

# Pomiary ugięć szyny w zabudowanych torowiskach tramwajowych

**W artykule poruszono problem braku metody oceny nośności nawierzchni tramwajowych. Zaproponowano adaptację pomiaru ugięć podatnych nawierzchni drogowych ugięciomierzem belkowym. Przedstawiono wyniki pomiarów ugięć szyny tramwajowej pod przejeżdżającym taborem przeprowadzone we Wrocławiu na wybranych konstrukcjach zabudowanych torowisk tramwajowych. Określone też zostały dalsze działania niezbędne do opracowania diagnostycznej metody oceny nośności zabudowanych torowisk tramwajowych.**

Jednym z wymagań stawianych konstrukcjom torowisk tramwajowych jest nośność, rozumiana jako zdolność przeniesienia obciążeń od taboru bez powstawania nadmiernych odkształceń.

Dotychczas nie opracowano jednak metody oceny nośności torowisk tramwajowych [1], a co gorsze szukając w przepisach i normach uzasadnienia do przeprowadzania takich badań natrafiamy na rozbieżności:

- w wytycznych z 1983 r. [2] czytamy: „szyna właściwie podłana, podbita lub ułożona ... nie powinna wykazywać ruchów pionowych pod obciążeniem pochodzącym od przejeżdżającego taboru tramwajowego”,
- z kolei w normie branżowej z 1991 r. [3] czytamy: „badanie stalowej nawierzchni toru tramwajowego polega na sprawdzeniu ... płyt i ram żelbetowych przez przeprowadzenie próbnej jazdy wagonem o pełnym obciążeniu i sprawdzeniu nie uzbrojonym okiem lub odpowiednim przyrządem mierniczym, czy nie wykazują ruchów pionowych”,
- natomiast w normie polskiej z 1998 r. [4] czytamy: „nawierzchnię stalową toru sprawdza się ... przeprowadzając próbne jazdy wagonem z pełnym obciążeniem i obserwując nie uzbrojonym okiem lub mierząc odpowiednim przyrządem mierniczym ruch pionowy elementów podbudowy”.

Analizując zmiany dokonujące się w przepisach i normach zauważamy, że zmierzają one w słusznym kierunku, nie doprowadzają jednak do jednoznacznego sprecyzowania sposobu badania nośności nawierzchni tramwajowej, jakim byłoby określenie optymalnych wartości ugięć szyny pod przejeżdżającym taborem oraz ich dopuszczalnego zróżnicowania.

## Metoda oceny nośności nawierzchni drogowej

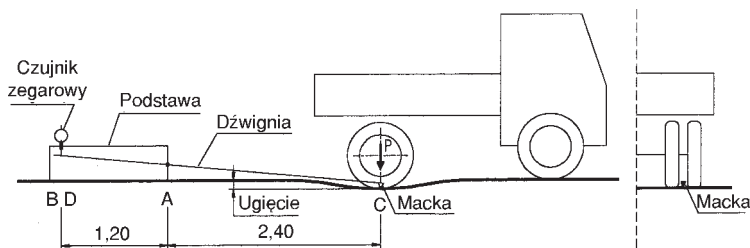
W drogownictwie do oceny nośności nawierzchni podatnych stosuje się metodę pomiaru ugięć nawierzchni za pomocą ugięciomierza belkowego pod statycznym naciskiem samochodowego koła bliźniaczego o wartości 50 kN [5].

