

Zgodność teoretycznych i rzeczywistych ugięć szyny jako parametr oceny poprawności pracy nawierzchni tramwajowych zabudowanych

Wstęp

W rozwiniętych gospodarczo państwach świata większość dużych miast stoi obecnie na granicy utraty zdolności funkcjonowania, głównie z powodu problemów transportowych. Z tego względu lokalne społeczności coraz częściej opowiadają się za realizacją polityki zrównoważonego rozwoju, która w zakresie transportu przyznaje priorytet dla komunikacji zbiorowej.

Klasyczny tramwaj, w porównaniu do rozwoju sieci metra i SKM, przeżywa obecnie swój wielki renesans. Dzięki wprowadzaniu komunikacji tramwajowej do starówek miast, stref zamieszkania oraz stosowaniu ciągów pieszo-tramwajowych czy pasów autobusowo-tramwajowych, nastąpił również powrót do stosowania torowisk tramwajowych zabudowanych.

Konstrukcje torowisk tramwajowych historycznie wywodzą się z rozwiązań kolejowych. W przypadku torowisk wydzielonych z jezdni oraz poprzecznych przejazdów drogowych przez torowisko stosuje się najczęściej rozwiązania identyczne jak na kolei. Inaczej jest w przypadku torowisk zabudowanych, gdzie oprócz rozwiązania klasycznego opracowano szereg nowych konstrukcji, u których w zakresie zabudowy, podbudowy i odwodnienia nastąpiło upodobnienie się do rozwiązań stosowanych w drogownictwie, a w zakresie podparcia i zamocowania szyn — odejście od klasycznej kolejowej „drabiny” (szyn na poprzecznych podkładach) i zastosowanie rozwiązań zaczerpniętych z innych dziedzin budownictwa (np. fundamenty pod maszyny, mocowanie szyn suwnic) albo też zupełnie nowych, niestosowanych dotąd rozwiązań.

O ile klasyczne konstrukcje toru, udoskonalone i sprawdzone w dużo cięższych warunkach pracy w ruchu kolejowym, nie powodują niespotykanych dotąd problemów w utrzymaniu i eksploatacji, to inaczej jest w przypadku nowych rozwiązań niekonwencjonalnych, które niekiedy po krótkim okresie eksploatacji ujawniają swoje mankamenty (np. zbyt szybkie zużycie niektórych elementów) albo też nie przynoszą spodziewanych efektów (np. redukcji emisji drgań i hałasu). Wdrażaniu no-

wych rozwiązań konstrukcji torów tramwajowych powinno więc towarzyszyć przeprowadzanie analiz i badań dotyczących warunków ich pracy.

W artykule zaproponowano ocenę poprawności pracy nawierzchni tramwajowych zabudowanych poprzez sprawdzenie zgodności teoretycznych i rzeczywistych ugięć szyny pod statycznym naciskiem kół tramwaju. Do wyznaczenia wartości teoretycznych ugięć wykorzystano teorię Zimmermanna obliczania nawierzchni kolejowej jako belki na sprężystym podłożu, natomiast do pomiarów ugięć rzeczywistych - adaptację drogową metody oceny nośności nawierzchni podatnych poprzez pomiar ich ugięć ugięciomierzem belkowym.

Konstrukcje torowisk tramwajowych poddane analizie

Torowiska tramwajowe zabudowane możemy podzielić pod względem konstrukcyjnym ogólnie na dwie grupy:

- klasyczne (z szyn rowkowych na poprzecznych podkładach i podsypce, z zabudową nawierzchni),
- niekonwencjonalne.

Rozwiązania niekonwencjonalne, jako torowiska zabudowane są we Wrocławiu stosowane jeszcze od czasów przedwojennych, natomiast klasyczne — dopiero od niedawna, głównie w celu udostępnienia torowisk wydzielonych autobusom (oś Grunwaldzka) albo ułatwienia utrzymania torowisk w czystości (przy przystankach).

Do przeprowadzenia analiz zgodności ugięć wybrano w sumie pięć typów torowisk zabudowanych. Dwa typu klasycznego:

- tor na podkładach drewnianych i podsypce,
- tor na podkładach betonowych i podsypce,

i trzy typu niekonwencjonalnego:

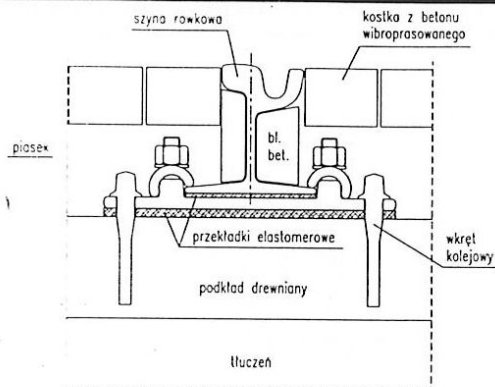
- tor na podbudowie betonowej i podporach punktowych,
- tor typu węgierskiego,
- tor na podbudowie betonowej z szyną obłożoną wkładkami gumowymi.

