

Jacek Makuch

Instytut Inżynierii Lądowej  
Politechnika Wrocławska

## POMIARY UGIĘĆ SZYNY W ZABUDOWANYCH TOROWISKACH TRAMWAJOWYCH

### Streszczenie

*W referacie 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 taborom przeprowadzone we Wrocławiu na wybranych konstrukcjach zabudowanych torowisk tramwajowych. Określono dalsze działania niezbędne do opracowania diagnostycznej metody oceny nośności zabudowanych torowisk tramwajowych.*

### 1. Geneza problemu

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

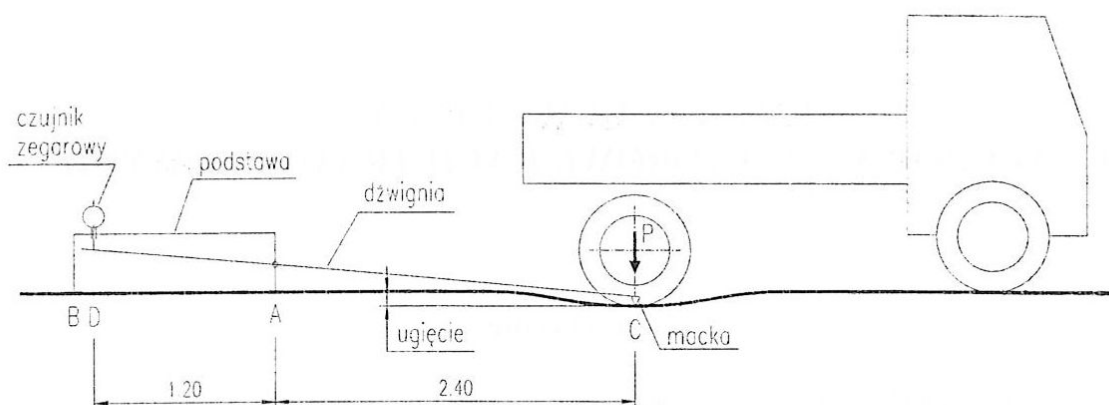
Dotychczas nie opracowano jednak metody oceny nośności torowisk tramwajowych [1]. Co gorsze, szukając podstaw prawnych uzasadniających przeprowadzanie pomiaru nośności nawierzchni tramwajowej natrafiamy na rozbieżności w przepisach dotyczących projektowania i budowy torów tramwajowych:

- w przepisach z roku 1983 [2] czytamy: „szyna właściwie podlana, podbita lub ułożona na przekładce elastycznej z gumy lub z bali dębowych nie powinna wykazywać ruchów pionowych pod obciążeniem pochodzącym od przejeżdżającego taboru tramwajowego”,
- w normie branżowej z roku 1991 [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”,
- w normie polskiej z roku 1998 [4] czytamy: „nawierzchnię stalową toru sprawdza się ... kontrolując podbicie elementów podbudowy torów wykonanych z podkładów, płyt lub ram betonowych 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 taborom oraz ich dopuszczalnego zróżnicowania.