Budowę i zasadę działania ugięciomierza przedstawiono na rysunku 1. Pomiar polega na ustawieniu belki za samochodem ciężarowym tak, aby jej macka znalazła się w środku między bliźniaczami kołami samochodu, dokładnie pod tylną oś. Po odnotowaniu odczytu na czujniku zegarowym samochód odjeżdża do przodu. W wyniku odciążenia nawierzchnia podnosi się do góry o wartość ugięcia sprężystego. Po ustaniu podnoszenia się nawierzchni przeprowadza się drugi odczyt na czujniku zegarowym. Wartość ugięcia wylicza się mnożąc przez dwa różnicę odnotowanych odczytów (ramię AC ugięciomierza jest dwa razy dłuższe niż AD). Opisany sposób jest pierwszym – najprostszym wariantem pomiaru, pozwalającym jedynie na określenie wartości ugięcia sprężystego. W wariantcie drugim należy dokonywać odczytów na czujniku podczas odjeżdżania samochodu w równych odstępach, co pozwala dodatkowo na określenie kształtu linii wpływowej ugięcia sprężystego w punkcie pomiaru. Wariant trzeci polega na ustawieniu macki ugięciomierza w punkcie nieobciążonym, wykonaniu odczytu, najjeżdżaniu kołem samochodu w stronę punktu pomiaru z wykonywaniem odczytów w równych odstępach, a po najechaniu kołem na punkt pomiaru i wykonaniu odczytu odjeżdżaniu kołem samochodu poza punkt pomiaru, również z wykonywaniem odczytów w równych odstępach. Wariant ten pozwala na określenie wartości ugięcia sprężystego oraz całkowitego, a także kształtu linii wpływowej obu tych ugięć.

Nośność podatnych nawierzchni drogowych ocenia się porównując ugięcie miarodajne obliczone na podstawie zmierzonych ugięć z wartościami katalogowymi dla danego typu konstrukcji nawierzchni i rodzaju ruchu.

## Adaptacja metody do oceny nośności zabudowanych torowisk tramwajowych – konieczne modyfikacje

W przypadku torowisk tramwajowych zabudowanych konstrukcyjnie istnieje możliwość wykonania pomiarów ugięć



Rys. 1. Pomiar ugięcia nawierzchni drogowej ugięciomierzem belkowym

szyny za odjeżdżającym tramwajem za pomocą ugięciomierza belkowego (fot. 1).

Niezbędne są jednak pewne modyfikacje metody pomiaru:

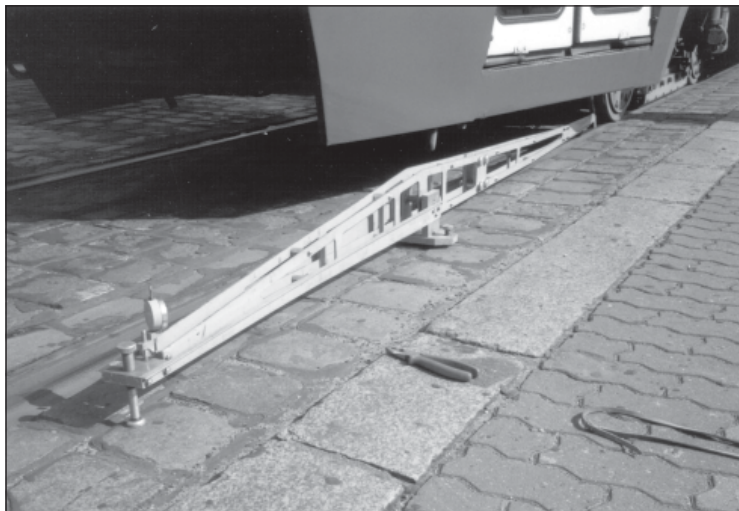
- w przypadku wykorzystania do obciążeń tramwajów kursujących liniowo, zamiast jednego pojazdu o znanym nacisku koła na szynę, konieczne jest notowanie typów oraz napelnień tramwajów;
- ze względu na uzyskanie pewnego oparcia podstawy ugięciomierza należy ustawiać go nie równolegle, lecz lekko ukośnie w stosunku do osi toru tak, aby jego podstawa spoczywała na nawierzchni drogowej z boku szyny;
- mackę ugięciomierza możemy ustawiać na główce szyny jedynie za kołem tramwajowym (rys. 2), w pewnej odległości od osi zestawu kołowego, czyli miejsca największego ugięcia.