Tor pierwszego typu (rys.1) przebadano tylko na jednym stanowisku „1a”, na przystanku w ul. Hallera przed skrzyżowaniem z ul. Mielecką, jadąc od strony ul. Grabiszyńskiej.

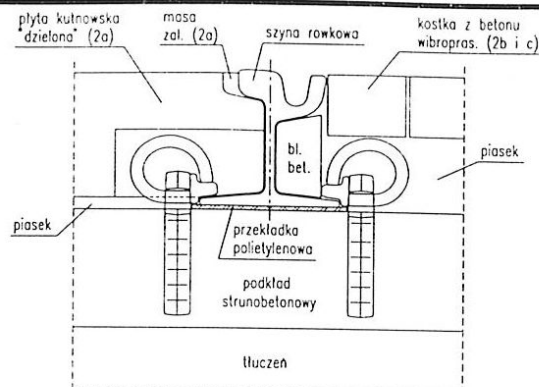
Tor drugiego typu (rys.2) przebadano na trzech stanowiskach:

- „2a” — na przystanku w ul. Ślężnej przed skrzyżowaniem z ul. Wiśniową, jadąc od strony centrum,
- „2b” — na przystanku w ul. Powstańców Śl. przed skrzyżowaniem z ul. Jaworową, jadąc w stronę centrum,
- „2c” — na przystanku w ul. Grabiszyńskiej przed skrzyżowaniem z ul. Zaporoską, jadąc od strony centrum.

Dla każdego z czterech wymienionych wyżej stanowisk rozstaw osiowy podkładów wynosił 67 cm.



Rysunek 1. Stanowisko „1a”

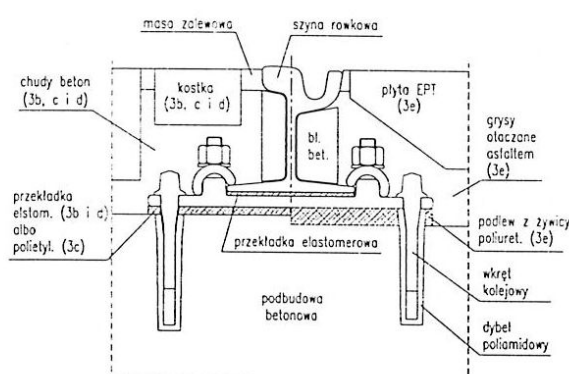
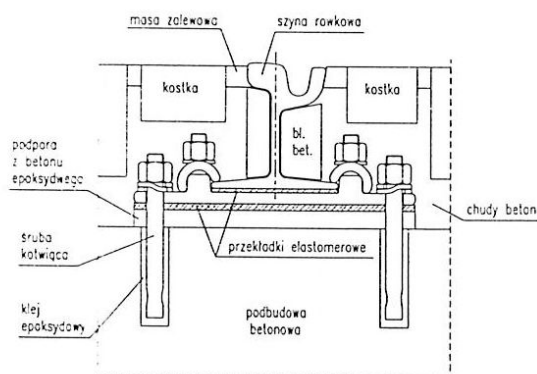


Rysunek 2. Stanowiska „2a”, „2b” i „2c”

Tor trzeciego typu (rys.3) przebadano aż na sześciu stanowiskach, różniących się wzajemnie rodzajem przekładki pod podkładką żebrową i rozstawem podpór:

- „3a” – na przystanku w ul. Świdnickiej przed skrzyżowaniem z ul. Piłsudskiego, jadąc w stronę centrum,
- „3b” – na przystanku w ul. Podwale przed skrzyżowaniem z ul. Świdnicką,
- „3c” – na przystanku w ul. Dubois przed skrzyżowaniem z ul. Pomorską,
- „3d” – na przystanku w ul. Piłsudskiego przed skrzyżowaniem z ul. Świdnicką, jadąc w stronę pl. Legionów,
- „3e” – na przystanku w ul. Grabiszyńskiej przed pl. Pereca,
- „3f” – na przystanku w ul. Legnickiej przed skrzyżowaniem z ul. Wejherowską.

Dla stanowisk „3a” i „3d” rozstaw podpór wynosił 67 cm, dla pozostałych – 1 m. Na odcinkach pomiędzy podporami jako wypełnienie przestrzeni pod stopką szyny stosowano podlew z mas bitumicznych.