## 2. 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 [5] o wartości 50 kN.



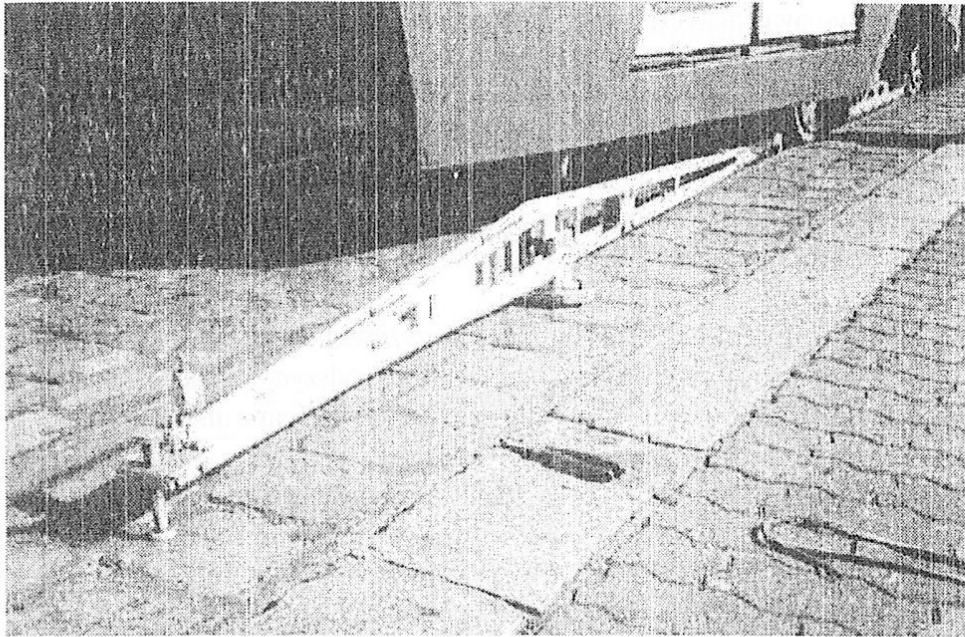
Rys.1 Pomiar ugięcia nawierzchni drogowej ugięciomierzem belkowym

Budowę i zasadę działania ugięciomierza przedstawiono na rys.1. Pomiar polega na ustawieniu belki za samochodem ciężarowym, tak aby jej macka znalazła się w środku między bliźniaczymi kołami samochodu, dokładnie pod tylną osią. 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, najeżdżaniu 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.

## 3. Adaptacja metody do oceny nośności zabudowanych torowisk tramwajowych - konieczne modyfikacje

W przypadku torowisk tramwajowych zabudowanych konstrukcyjnie istnieje możliwość wykonania pomiarów ugięć szyny za odjeżdżającym tramwajem przy pomocy ugięciomierza belkowego (rys.2).



Rys. 2 Pomiar ugięcia szyny tramwajowej ugięciomierzem belkowym

Niezbędne są jednak pewne modyfikacje metody pomiaru. Mackę belki ugięciomierza ustawiamy na szynie. Mamy do wyboru dwie możliwości:

- ustawienie macki na obrzeżu szyny rowkowej – możemy ją umieścić dokładnie pod osią zestawu kołowego, ale ze względu na trudny dostęp i niewielką szerokość obrzeża jest to zadanie dość kłopotliwe,
- ustawienie macki na główce szyny – zadanie jest łatwe w wykonaniu, ale macka znajduje się wtedy w pewnej odległości za osią zestawu kołowego czyli miejscem największego ugięcia.

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.

W przypadku wykorzystywania do obciążeń w pomiarach tramwajów kursujących liniowo zamiast jednego pojazdu o znanym nacisku na oś, konieczne jest notowanie typów oraz nappełnień tramwajów.

#### **4. Opis przeprowadzonych pomiarów**

W oparciu o przedstawione w poprzednim punkcie założenia przeprowadzono serię pomiarów ugięć szyn pod przejeżdżającym taborem tramwajowym w dniach od 12 do 23 lipca 2001 roku, na wybranych odcinkach zabudowanych torowisk tramwajowych we Wrocławiu. Badania prowadzono pod ruchem liniowych tramwajów. W celu zmniejszenia uciążliwości wykonywanych pomiarów wykorzystano 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.

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.). Pomiary przeprowadzono na czternastu stanowiskach pomiarowych dla następujących czterech

najpopularniejszych typów nawierzchni torowisk stosowanych obecnie we Wrocławiu, różniących się wiekiem i szczegółami rozwiązań konstrukcyjnych (rys.3):

1. Tor węgierski

- a) pl. Bema – przystanek od strony pl. Kromera, rok budowy 1994,
- b) pl. Wróblewskiego – przystanek w stronę pl. Dominikańskiego, rok budowy 1996,
- c) ul. Piaskowa – przystanek przed Halą Targową w stronę pl. Bema, rok budowy 1999.