W celu uzyskania w pomiarach tej samej wartości odalenia macki od miejsca największego ugięcia korzystne jest stosowanie przy ustawianiu ugięciomierza deski dystansowej.

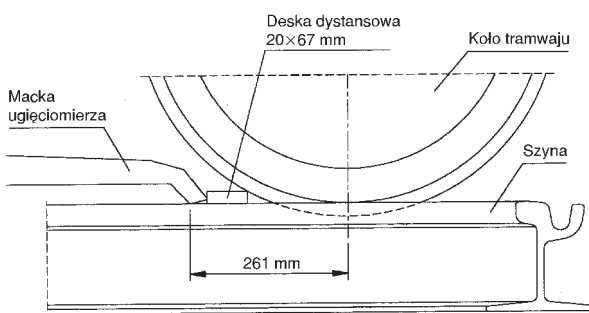
### Opis przeprowadzonych pomiarów

Na podstawie przedstawionych założeń przeprowadzono we Wrocławiu, w dniach 12–23 lipca 2001 r., serię pomiarów ugięć szyn pod przejeżdżającym taborem tramwajowym.

Badania wykonano pod ruchem liniowych tramwajów. W celu zmniejszenia uciążliwości pomiarów wykorzystano



Fot. 1. Pomiar ugięcia szyny tramwajowej ugięciomierzem belkowym



Rys. 2. Ustawianie macki ugięciomierza za kołem tramwaju

postoje tramwajów na przystankach lub przed światłami sygnalizacji świetlnej. Zespół pomiarowy stanowiło dwóch pracowników politechniki, którzy ustawiali ugięciomierz i dokonywali pomiaru, oraz dwóch pracowników Nadzoru Ruchu MPK, z których jeden wskazywał motorniczemu właściwe miejsce zatrzymania pojazdu, informował o pomiarach i dawał znak o możliwości odjazdu, natomiast drugi wstrzymywał ruch następnych tramwajów, jeśli pomiar się jeszcze nie zakończył. W pomiarach zastosowano czujniki zegarowe o zakresie 25 mm i dokładności podziałki 0,01 mm, przy czym odczyty wskazań czujnika wykonywano z dokładnością do „pół kreski”, po to, aby po przeliczeniu uzyskać odczyty ugięć z dokładnością do 0,01 mm.

Pomiarami objęto jedynie nawierzchnie w dobrym stanie tak, aby wyeliminować wpływ niewłaściwej pracy nawierzchni na wyniki ugięć (np. lokalny brak podparcia szyny, zerwane przytwierdzenie, itp.). Pomiar przeprowadzono na czternastu stanowiskach (tabl. 1), dla następujących czterech obecnie najczęściej stosowanych we Wrocławiu typów torowisk zabudowanych, różniących się wiekiem i szczegółami rozwiązań konstrukcyjnych:

- 1) tor węgierski z szyną blokową osadzoną w korycie prefabrykowanej żelbetowej płyty nawierzchni, na asfaltobetonowej podbudowie (rys. 3) – stanowiska 1a, 1b i 1c;
- 2) tor z szyną rowkową na podporach i podbudowie betonowej (rys. 4) – stanowiska 2a do 2f;
- 3) tor z szyną rowkową obudowaną wkładkami gumowymi, również na podbudowie betonowej (rys. 5) – stanowisko 3a;
- 4) tor typu kolejowego z szyną rowkową, na poprzecznych podkładach i podsypce, z zabudową nawierzchni (rys. 6) – stanowiska od 4a do 4d.

Ze względu na różne długości kursujących składów (1×105N, 102N, 2×105N) wzdłuż peronu oznaczono miejsca zatrzymań czoła różnych typów tramwajów tak, aby ich tylne koła zatrzymywały się mniej więcej w tym samym miejscu. Z powodu trudnej do osiągnięcia precyzji w zatrzymywaniu się tramwajów, punkty zmierzonych ugięć wypadły dość nieregularnie. Z jednej strony pokrywanie się punktów dało możliwość kontroli ugięć zmierzonych w tym samym miejscu, z drugiej ich zróżnicowanie położenia na długości pozwalało na ocenę wpływu niejednorodności toru na zmierzone ugięcia.