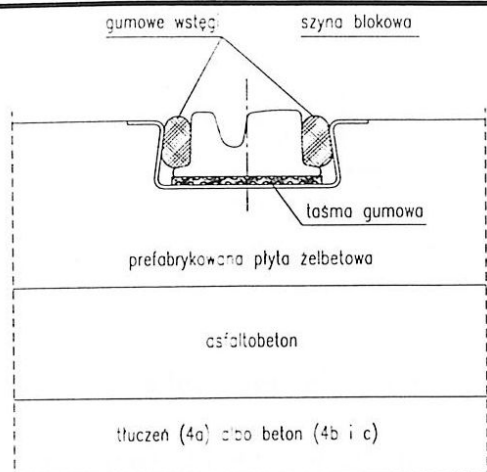


Rysunek 3. Stanowiska „3a” i „3f” (po lewej) oraz „3b”, „3c”, „3d” i „3e” (po prawej)

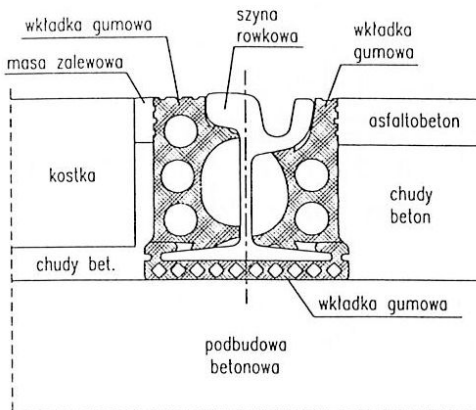
Tor czwartego typu (rys.4) przebadano na trzech stanowiskach:

- „4a” – na przystanku na pl. Bema po przyjeździe z kierunku Kowal,
- „4b” – na przystanku na pl. Wróblewskiego po przyjeździe z kierunku Księża Małego,
- „4c” – na przystanku w ul. Piaskowej przy Hali Targowej, jadąc w kierunku pl. Bema.

Tor piątego typu (rys.5) przebadano na jednym stanowisku „5a”, na ul. Karkonońskiej pomiędzy skrzyżowaniami z ul. Letnią i Wiosenną.



Rysunek 4. Stanowiska „4a”, „4b” i „4c”



Rysunek 5. Stanowisko „5a”

Analizami objęto jedynie kilkuletnie nawierzchnie w dobrym stanie, tak aby wyeliminować wpływ wadliwej pracy toru na wyniki ugięć (np. lokalny brak podparcia szyny, zerwane przytwierdzenie, itp.).

Teoretyczne ugięcia szyn

Zgodnie z klasyczną teorią obliczania nawierzchni kolejowej według Zimmermanna, w której szyna jest traktowana jako odkształcalna belka nieskończonej długości na ciągłym sprężystym podłożu typu winklerowskiego ($p = C \cdot y$), ugięcie szyny y w torze prostym, spowodowane działaniem i nacisków kół na szynę, w warunkach statycznych możemy obliczyć ze wzoru:

$$y = \frac{1}{2CbL} \sum_{i=1}^n P_i e^{-\frac{x_i}{L}} \left(\cos \frac{x_i}{L} + \sin \frac{x_i}{L} \right) \quad (1)$$

gdzie: C - współczynnik podłoża [N/mm^3]

b - szerokość podstawy belki (stopki szyny) [m]

L - długość zastępcza belki na sprężystym podłożu [m]

P_i - wartość i -tego nacisku [kN]

e - podstawa logarytmu naturalnego

x_i - odległość ustawienia i -tego nacisku od miejsca ugięcia [m]

Wielkość L obliczamy ze wzoru:

$$L = \sqrt[4]{\frac{4EJ}{Cb}} \quad (2)$$

gdzie: E - moduł sprężystości materiału belki (stali szynowej)

J - moment bezwładności belki (szyny)

W przypadku nawierzchni klasycznych (analizowane typy 1 i 2) zamiast współczynnika winklerowskiego podłoża C stosujemy bardziej wygodny współczynnik podparcia szyny U [MPa], którego wartość określa wielkość obciążenia równomiernie rozłożonego na jednostce długości szyny pod jej stopką, wywołującego jednostkowe jej ugięcie. Wzory (1) i (2) ulegają niewielkiemu uproszczeniu: zamiast iloczynu $C \cdot b$ używamy wielkości U . Wartość współczynnika U zależy od odkształcalności poszczególnych elementów toru znajdujących się pod szyną, wyznacza się ją doświadczalnie dla konkretnych typów nawierzchni. Według badań przedstawionych w [1], w torach kolejowych w okresie letnim uzyskuje się wartości U wynoszące około 40 MPa dla podkładów drewnianych i 80 MPa dla podkładów betonowych. Jeżeli założymy brak podatności podkładu i przytwierdzenia, oraz że współczynnik C charakteryzuje jedynie warstwy znajdujące się pod podkładem, to pomiędzy wielkościami U i C istnieje zależność:

$$U = C \cdot \frac{F_{op}}{l} \quad (3)$$

gdzie: F_{op} - powierzchnia oparcia podkładu o podsypkę [m]

l - rozstaw podkładów [m]