2. Tor na podporach wibroizolacyjnych i ławie betonowej (z podlewem szyny masą bitumiczną poza podporami)

- a) ul. Świdnicka – przystanek od strony Krzyków przed skrzyżowaniem z ul. Piłsudskiego, rok budowy 1996 (epoksydobetonowe podpory, elastomerowe przekładki podszynowa i pod podkładką żebrową),
- b) ul. Podwale – przystanek od strony ul. Sądowej przed skrzyżowaniem z ul. Świdnicką, rok budowy 1997 (elastomerowe przekładki podszynowa i pod podkładką żebrową),
- c) ul. Dubois – przystanek od strony ul. Jagielly przed skrzyżowaniem z ul. Pomorską, rok budowy 1998 (elastomerowa przekładka podszynowa, polietylenowa przekładka pod podkładką żebrową),
- d) ul. Piłsudskiego – przystanek od strony Dworca Gł. przed skrzyżowaniem z ul. Świdnicką, rok budowy 1999 (elastomerowe przekładki podszynowa i pod podkładką żebrową),
- e) ul. Grabiszyńska – przystanek od strony Oporowa przed pl. Pereca, rok budowy 2000 (elastomerowa przekładka podszynowa, podlew poliuretanowy pod podkładką żebrową),
- f) ul. Legnicka – przystanek od strony Pilzyc przed skrzyżowaniem z ul. Wejherowską, rok budowy 2000 (epoksydobetonowe podpory, elastomerowe przekładki podszynowa i pod podkładką żebrową).

3. Tor z szyną rowkową obudowaną wkładkami gumowymi na ławie betonowej

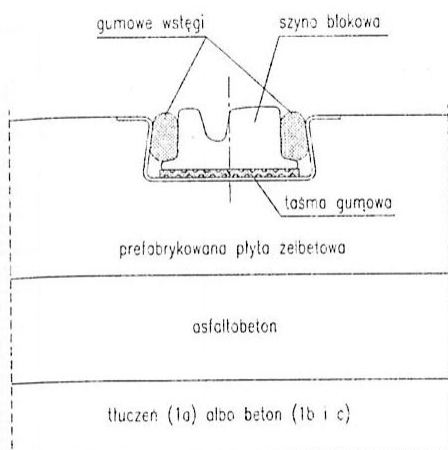
- a) ul. Karkonoska – odcinek pomiędzy ul. Wiosenną i Letnią, rok budowy 1999.

4. Tor typu kolejowego (poprzeczne podkłady i podsypka) z zabudową nawierzchni

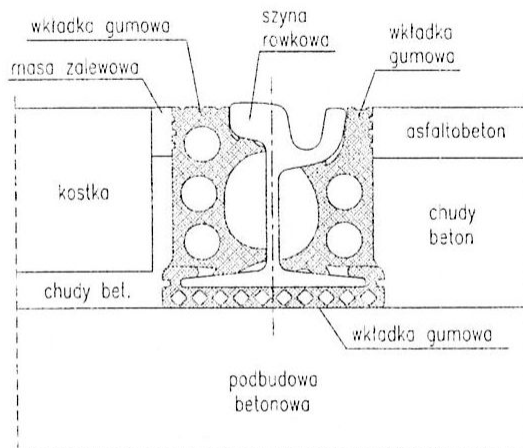
- a) ul. Hallera – przystanek od strony ul. Grabiszyńskiej przed skrzyżowaniem z ul. Mielecką, rok budowy 1999 (podkłady drewniane, przytwierdzenie typu K, elastomerowa przekładka pod podkładką żebrową, zabudowa kostką z betonu wibroprasowanego),
- b) ul. Ślężna – przystanek od strony centrum, przed skrzyżowaniem z ul. Wiśniową, rok budowy 1999 (podkłady strunobetonowe, przytwierdzenie SB-3, polietylenowa przekładka podszynowa, zabudowa płytami kutnowskimi „dzielonymi”),
- c) ul. Powstańców Śl. – przystanek od strony Krzyków przed skrzyżowaniem z Al. Jaworową, rok budowy 1999 (podkłady strunobetonowe, przytwierdzenie SB-3, polietylenowa przekładka podszynowa, zabudowa kostką z betonu wibroprasowanego),
- d) ul. Grabiszyńska – przystanek od strony centrum, przed skrzyżowaniem z ul. Zaproską, rok budowy 2000 (podkłady strunobetonowe, przytwierdzenie SB-3, polietylenowa przekładka podszynowa, zabudowa kostką z betonu wibroprasowanego).