Ze względu na znaczne zróżnicowanie częstotliwości kursowania tramwajów, w miejscach poszczególnych stanowisk dokonano od 10 do 50 pomiarów.

### Wyniki pomiarów

Opracowanie wyników pomiarów ugięć szyn dla czternastu stanowisk pomiarowych przedstawiono w tablicy 1 oraz graficznie na rysunkach 7 i 8.

Ogólnie najmniej ugiął się tor na podporach, bardziej podatny był tor typu kolejowego, jeszcze bardziej węgierski, a najbardziej z wkładkami gumowymi. Po uśrednieniu wartości ugięć czterech badanych typów torowisk pozostają w stosunku jak 3:1:8:2.

## Wyniki pomiarów ugięć szyn

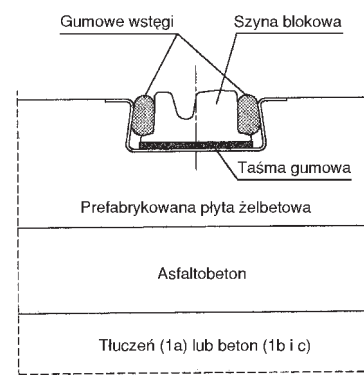
Lp.	Typ toru	Stanowisko pomiarowe	Wiek toru [lata]	Liczba pomiarów	Średnie ugięcie [mm]	Odchylenie standardowe [mm]	Współczynnik zmienności
1	węgierski	1a – pl. Bema	7	47	0,43	0,108	0,251
2		1b – pl. Wróblewskiego	5	10	0,44	0,117	0,266
3		1c – ul. Piaskowa	1	22	0,47	0,074	0,157
4	na podporach	2a – Świdnicka/Piłsudskiego	5	22	0,12	0,044	0,367
5		2b – Podwale/Świdnicka	4	22	0,19	0,055	0,289
6		2c – Dubois/Pomorska	3	22	0,15	0,024	0,160
7		2d – Piłsudskiego/Świdnicka	2	25	0,10	0,020	0,200
8		2e – Grabiszyńska/Pereca	1	22	0,17	0,059	0,347
9		2f – Legnicka/Wejherowska	1	25	0,11	0,047	0,427
10	z wkładkami gumowymi	3a – Karkonoska	2	12	1,08	0,054	0,050
11	kolejowy	4a – Hallera/Mielecka	2	10	0,33	0,079	0,239
12		4b – Ślężna/Wiśniowa	2	12	0,20	0,045	0,225
13		4c – Powstańców Śl./Jaworowa	2	15	0,26	0,030	0,115
14		4d – Grabiszyńska/Zaporoska	1	20	0,17	0,033	0,194

Pomiary ugięć toru węgierskiego przeprowadzone na trzech stanowiskach, konstrukcyjnie zgodnych, a różniących się jedynie wiekiem, dały bardzo zbliżone wyniki. Inaczej było w przypadku toru na podporach, przebadanego aż na sześciu stanowiskach, różniących się nie tylko wiekiem, ale i drobnymi szczegółami konstrukcyjnymi. Rozwiązania z podporą epoksydobetonową i elastomerową przekładką (2a i 2f) wykazały zgodność ugięć, w przeciwieństwie do rozwiązań tylko z elastomerową przekładką (2b i 2d). Rozwiązanie z przekładką polietylenową (2c) i podlewem poliuretanowym (2e) uzyskały pośrednie wartości ugięć. Wiek torów tej grupy wydawał się nie mieć wpływu na wartości ugięć. W grupie torów typu kolejowego różnica wieku była nieznaczna. Konstrukcyjnie odmienny był jedynie tor z podkładami drewnianymi i elastomerowymi przekładkami (4a) i uzyskał on największe ugięcie w tej grupie. Trzy pozostałe, konstrukcyjnie podobne (4b, c i d) z podkładami strunobetonowymi i polietylenowymi przekładkami dały mniejsze wartości ugięć, ale za to dość rozbieżne.

