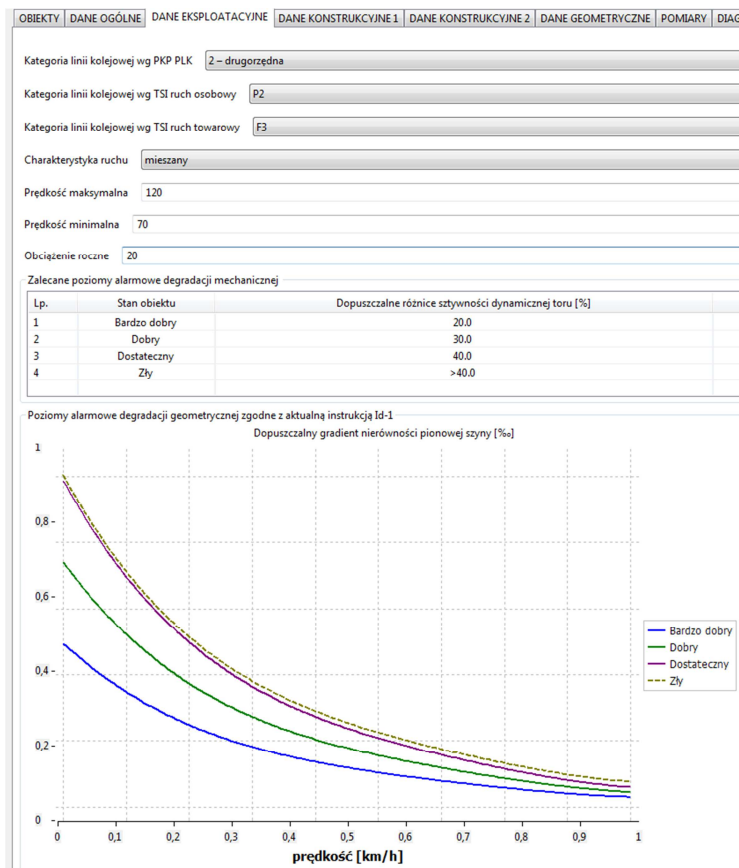
4. Program DIAGTOR i przykłady obliczeń

Program DIAGTOR stanowi jednocześnie bazę danych o obiektach mostowych (zawierającą takie elementy jak nr linii, km, nr toru, typ obiektu, itd.) oraz jest narzędziem do wspomaganie diagnostyki obiektów mostowych i stref przejściowych. Przykładowe zrzuty z ekranu pokazano na Rys.14,15,16,17. Przykłady diagnostyki stanu nawierzchni i podtorza pokazano na Rys.18, natomiast przewidywane deformacje w trakcie eksploatacji (tzn. czas do podjęcia zabiegów utrzymania) pokazano na Rys.19.

The screenshot shows a web-based form with a tabbed interface. The active tab is 'DANE OGÓLNE'. The form contains the following fields and values:

Label	Value
Numer obiektu	Test_20_11_2015
Typ obiektu	wiadukt podsypkowy
Numer linii kolejowej	100
Kilometr (np. 187+264,25)	94+210
Kierunek	jazda po torze właściwym
Numer toru	1
Strona obiektu	najazdowa
Pochylenie niwelety	0
Dostęp do zdalnej bazy pomiarów.	
Identyfikator obiektu	ABC
Nazwa użytkownika	ZLK Kraków
Hasło użytkownika	Obwodowa

Rys.14 Okienko z danymi ogólnymi o obiekcie i strefie przejściowej



Rys.15 Okienko z danymi eksploatacyjnymi oraz z dopuszczalnymi deformacjami geometrycznymi wg Id-1

OBIEKTY | DANE OGÓLNE | DANE EKSPLOATACYJNE | DANE KONSTRUKCYJNE 1 | DANE KONSTRUKCYJNE 2 | D

Nawierzchnia przed obiektem

szyny: 60E1

przytwierdzenia: SB

podkłady: Strunobetonowe PS-93/PS-94

długość podkładu: 2,6

średnia szerokość podkładów: 0,26

rozstaw podkładów: 0,6

grubość warstwy podsypki: 0,3

konstrukcja podtorza: geokraty

wysokość nasypu: 4

moduł odkształcenia podtorza: 120

Uwagi odnośnie stanu nawierzchni:

Rys.16 Okienko z danymi konstrukcyjnymi drogi kolejowej

OBIEKTY | DANE OGÓLNE | DANE EKSPLOATACYJNE | DANE KONSTRUKCYJNE 1 | DANE KONSTRUKCYJNE 2 | DANE GEOMETRYCZNE | Pomiary | DIAGNOSTYKA | PROGNOZA DEGRADACJI | WPROWADZANIE POMIARÓW

Data aktualizacji geometrii/rozpoczęcie pomiaru (np. 2015-01-01) 2015-01-01

Położenie wysokościowe punktów pomiarowych

(Kierunek: jazda po torze właściwym; Numer toru: 1; Strona obiektu: najazdowa)

Punkt P0 0

Punkt L0 0

Punkt P1 0

Punkt L1 0

Baza pomiarowa 5m

Położenie punktów na obiekcie 2m

Typ degradacji

Rys.17 Okienko z danymi geometrycznym w obrębie strefy przejściowej

OBIEKTY | DANE OGÓLNE | DANE EKSPLOATACYJNE | DANE KONSTRUKCYJNE 1 | DANE KONSTRUKCYJNE 2 | DANE GEOMETRYCZNE | Pomiary | DIAGNOSTYKA | PROGNOZA DEGRADACJI | WPROWADZANIE POMIARÓW