Podczas pierwszych próbnych pomiarów ustawiano mackę ugięciomierza na obrzeżu szyny (w osi zestawu kołowego), jednak z powodu znacznej uciążliwości tak dokonywanego pomiaru zdecydowano się na ustawianie macki na główce szyny za kołem tramwaju. Ze względu na fakt, że niektóre tramwaje przy ruszaniu najpierw minimalnie cofały się do tyłu, konieczne było ustawienie macki w pewnej odległości za kołem. Przygotowano pomocniczą deskę dystansową o przekroju prostokąta (20 x 67 mm) pozwalającą ustawiać mackę ugięciomierza zawsze w tej samej odległości za osią zestawu kołowego (rys.4).

### Tor węgierski (1a, 1b i 1c)

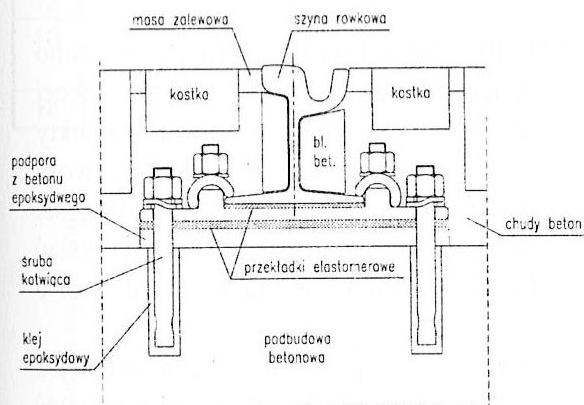


### Tor z wkładkami gumowymi (3a)

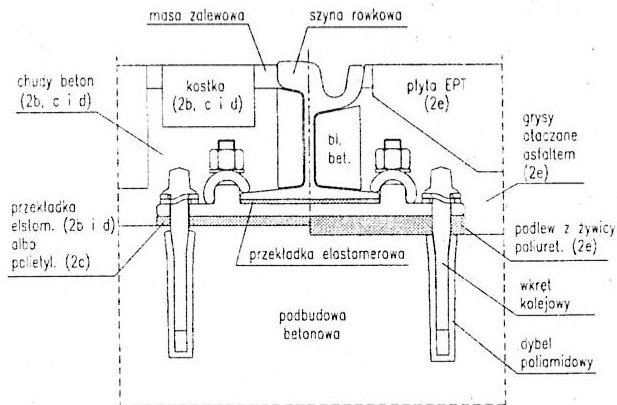


### Tor na podporach wibroizolacyjnych

(2b, 2c, 2d i 2e)

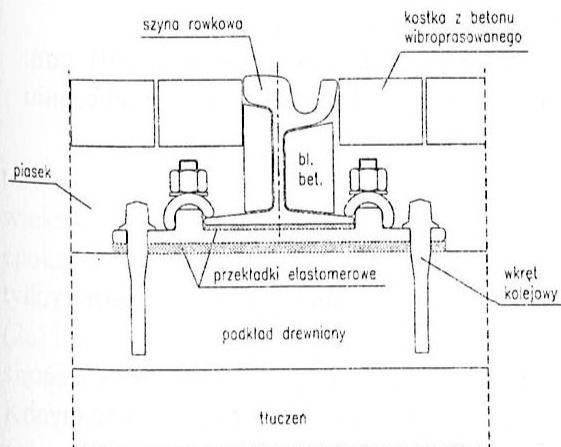


(2a i 2f)