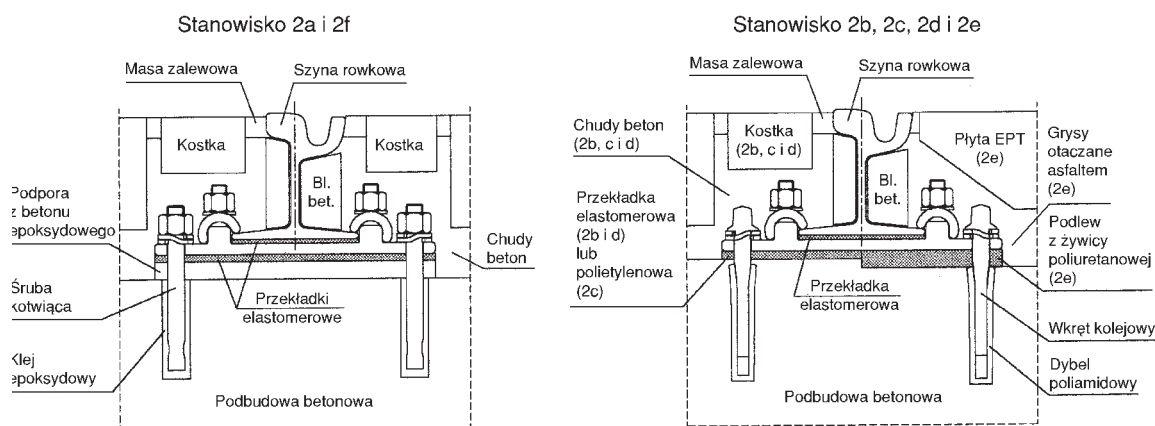
W celu względnej oceny rozrzutu wartości ugięć szyn, dla każdego stanowiska pomiarowego obliczono współczynniki zmienności, będące ilorazem odchylenia standardowego i wartości średniej pomiarów ugięć.

Ogólnie najbardziej zbliżone wartości ugięć wystąpiły w torze z wkładkami gumowymi, znacznie bardziej rozbieżne w pozostałych – kolejno: typu kolejowego, węgierskiego i na podporach. Po uśrednieniu wartości współczynników zmienności pomiarów ugięć czterech badanych typów torowisk pozostają w stosunku jak 4,5:6:1:4.

Dla stanowisk pomiarowych przeprowadzono również analizę zróżnicowania wartości zmierzonych ugięć na długości toru. Przy-



Rys. 3. Tor węgierski



Rys. 4. Tor na podporach

kład takiego zróżnicowania dla toru węgierskiego (1a) przedstawiono na rysunku 9.

Zróżnicowanie to było spowodowane co najmniej trzema przyczynami:

- 1) błędami pomiaru,
- 2) niejednorodnością toru,
- 3) zróżnicowaniem wartości nacisku koła na szynę.

Błędy pomiaru ugięć w przypadku badań nawierzchni drogowych w warunkach polowych określa się na poziomie 0,05 mm [6].

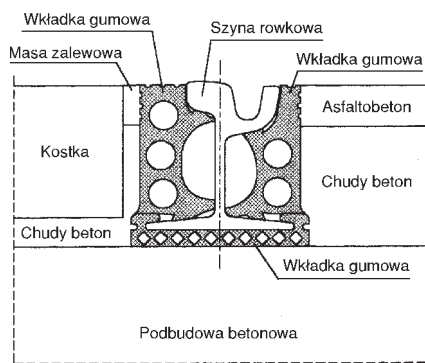
Niejednorodność toru może być dwójaka:

- 1) zamierzona, konstrukcyjna (granice płyt nawierzchni, podparcie punktowe);
- 2) niezamierzona, technologiczna (różny stopień zagęszczenia podsypki, niejednorodność podłoża, warstw podbudów, wibroizolacyjnych elementów podparć).