W obliczeniach teoretycznych ugięć szyn toru klasycznego, ze względu na większy rozstaw podkładów w torach tramwajowych (zwykle 0,67 m) niż w torach kolejowych (zwykle 0,6 m) oraz mniejszą powierzchnię oparcia podkładu o podsypkę w torach tramwajowych (np. dla PST 94 $F_{op} = 0,6229 \text{ m}^2$) niż w kolejowych (np. dla PS 94 $F_{op} = 0,6805 \text{ m}^2$), wychodząc z zależności (równanie 3) odwrotnie proporcjonalnej współczynnika U od rozstawu podkładów l oraz wprost proporcjonalnej od powierzchni oparcia podkładu o podsypkę F_{op} przy stałym C , przedstawione powyżej wartości U dla toru kolejowego zredukowano o: $0,6 \text{ m} / 0,67 \text{ m} \times 100 \% \approx 90 \%$, a w przypadku toru na podkładach betonowych dodatkowo o: $0,6229 \text{ m}^2 / 0,6805 \text{ m}^2 \times 100 \% \approx 92 \%$ uzyskując dla toru tramwajowego: 36 MPa — dla podkładów drewnianych i 66 MPa dla podkładów betonowych.

W przypadku nawierzchni bezpodsypkowych o punktowym modelu podparcia szyny (analizowany typ 3) zamiast współczynnika U stosujemy wielkość D [kN/m], której wartość określa wielkość siły potrzebnej do jednostkowego ugięcia punktu podparcia szyny. Pomiedzy wielkościami D i U istnieje zależność:

$$D = U \cdot l \quad (4)$$

gdzie: l - rozstaw punktów podparć [m]

Przy założeniu nieodkształcalności podbudowy toru i podatności jedynie samych podpór szyn wielkość D we wzorze (4) jest równa sztywności podpory c_p

[kN/mm]. Jeżeli w podporze występują dwa elementy podatne połączone szeregowo, o różnych sztywnościach c_1 i c_2 , to:

$$\frac{1}{c_p} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} \quad (5)$$

W przypadku nawierzchni bezpodsypekowych o ciągłym modelu podparcia szyny (analizowane typy 4 i 5), przy założeniu nieodkształcalności podbudowy toru, współczynnik podłoża C ze wzorów (1) i (2) zależy jedynie od sztywności przekładki c [kN/mm] stanowiącej ciągłe podparcie szyny. Pomiędzy obu wielkościami istnieje zależność:

$$C = \frac{c}{F} \quad (6)$$

gdzie: F - pole powierzchni przekładki zastosowanej do wyznaczenia jej sztywności c (najczęściej szerokość stopki szyny $\times$ 1 m) [mm²]

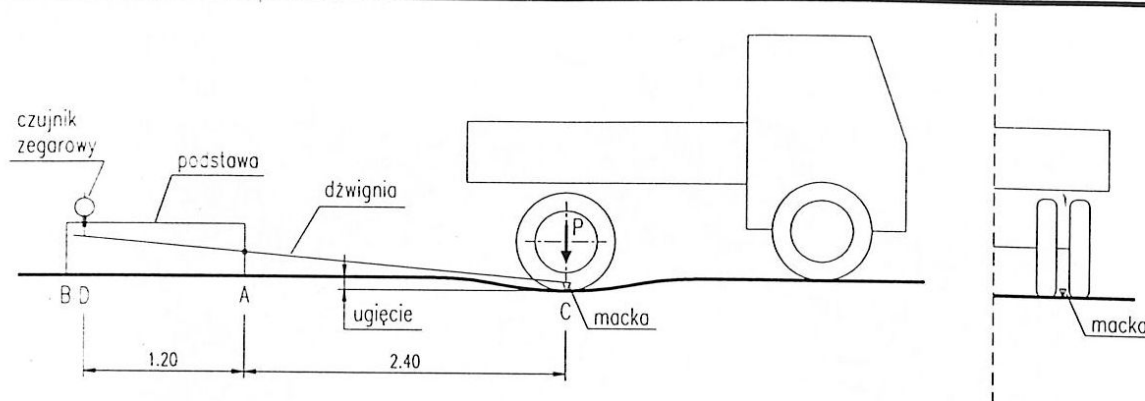
W obliczeniach teoretycznych ugięć szyn torów na podporach, węgierskiego i z wkładkami gumowymi założono nieodkształcalność podbudowy toru (ławy o grubości ok. 25 cm z betonów klasy B25 ÷ B35 na zagęszczonym podłożu) oraz przyjęto wartości sztywności przekładek podawane przez producentów materiałów zastosowanych w konstrukcjach analizowanych torowisk [2 ÷ 5].