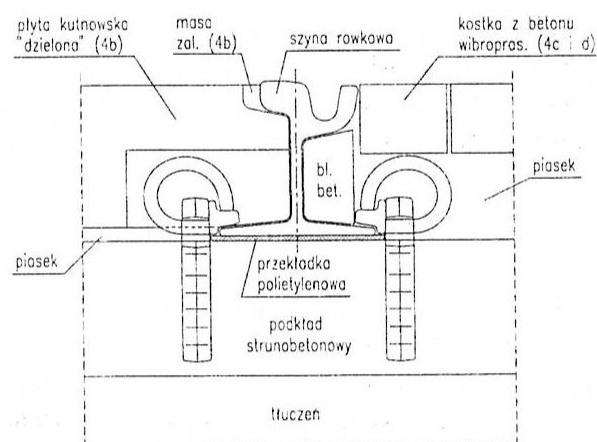


### Tor typu kolejowego

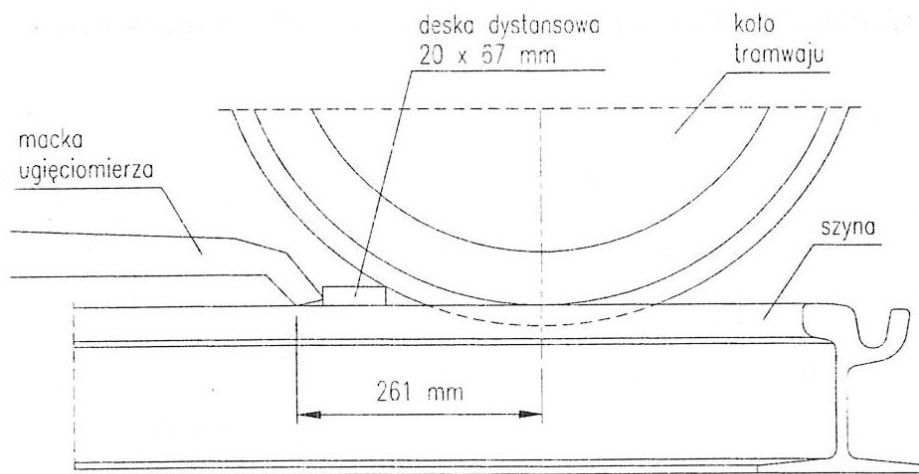
(4b, 4c i 4d)



(4a)



Rys. 3. Przekroje konstrukcyjne badanych torowisk



Rys. 4. Ustawianie macki ugięciomierza za kołem tramwaju

Podczas pierwszych próbnych badań wykonywano połowę pomiarów na szynie prawej, a drugą połowę – na lewej, później jednak zdecydowano się mierzyć tylko ugięcia na jednej szynie (lewej – dla stanowiska 3a, prawej – dla pozostałych stanowisk).

Ze względu na różne długości kursujących składów (1x105, 102, 2x105) 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 wypadały 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. Starano się tak zatrzymywać tramwaje aby punkty pomiaru rozmieścić równomiernie na długości odcinków w granicach od 2 do 6 metrów.

Ze względu na znaczne zróżnicowanie częstotliwości kursowania tramwajów w miejscach stanowisk pomiarowych ilości dokonanych pomiarów nie były takie same i wahały się od 10 do 50 pomiarów ugięć szyny.

Podczas pomiarów, oprócz wskazań czujnika zegarowego ugięciomierza notowano ponadto:

- dla każdego stanowiska – temperaturę powietrza i stan pogody,
- dla każdego pomiaru – typ taboru, napelnienie (dla 105 – tylko w wagonie pod którym mierzono ugięcie, dla 102 – od przegubu do końca wagonu), lokalizację punktu oraz uwagi.