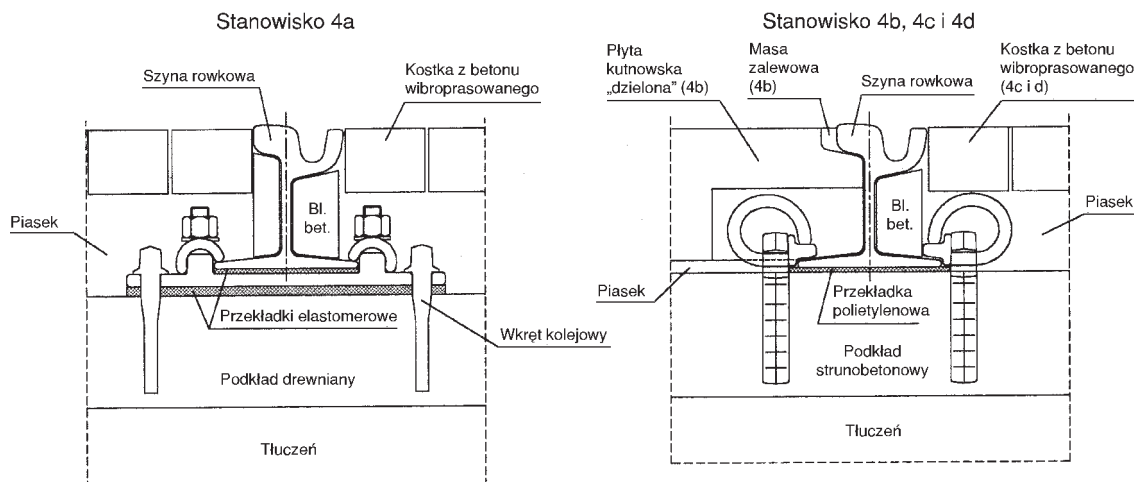
Pomiary wykonywane były bez odkrywek. Tylko w niektórych przypadkach możliwe było uzyskanie informacji o niejednorodności konstrukcyjnej toru:

- 1a, b i c (tor węgierski), granice płyt nawierzchni torowiska;
- 4b (tor typu kolejowego zabudowany płytami kutnowskimi „dzielonymi”), komory na sprężynie SB3 w płytach wyznaczały położenie podkładów;
- 4d (tor typu kolejowego niezabudowany na międzytorzu), po odsypaniu podsypki rozpoznano położenie podkładów.

W pozostałych przypadkach torów konstrukcyjnie niejednorodnych (od 2a do 2f, 4a i 4c) znany był jedynie takt niejednorodności (rozstaw podpór lub podkładów). Niestety zarówno w przypadku niejednorodności konstrukcyjnej toru o znanej lokalizacji, jak i tylko o znanym takcie nie wystąpiła zauważalna zależność wartości ugięć od tych niejednorodności.



Rys. 5. Tor z wkładkami gumowymi



Rys. 6. Tor typu kolejowego

Pomiary wykonano w okresie wakacyjnym, przy niewielkim napełnieniu taboru. Przyjmując średnią masę pasażera 70 kg oraz masy wagonów tramwajowych podawane przez producenta obliczono naciski koła na szynę towarzyszące każdemu pomiarowi. Mimo dwu różnych typów wagonów i różnych napełnień, obliczone naciski cechuje małe zróżnicowanie (dla poszczególnych stanowisk pomiarowych odchylenia standardowe stanowią tylko od 1 do 5% wartości średnich nacisków koła na szynę występujących podczas pomiarów). Dla każdego stanowiska pomiarowego obliczone naciski porównano z odpowiadającymi im ugięciami. Stwierdzono zauważalną zależność obu porównywanych wielkości. Należy jednak zaznaczyć, że obliczone naciski mogą odbiegać od rzeczywistych, gdyż masa tramwajów poddawanych przez wiele lat modernizacjom może różnić się od określonej przez producenta.

### Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzona została techniczna możliwość wykonywania pomiarów ugięć szyny pod przejeżdżającym taborem za pomocą drogowego ugięciomierza belkowego. Badania takie można przeprowadzać dla eksploatowanych torowisk tramwajowych, jak i nowo zbudowanych lub wyremontowanych – w trakcie odbioru powykonawczego (jazdy próbne wagonem tramwajowym).

Ujawnione zostały zalety pomiaru tego typu:

- metoda jest nie niszcząca (bez naruszania konstrukcji torowiska),
- powoduje minimalne utrudnienie w ruchu tramwajowym.

Analizując wartości ugięć uzyskane z pomiarów, zaskakujące są zdecydowanie zbyt małe ugięcia torów na podporach, biorąc pod uwagę fakt, że jako elementy wibroizolacyjne w podporach zastosowano materiały o parametrach sprężystych zbliżonych do stosowanych w torze węgierskim lub z wkładkami gumowymi. Przyczyn takiego stanu rzeczy należy upatrywać w zastosowaniu zbyt twardych mas podlewowych na odcinkach między podporami, co powoduje, że tor tego typu pracuje w sposób niewłaściwy. Masy podlewowe, które miały pełnić jedynie rolę wypełniacza stają się tak naprawdę podporą przekazującą obciążenia na betono-

wą podbudowę, co może powodować ich szybką degradację. Tor taki nie daje efektu tłumienia drań, jaki powinny zapewnić materiały wibroizolacyjne zastosowane w podporach. Zniszczenie mas podlewowych może spowodować dalszą degradację następných elementów składowych konstrukcji toru. Z opisanych powodów tor tego typu nie będzie brany pod uwagę w dalszych analizach.

Wartości ugięć uzyskane z pomiarów trzech pozostałych typów torów uznano za zadowalające. Stanowią one będą punkt wyjścia do dalszych badań mających na celu opracowanie metody oceny nośności zabudowanych torowisk tramwajowych. Badania zmierzają być w kierunku określenia dla danego typu konstrukcji toru:

- optymalnych wartości ugięć szyny pod statycznym naciskiem koła tramwajowego,

- dopuszczalnego zróżnicowania wartości tych ugięć.

Planuje się w dalszej kolejności przeprowadzenie:

- laboratoryjnych badań parametrów sprężystych materiałów wibroizolacyjnych stosowanych w torowiskach,

- analiz teoretycznych pracy torowisk tramwajowych w ujęciu klasycznym (teoria nawierzchni kolejowej według Winklera-Zimmermanna) oraz metody elementów skończonych (z wykorzystaniem technik komputerowych).

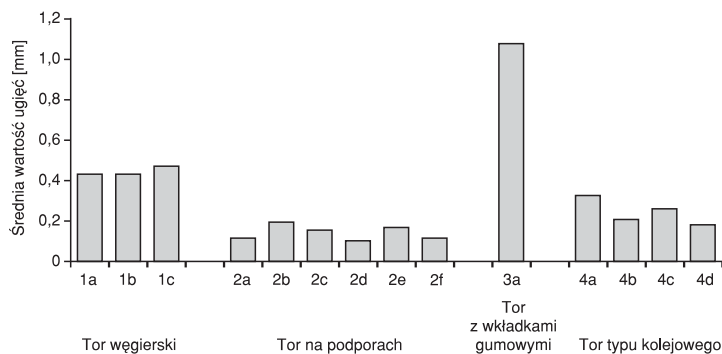
Jako uzupełnienie badań terenowych wykonane zostaną pomiary ugięć szyny pod przejeżdżającym taborem, ale według drugiego wariantu (kilkukrotny odczyt wartości ugięcia za odjeżdżającym tramwajem w pewnych odstępach) w celu określenia kształtu linii wpływu ugięcia.