W obliczeniach teoretycznych ugięć szyn toru na podporach nie uwzględniono wpływu podparcia szyny na odcinkach pomiędzy podporami (podlew z mas bitumicznych), gdyż z punktu widzenia poprawności pracy nawierzchni tego typu element ten powinien pełnić rolę jedynie wypełniacza i nie uczestniczyć w przenoszeniu obciążeń.

Generalnie, w obliczeniach teoretycznych wszystkich przebadanych pięciu typów torów nie uwzględniono wpływu podparcia bocznego obudowanej szyny na wartości pionowych jej ugięć. Tu również, z punktu widzenia właściwej współpracy szyny i sąsiadującej z nią zabudowy nawierzchni drogowej wskazane jest aby materiał występujący na styku obu rozważanych elementów nie powodował wzajemnego uzależnienia ich ugięć pionowych, a jedynie zapewnił szczelność nawierzchni.

Rzeczywiste ugięcia szyn

W drogownictwie do oceny nośności nawierzchni podatnych stosuje się metodę pomiaru ugięć nawierzchni za pomocą ugięciomierza belkowego pod statycznym naciskiem samochodowego koła bliźniaczego [6] o wartości 50 kN.

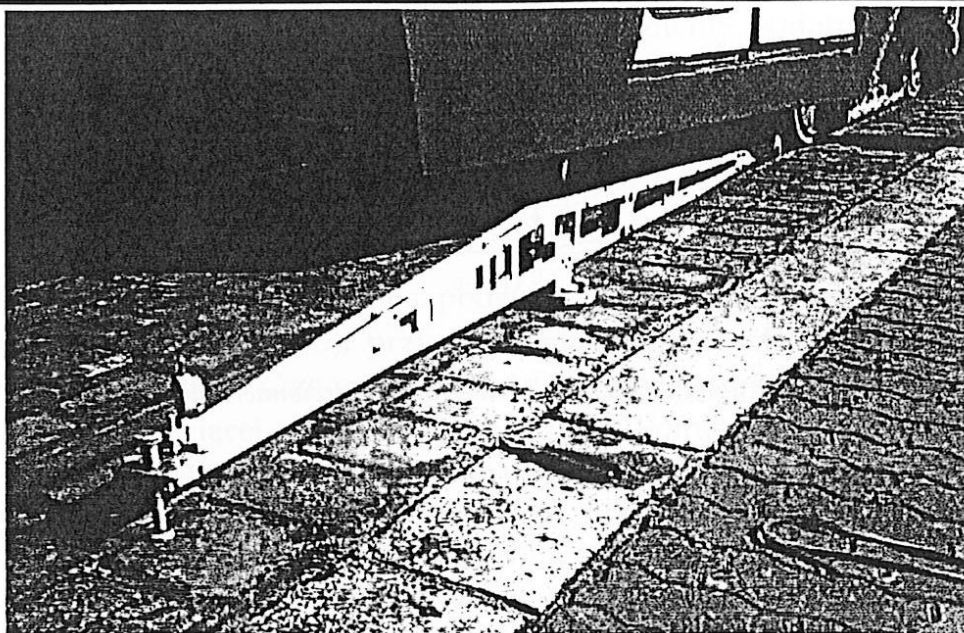


Rysunek 6. Pomiar ugięcia nawierzchni drogowej ugięciomierzem belkowym

Budowę i zasadę działania ugięciomierza przedstawiono na rys.6. 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, gdyż ramię AC ugięciomierza jest dwa razy dłuższe niż AD.