Do pomiarów zastosowano czujniki zegarowe o zakresie 25 mm i dokładności podziałki 0,01 mm. Odczyty wskazań czujnika zegarowego wykonywano z dokładnością do „pół kreski”, co po przeliczaniu dawało odczyty wartości ugięć szyny z dokładnością do 0,01 mm.

## 5. Wyniki pomiarów

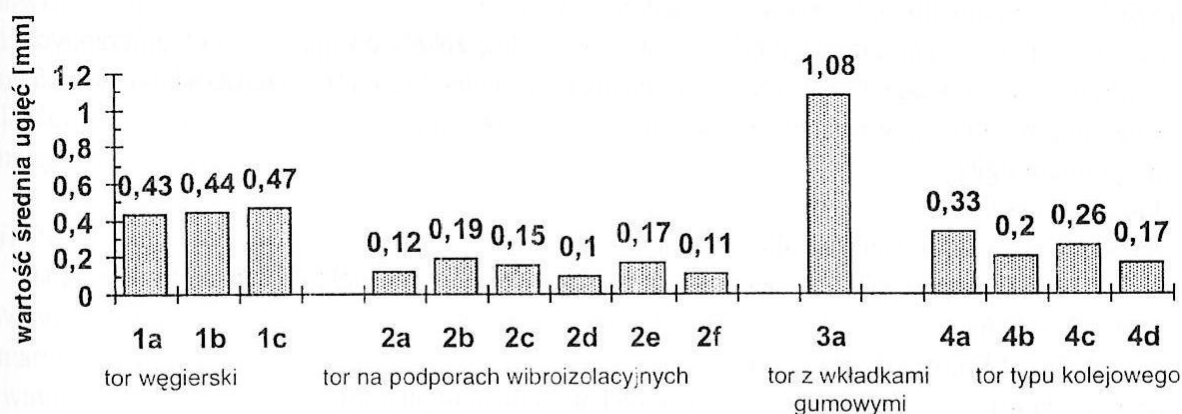
Wstępne opracowanie wyników pomiarów ugięć szyn na czternastu stanowiskach pomiarowych przedstawiono w tabeli 1 oraz graficznie na rysunkach 5 i 6.

Ogólnie najmniej ugina się tor na podporach wibroizolacyjnych, bardziej podatny jest tor typu kolejowego, jeszcze bardziej – węgierski, a najbardziej – z wkładkami gumowymi. Wartości ugięć czterech badanych typów torowisk po uśrednieniu pozostają w stosunku 3 : 1 : 8 : 2.

Pomiary ugięć toru węgierskiego przeprowadzone na trzech stanowiskach (1a, b i c), konstrukcyjnie zgodnych, a różniących się jedynie wiekiem, dają bardzo zbliżone wyniki. Inaczej jest w przypadku ugięć