Ugięcia dynamiczne stan początkowy

Punkt P0 0,8 mm

Punkt L0 0,8 mm

Punkt P1 1,1 mm

Punkt L1 1,2 mm

Prędkość pociągu 30 km/h

Ugięcia dynamiczne stan bieżący

Punkt P0 1,8 mm

Punkt L0 1,7 mm

Punkt P1 1,6 mm

Punkt L1 1,9 mm

Prędkość pociągu 100 km/h

Rys.18 Okienko z przykładowymi wynikami pomiarów



Rys.19 Okienko z prognozą degradacji geometrycznej (deformacji) oraz degradacji mechanicznej (szywności dynamicznej)

5. Podsumowanie. Wnioski.

W referacie przedstawiono wyniki fazy badawczej i wdrożeniowej systemu wspomaganie diagnostyki obiektów mostowych DIAGTOR, który powstał przy współpracy Politechniki Krakowskiej oraz firmy NeoStrain Sp. z o.o. w Krakowie w okresie ostatnich trzech lat. Jest to z jednej strony baza danych o obiektach mostowych, a z drugiej strony system pomiarowy wraz z oprogramowaniem służący do bieżącej diagnostyki nawierzchni i podtorza oraz do przewidywania prędkości narastania deformacji drogi kolejowej w trakcie eksploatacji.

System i program DIAGTOR może służyć jako narzędzie do oceny jakości robót przy odbiorze wykonanych prac torowych i podtorzowych w związku z budową czy modernizacją linii (przez analogię do obciążeń próbnych mostów). Daje także możliwość przewidywania długości okresów eksploatacji pomiędzy zabiegami utrzymaniowymi. Ponadto może być także wykorzystany do porównywania pracy różnych typów konstrukcji toru i podtorza z punktu widzenia ich trwałości.

System DIAGTOR jest obecnie pionierskim rozwiązaniem w zakresie oceny i przewidywania deformacji drogi kolejowej (nawierzchni, obiektu i podtorza) na rynku polskim i może stać się – w zamierzeniu autorów – istotnym narzędziem dla podniesienia jakości na liniach PKP PLK S.A.

Summary

In the paper the results of research into dynamic rail deflections and rail accelerations under passing trains are presented. The research was carried out on five railway bridges within the precinct of Krakow Railway Management. The objects varied as to their construction (ballasted, ballastless structures) and tonnage borne. The measurements were carried out in the period of 18 months. As a result, special algorithms for predicting the geometrical deformations and the changes in the dynamic stiffness of the railway structure (track, subgrade, bridge) were worked out. These algorithms were implemented in the diagnostic data base DIAGTOR. Some examples of the algorithms and calculations are presented in the paper.

Key words: transition zone, track and subgrade stiffness, transition effect, track and subgrade deformation, maintenance

Literatura

1. Antolik Ł. "Przydatność eksploatacyjna przekładek podszynowych a wymagania norm europejskich" Problemy Kolejnictwa – Zeszyt 152, 2010, 9-19
2. Dietermann H.A., Metrikine A.V. "The equivalent stiffness of a half-space interacting with a beam. Critical velocities of a moving load along the beam" Eur. J. of Mech. A. 15 (1), 1996, 76-90
3. Lei X., Mao L. "Dynamic response analyses of vehicle and track coupled system on track transition of conventional high speed railway", Journal of Sound and Vibration 271, 2004, 1133–1146

4. Frohling R.D. Scheffel H., Ebersohn W. "The vertical dynamic response of a rail vehicle caused by track stiffness variations along the track" *Vehicle System Dynamics Supplement* 25, 1996, 175-187
5. Hunt H.E.M., "Settlement of railway track near bridge abutment" *Proc. Instn Civ. Engrs, Transp.* ,123, 1997, 68-73
6. Jaup A., Kempfert H.-G.: *Setzungen in Hinterfüllungsbereich von Eisenbahnbrückenwiederlagern*. Bautechnik nr 9, 2001, 635-640
7. Popp K. Knothe K., Popper C. "System dynamics and long-term behaviour of railway vehicles, track and subgrade: report on the DFG priority programme in Germany and subsequent research", *Vehicle System Dynamics*, Vo. 43, no. 6-7, 2005, 485-538
8. Shaer Al. A., Duhamel D., Sab K. , Foret G. , Schmitt L." Experimental settlement and dynamic behavior of a portion of ballasted railway track under high speed trans" *Journal of Sound and Vibration* 316, 2008, 211–233
9. Sołkowski J. „Efekt progowy w nawierzchniach szynowych”, Monografia nr 435, Politechnika Krakowska 2013
10. Sołkowski J., Lisowski S., Jamka M., Pawlak A. „Zarys metodyki badania sztywności nawierzchni i podtorza w strefach przejściowych do obiektów inżynierskich i na obiektach”, XI Ogólnopolska Konferencja „Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w kolejnictwie”, Zakopane, 5-7 grudnia 2012
11. Sołkowski J, Kudła D. “Wykonawstwo stref przejściowych do obiektów mostowych i aspekty modelowania numerycznego oddziaływania pojazd-nawierzchnia-podtorze”, Konferencja Drogi Kolejowe 2013, Krynica, 23-25 października 2013
12. Steenbergen M.J.M.M., Metrikine A.V., Esveld C.: "Assessment of design parameters of a slab track railway system from a dynamic viewpoint", *Journal of Sound and Vibration* 306, 2007, 361–371
13. Warunki techniczne utrzymania nawierzchni kolejowej, Id-1, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2010
14. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie, 10 września 1998, Dz. U. Nr 151, poz. 987
15. Rozporządzenie Ministra Transportu i Rozwoju, 5 czerwiec 2014, Dz. U. poz. 867
16. Zhai W.M, True H. “Vehicle-track dynamics on a ramp and on a bridge: simulation and measurement” *Vehicle System Dynamics, Suppl.* 33, 2000, 604-615