Opisaną metodę pomiaru zastosowano do wyznaczenia rzeczywistych ugięć szyny pod statycznym naciskiem kół tramwaju (rys.7). Konieczne okazały się następujące modyfikacje metody pomiaru ugięć:

- mackę ugięciomierza ustawiano na główce szyny za kołem tramwajowym, w pewnej odległości od osi zestawu kołowego — czyli miejsca największego ugięcia,
- w celu uzyskania we wszystkich pomiarach tej samej odległości oddalenia macki od osi zestawu kołowego, przy ustawianiu ugięciomierza stosowano wkładkę dystansową wsuwaną za tylne koło tramwaju, powodowała ona oddalenie macki od osi zestawu kołowego na odległość $l_m = 0,261$ m,
- ze względu na uzyskanie pewnego oparcia podstawy ugięciomierza, ustawiano go nie równolegle, lecz lekko ukośnie w stosunku do osi toru, tak aby jego podstawa spoczywała na nawierzchni drogowej z boku szyny,
- ze względu na wykorzystanie do obciążania szyny tramwajów kursujących liniowo zamiast jednego pojazdu o znanym nacisku koła na szynę, konieczne było każdorazowe ustalanie nacisków, w zależności od typów oraz napełnień tramwajów.



Rysunek 7. Pomiar ugięcia szyny tramwajowej ugięciomierzem belkowym

Pomiary ugięć szyn przeprowadzono w dniach od 12 do 23 lipca 2001 roku. Ich dokładny opis przedstawiono w [7]. Aparatura pomiarowa umożliwiła dokonywanie odczytów wartości rzeczywistych ugięć szyn y_{rz} z dokładnością do 0,01 mm. Przyjmując masy tramwajów podawane przez producentów oraz średnią wagę pasażera 70 kg obliczono naciski koła na szynę P_{rz} towarzyszące każdemu pomiarowi. 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. Tramwaje zatrzymywano w taki sposób, aby punkty pomiaru rozmieścić równomiernie na długości odcinków w granicach od 2 do 6 metrów. Na każdym ze stanowisk pomiarowych uzyskano zróżnicowanie wartości zmierzonych ugięć na długości toru, które było spowodowane trzema następującymi przyczynami:

- błędami pomiaru ugięć,
- niejednorodnością konstrukcyjną toru,
- zróżnicowaniem wartości nacisku koła na szynę.

W celu uniezależnienia wyników wartości zmierzonych ugięć od zróżnicowania wartości nacisku koła na szynę, wychodząc z liniowej zależności ugięć od nacisków (równanie 1), dokonano przeliczenia zmierzonych ugięć rzeczywistych y_{rz} na ugięcia rzeczywiste skorygowane y_{rz-s} dla jednej ustalonej wartości nacisku, jako którą przyjęto wartość średnią ze wszystkich odnotowanych rzeczywistych nacisków koła na szynę P_{rz} o wartości $P_{\bar{sr}} = 22,2$ kN, według wzoru:

$$y_{rz-s} = y_{rz} \cdot \frac{P_{\bar{sr}}}{P_{rz}} \quad (7)$$

Analiza porównawcza

Według założeń przedstawionych w punkcie 3 artykułu przeprowadzono obliczenia wartości teoretycznych ugięć szyn y_t pod statycznym naciskiem kół tramwaju dla pięciu rozważanych typów zabudowanych torowisk tramwajowych.

Jako schemat obciążenia szyny, uwzględniając określoną wcześniej odległość l_m i rozstaw osi w wózku tramwajowym $l_{ro} = 1,9$ m, przyjęto nacisk dwóch sił P_{sr} oddalonych od miejsca pomiaru ugięcia o:

$$x_1 = l_m = 0,261 \text{ m}$$

$$x_2 = l_m + l_{ro} = 2,161 \text{ m.}$$

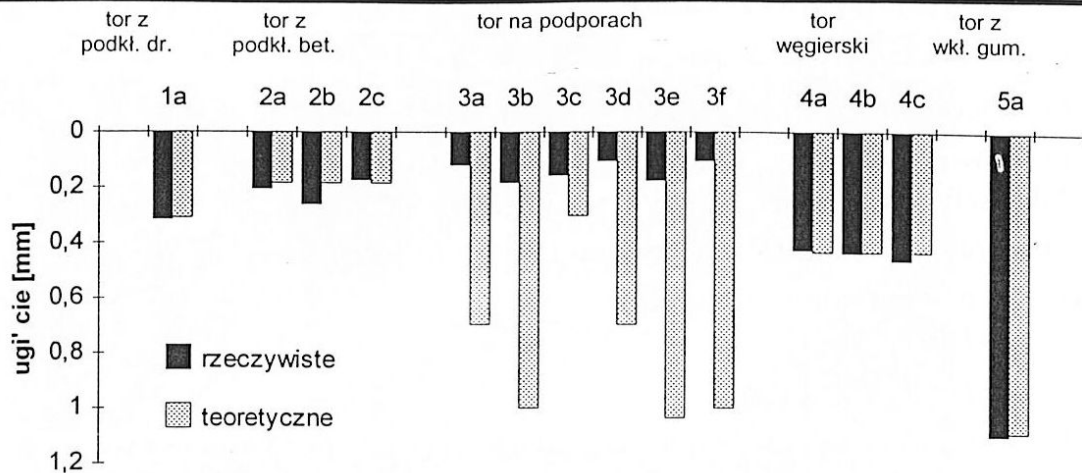
Obliczone wartości teoretycznych ugięć szyny y_t porównano z wartościami rzeczywistych ugięć skorygowanych y_{rz-s} . W celu ułatwienia porównania analizowanych wielkości określono miarę zgodności względnej z_w [%] według następującego wzoru:

$$z_w = \frac{\min(y_t; y_{rz-s})}{\max(y_t; y_{rz-s})} \cdot 100\% \quad (8)$$

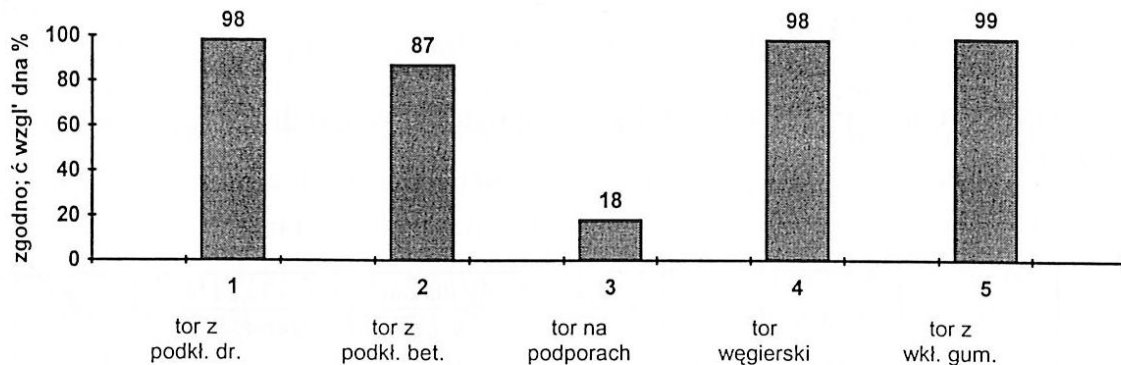
Wyniki analizy porównawczej przedstawiono w tabeli 1 oraz graficznie na rysunkach 8 i 9.

Tabela 1

Lp	typ toru	stano-wisko pomia-rowe	wiek toru [lata]	ugięcia szyny dla nacisku koła 22,2 kN					zgodność względna	
				rzeczywiste y_{rz-s}			teoretyczne			
				ilość pom.	wartość śr.		y_t		dla stano-wiska [%]	dla typu toru [%]
					dla stano-wiska [mm]	dla typu toru [mm]	dla stano-wiska [mm]	śr. dla typu toru [mm]		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	z podkł. dr.	1a	2	10	0,316	0,316	0,310	0,310	98	98
2	z podkł. bet.	2a	2	12	0,206	0,213	0,185	0,185	90	87
3		2b	2	15	0,261		0,185		71	
4		2c	1	20	0,173		0,185		94	
5	na podpo-rach	3a	5	22	0,119	0,141	0,695	0,787	17	18
6		3b	4	22	0,183		0,998		18	
7		3c	3	22	0,157		0,302		52	
8		3d	2	25	0,105		0,695		15	
9		3e	1	22	0,175		1,033		17	
10		3f	1	25	0,105		0,998		11	
11	węgierski	4a	7	47	0,428	0,443	0,435	0,435	98	98
12		4b	5	10	0,437		0,435		100	
13		4c	1	22	0,464		0,435		94	
14	z wkł. gum.	5a	2	12	1,101	1,101	1,092	1,092	99	99



Rysunek 8. Porównanie rzeczywistych i teoretycznych ugięć szyny dla nacisku koła 22,2 kN na każdym z przebadanych stanowisk



Rysunek 9. Zgodność względna rzeczywistych i teoretycznych ugięć szyny dla przeanalizowanych pięciu typów torów zabudowanych

Podsumowanie

W wyniku porównania rzeczywistych i teoretycznych ugięć szyny, średnich dla danego typu toru, uzyskano bardzo dobrą zgodność (98 i 99 %) dla torów z podkładami drewnianymi, węgierskiego i z wkładkami gumowymi oraz dobrą (87 %) – dla toru z podkładami betonowymi, co pozwala wysnuć wniosek, że konstrukcje te w rzeczywistości pracują poprawnie – to znaczy w sposób zgodny z teoretycznymi założeniami, według których zostały zaprojektowane.