Tablica 1

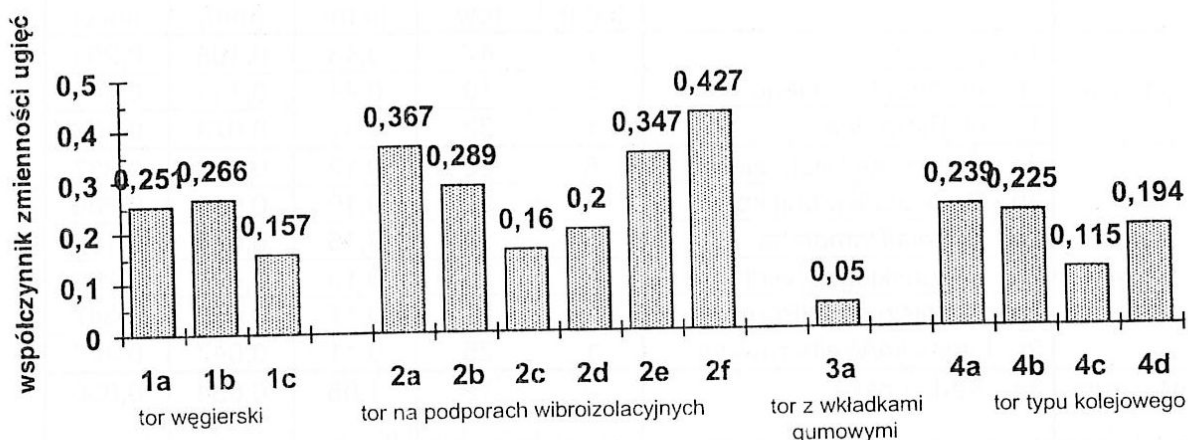
| Lp | typ toru            | stanowisko pomiarowe         | wiek toru [lata] | ilość pomiarów | średnie ugięcie [mm] | odch. stand. [mm] | współ. zmienności |
|----|---------------------|------------------------------|------------------|----------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| 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 podp. wibroizol. | 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 wkł. gum          | 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/Pereca     | 1                | 20             | 0,17                 | 0,033             | 0,194             |



Rys. 5. Średnie wartości ugięć szyny pod przejeżdżającym taborem

toru na podporach wibroizolacyjnych, przebadanych aż na sześciu stanowiskach, różniących się nie tylko wiekiem, ale i drobnymi szczegółami konstrukcyjnymi. Rozwiązania z elastomerową przekładką i podporą epoksydobetonową pod podkładką żebrową (2a i 2f) wykazują zgodność, w przeciwieństwie do rozwiązań tylko z elastomerową przekładką pod podkładką żebrową (2b i 2d). Rozwiązania z przekładką polietylenową (2c) i podlewem poliuretanowym (2e) przybierają pośrednie wartości ugięć. Wiek torów tej grupy wydaje się nie mieć wpływu na wartości ugięć. W grupie torów typu kolejowego różnica wieku jest nieznaczna. Konstrukcyjnie odmienny tor na podkładkach drewnianych z wkładkami elastomerowymi pod podkładką żebrową (4a) uzyskuje największe ugięcie w tej grupie. Trzy pozostałe (4b, c i d) z podkładkami strunobetonowymi i przekładkami polietylenowymi dają mniejsze wartości ugięć, ale za to dość rozbieżne – mimo iż są to rozwiązania konstrukcje podobne.

W celu względnej oceny rozrzutu otrzymywanych z pomiarów wartości ugięć szyny pod przejeżdżającym taborem, dla każdego stanowiska pomiarowego obliczono współczynniki zmienności, będące ilorazem odchylenia standardowego i wartości średniej pomiarów ugięć.



Rys. 6. Współczynniki zmienności pomiarów ugięć szyny pod przejeżdżającym taborem

Ogólnie najbardziej zbliżone wartości pomiarów ugięć występują dla toru z wkładkami gumowymi, znacznie bardziej rozbieżne dla pozostałych - kolejno: toru typu kolejowego, toru węgierskiego i toru na podporach wibroizolacyjnych. Wartości współczynników zmienności pomiarów ugięć czterech badanych typów torowisk po uśrednieniu pozostają w stosunku 4,5 : 6 : 1 : 4.

Dla każdego stanowiska pomiarowego przeprowadzono analizę zróżnicowania wartości zmierzonych ugięć na długości toru. Przykład takiego zróżnicowania dla toru węgierskiego (1a) przedstawiono na rys.7. Zróżnicowanie to jest spowodowane trzema następującymi przyczynami:

- błędami pomiaru ugięć,
- niejednorodnością toru,
- 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].