Na koniec pragnę podkreślić, iż zaproponowana metoda nie służy do określenia maksymalnych ugięć, jakim mogą ulegać szyny w torowiskach tramwajowych podczas eksploatacji, gdyż po pierwsze pomiar jest wykonywany w pewnej odległości za osi zestawu kołowego (miejscem największego ugięcia), a po drugie zagadnienie ugięć szyny jest rozpatrywane jedynie w ujęciu statycznym. Metoda ma natomiast stanowić narzędzie diagnostyczne służące do oceny stanu technicznego toru eksploatowanego albo jakości robót budowlanych torów nowych lub remontowanych.

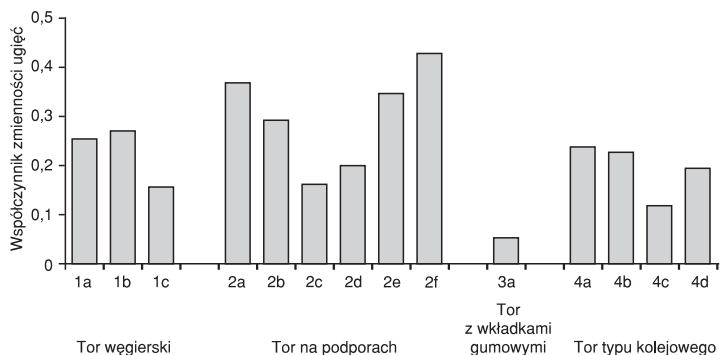
#### Literatura

- [1] Krużyński M., Piotrowski A., Makuch J.: *Problemy infrastruktury drogowej transportu tramwajowego*. XLVI Konferencja Naukowa, Krynica 2000.
- [2] *Wytyczne techniczne projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych – MAGTiOŚ*, Warszawa 1983.
- [3] BN-91/8938-01 *Torowiska tramwajowe. Wymagania i badania techniczne przy odbiorze*.
- [4] PN-K-92011: 1998 *Torowiska tramwajowe. Wymagania i badania*.
- [5] BN-70/8931-06 *Drogi samochodowe. Pomiar ugięć nawierzchni podatnych ugięciomierzem belkowym*.
- [6] Rolla S.: *Badania materiałów i nawierzchni drogowych*. WKŁ, Warszawa 1985.

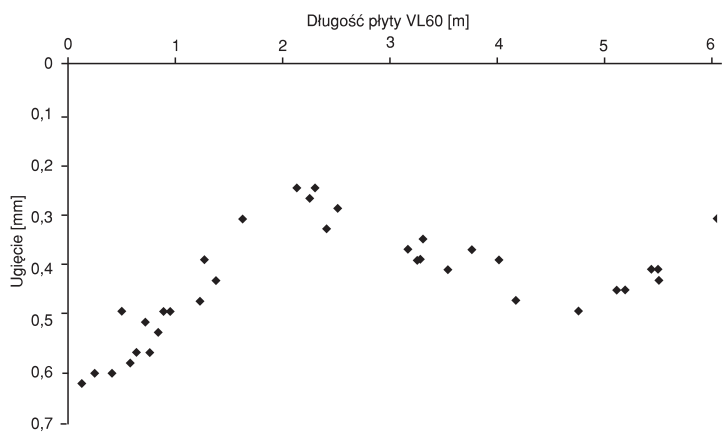
Autor  
Jacek Makuch  
Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej



Rys. 7. Średnie wartości ugięć szyny pod przejeżdżającym taborem



Rys. 8. Współczynniki zmienności pomiarów ugięć szyny pod przejeżdżającym taborem



Rys. 9. Zróżnicowanie wartości zmierzonych ugięć na długości toru dla stanowiska 1a

Artykuł został przedstawiony na XI Konferencji Naukowo-Technicznej „Drogi Kolejowe 2001” we Wrocławiu w listopadzie 2001 r. Zamieszczony tekst jest wersją uzupełnioną o uwagi zgłoszone w trakcie dyskusji po wygłoszeniu referatu.

Autor artykułu składa podziękowanie dyrekcji i pracownikom MPK Wrocław za pomoc w realizacji badań.