Zaskakująca jest natomiast bardzo niska zgodność (18 %) uzyskana dla toru na podporach, gdzie ugięcia rzeczywiste średnio okazały się ponad pięciokrotnie mniejsze od teoretycznych. Nie jest to na pewno spowodowane wpływem podparcia bocznego obudowanej szyny, gdyż prawie identyczny typ zabudowy zastosowano w torach z podkładami betonowymi i drewnianymi, które uzyskały dobrą i bardzo dobrą zgodność analizowanych ugięć. Przyczyn takiego stanu rzeczy należy więc

upatrywać w zastosowaniu zbyt twardych mas podlewowych na odcinkach pomiędzy podporami, co powoduje, że tor na podporach 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 powodować dalszą degradację następnych elementów składowych konstrukcji toru.

W przypadku toru na podporach konieczna jest więc zmiana materiału stosowanego pod stopką szyny na odcinkach pomiędzy podporami albo odejście od stosowania konstrukcji toru tego typu w torowiskach zabudowanych.

Spośród pięciu analizowanych typów torów, trzy z nich przebadano na więcej niż jednym stanowisku. W przypadku stanowisk toru na podporach występowały drobne różnice konstrukcyjne (materiał pod podkładką żebrową i rozstaw podpór), z czego wynikało zróżnicowanie wartości ugięć odpowiednio teoretycznych i rzeczywistych na poszczególnych stanowiskach. Stanowiska torów z podkładami betonowymi i węgierskiego były w swoich typach konstrukcyjnie zgodne, dlatego posiadały te same wartości ugięć teoretycznych. Dla toru z podkładami betonowymi uzyskano większe zróżnicowanie ugięć rzeczywistych na poszczególnych stanowiskach niż dla toru węgierskiego, co wydaje się być słuszne, gdyż w tym pierwszym przypadku elementem podatnym odpowiedzialnym za wartości ugięć jest głównie warstwa podsypki tłuczniowej zagęszczana na budowie, przez co może osiągać bardziej zróżnicowane wartości miar sprężystości, niż gumowa taśma podszytna w torze węgierskim. Stąd zapewne wynika również niższa zgodność względna uzyskana dla toru z podkładami betonowymi, niż dla toru węgierskiego. Generalnie, stosując opisywaną metodę kontroli zgodności ugięć rzeczywistych i teoretycznych należy zawsze mieć na względzie, że nawierzchnie klasyczne na podsypce tłuczniowej będą dawać bardziej rozbieżne wyniki, niż nawierzchnie niekonwencjonalne na sztywnych podbudowach z betonu z zastosowaniem prefabrykowanych przekładek wibroizolacyjnych o właściwie dobranej sprężystości.

Zaproponowana w niniejszym artykule metoda analizy zgodności rzeczywistych i teoretycznych ugięć szyny stanowi prosty, diagnostyczny sposób oceny poprawności pracy konstrukcji zabudowanego toru tramwajowego. W obecnych czasach, kiedy to zarządy miast decydują się na stosowanie nowych, niekonwencjonalnych rozwiązań konstrukcji zabudowanych torowisk tramwajowych metoda ta wydaje się być godna polecenia, gdyż jak wykazano na przykładzie toru na podporach stosowanego od kilku lat we Wrocławiu, użycie drogich materiałów (elastomery modyfikowane, żywice poliuretanowe) nie zawsze idzie w parze z wykorzystaniem w pełni ich właściwości.

Przedstawione w niniejszym artykule rozważania są częścią badań autora, mających na celu opracowanie diagnostycznej metody oceny nośności zabudowanych

torowisk tramwajowych, poprzez pomiar ugięcia szyn pod statycznym naciskiem kół tramwajowych, przy pomocy drogowego ugięciomierza belkowego.

Literatura:

- [1] Basiewicz T., „Nawierzchnia kolejowa z podkładami betonowymi”, WKiŁ, Warszawa 1969.
- [2] Faskerti S. „Nowoczesny kompleksowy system nadbudówki (podkładów wraz z szynami) torów kolei drogowej w budapeszteńskim przedsiębiorstwie komunikacyjnym”.
- [3] „Właściwości fizyczne przekładek w oparciu o specyfikacje UIC”, Trackelast - TIFLEX.
- [4] „Icosit KC 330/5 — karta materiału”, SIKA Poland.
- [5] „Gumowe izolatory wibroakustyczne systemu Phoenix do nawierzchni torowych” — aprobaty techniczna IBDiM Nr AT/2001-04-1045.
- [6] BN-70/8931-06 Drogi samochodowe. Pomiar ugięć nawierzchni podatnych ugięciomierzem belkowym.
- [7] Makuch J. „Pomiary ugięć szyny w zabudowanych torowiskach tramwajowych”, XI Konferencja Naukowo-Techniczna „Drogi Kolejowe 2001”, Wrocław 2001.