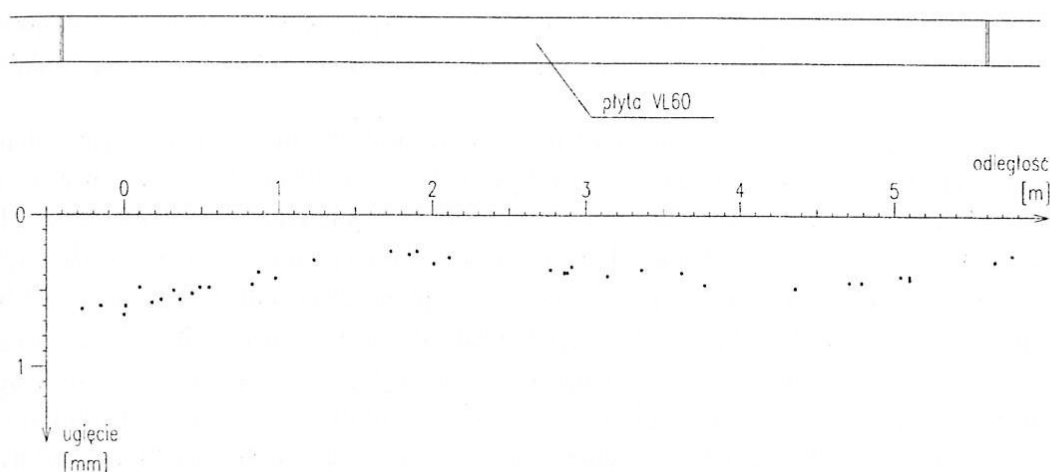
Niejednorodność toru może być dwójaka:

- zamierzona – konstrukcyjna (granice płyt nawierzchni, podparcie punktowe),
- 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 sprężyny SB-3 wyznaczały położenie podkładów,
- 4d (tor typu kolejowego niezabudowany na międzytorzu) – po odsypaniu podsypki rozpoznano położenie podkładów.

W pozostałych przypadkach torów konstrukcyjnie niejednorodnych (2a - f, 4a i c) 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. 7. Zróżnicowanie wartości zmierzonych ugięć na długości toru dla stanowiska 1a

Ugięcia szyny mierzono pod wagonami dwóch typów:

- 102 – o masie 26 ton, dla którego nacisk koła na szynę wynosi 21,3 kN,
- 105 – o masie 16,8 tony, dla którego nacisk koła na szynę wynosi 20,6 kN.

Pomiary wykonano w okresie wakacyjnym, przy niewielkich napęśnieniach taboru. Przyjmując średnią wagę pasażera 70 kg obliczono naciski koła na szynę towarzyszące każdemu pomiarowi. Mimo dwu różnych typów wagonów i różnych napęśnień 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.

## 6. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzona została techniczna możliwość wykonywania pomiarów ugięć szyny pod przejeżdżającym taborem przy pomocy drogowego ugięciomierza belkowego. Ujawnione zostały również zalety pomiaru tego typu:

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

Badania takie można przeprowadzać dla eksploatowanych torowisk tramwajowych jak i nowo zbudowanych lub wyremontowanych – w trakcie odbioru powykonawczego (jazdy próbne wagonem tramwajowym).

Analizując wartości ugięć uzyskane z pomiarów, zaskakujące są zdecydowanie zbyt małe ugięcia torów na wibroizolacyjnych 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 pomiędzy 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 betonową podbudowę, co może powodować ich szybką degradację. Tor taki nie daje efektu tłumienia drgań, jaki powinny zapewnić materiały wibroizolacyjne zastosowane w podporach.

Zniszczenie mas podlewowych może spowodować dalszą degradację następnych elementów składowych konstrukcji toru. Z wyżej opisanych względów 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 zmierzać będą w kierunku określenia optymalnych wartości ugięć szyny pod statycznym naciskiem koła tramwajowego i ich dopuszczalnego zróżnicowania, dla danego typu konstrukcji toru tramwajowego. Planuje się przeprowadzenie laboratoryjnych badań parametrów sprężystych materiałów wibroizolacyjnych stosowanych w torowiskach, a następnie 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 osią 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” WKiŁ, Warszawa 1985