

Pomiary geometrii torów tramwajowych toromierzem elektronicznym we Wrocławiu

Jacek Makuch

W artykule przedstawiono przebieg kompleksowych pomiarów geometrii torów tramwajowych przeprowadzonych we Wrocławiu jesienią 2011 roku, przy pomocy samorejestrującego toromierza elektronicznego do pomiarów ciągłych. Scharakteryzowano zastosowane urządzenie pomiarowe. Opisano przeprowadzone badania od strony organizacyjnej oraz zdobyte podczas ich wykonywania doświadczenia. Zaprezentowano możliwości oprogramowania służącego do analizy wyników wykonanych pomiarów. W podsumowaniu sformułowano wnioski dotyczące przeprowadzania badań tego typu.



dr inż.
Jacek Makuch
Politechnika Wrocławska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
Wydział Budownictwa
Lądowego i Wodnego,
Instytut Inżynierii Lądowej
jacek.makuch@pwr.edu.pl

Wstęp

W 2011 roku Zarząd Dróg i Utrzymania Miasta we Wrocławiu ogłosił przetarg na wykonanie pięcioletniego przeglądu okresowego torów i rozjazdów tramwajowych [1].

Realizacji tego zadania podjęło się konsorcjum składające się z:

- Bahn Technik Wrocław Sp. z o.o.,
- Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP Oddział Wrocław.

Zamówienie obejmowało okresową kontrolę, polegającą na przeglądzie stanu technicznego i wartości użytkowej w zależności od stopnia zużycia sieci torów tramwajowych o łącznej długości około 200 km toru pojedynczego wraz ze sporządzeniem dokumentacji.

Okresowy przegląd należało sporządzić na podstawie:

- pomiaru geometrii torów toromierzem elektronicznym z rejestracją wykrytych usterek torów,
- pomiaru zużycia pionowego i bocznego główki szyny profilomierzem elektronicznym,
- pomiaru zużycia falistego główki szyny oraz nierówności styków falistomierzem elektronicznym,
- oceny wizualnej torów.

Celem przeglądu była ocena stanu technicznego torowisk umożliwiająca w dalszej kolejności określenie zakresu oraz rodzaju planowanych robót torowych (utrzymanio- wych, naprawczych, odtworzeniowych).

Wykonanie pomiarów geometrii torów toromierzem elektronicznym zostało pod- lecone Zakładowi Infrastruktury Transportu Szynowego Politechniki Wrocławskiej [2].

Niniejszy artykuł jest poświęcony wyłącznie tej części przeprowadzonych badań.

Opis urządzenia pomiarowego

Pomiary przeprowadzono przy pomocy samorejestrującego toromierza elektronicznego do pomiarów ciągłych (wózek pchany

po torze) TEC-1435 przystosowanego do pomiarów w torach tramwajowych (nr seryj- ny: 097/08) produkcji P.T.U. GRAW Sp. z o.o. z Gliwic (fot. 1 i 2).

Podczas pomiarów toromierz automa- tycznie rejestrował pięć następujących wiel- kości podawanych na wyświetlaczu rejestra- tora (fot.2):



1. Toromierz TEC-1435 przygotowany do wykonania pomiarów geometrii toru



2. Rejestrator pomiarów toromierza (wyświetlacz i pulpity przycisków)

- szerokość toru,
- przechyłkę toru,
- przebytą drogę,
- nierówności poziome lewego toku szynowego na bazie 1 m,
- nierówności pionowe lewego toku szynowego na bazie 1 m.

Jako krok pomiaru możliwe było przyjęcie jednej z czterech długości: 0,5 m, 1 m, 2 m i 5 m. Zgodnie z zaleceniami zamawiającego [1] w przeprowadzonych pomiarach przyjęto odległość 1 m, co pozwalało na pomiar ponad 32 km toru pojedynczego bez zgrywania danych z rejestratora do komputera.

Oprócz automatycznej rejestracji mierzonych wielkości osoba obsługująca toromierz wprowadzała z pulpitu przycisków jego rejestratora (fot.2) wybrane zdarzenia (obiekty) i usterki występujące w torze, które mogły mieć charakter:

- punktowy, np. pęknięta szyna (jednokrotne wskazanie),
- odcinkowy, np. peron (wskazanie początku i końca).

Te drugie na przyciskach pulpitu posiadały w prawym górnym rogu diodę (fot.2), która zapalała się po wskazaniu początku, a gasła po wskazaniu końca.

Zgodnie z zaleceniami zamawiającego [1] podczas pomiarów należało uwzględnić lokalizację pewnych dodatkowych zdarzeń takich jak:

- przejścia dla pieszych i przejazdu rowerowe,
- przepusty,
- słupy trakcyjne,
- styki dylatacyjne,
- skrzynki i studnie odwadniające,
- skrzynki zwrotnicowe,
- zmiana typu zabudowy lub konstrukcji toru.

Ze względu na zdarzające się podczas pomiarów zużytych torów tramwajowych przypadki zahaczania spodem toromierza o wystające elementy zabudowy toru (co powodowało zaburzenia poprawności wykonanych pomiarów) zdecydowano się na rejestrowanie również tych incydentów. W torach tramwajowych oprócz rozjazdów występowały skrzyżowania torów oraz odcinki szyny podwójnej.

Z wyżej wymienionych powodów konieczne okazało się rozszerzenie albo wręcz zmiana znaczenia niektórych przycisków rejestratora toromierza, co przedstawiono w tabeli 1.

Przyciski o zmienionym znaczeniu oznaczono symbolem „x” w ich prawym dolnym rogu (fot.2), dodatkowo ich zmienione znaczenia opisano skrótowo w górnej części przycisków (niestety w wyniku intensywnego użytkowania pulpitu uległy one częściowo

symbol	skrót	znaczenie pierwotne	znaczenie rozszerzone bądź zmienione
	H	punkt hektometrowy	słup trakcyjny
	M	most, wiadukt, tunel	most, wiadukt, tunel, przepust
	R	rozjazd	rozjazd, skrzyżowanie torów albo podwójna szyna
	D	przejazd	przejazd drogowy, rowerowy albo przejście dla pieszych (zebra)
	=	styk	styk dylatacyjny
	B	brak śrub	zmiana typu zabudowy lub konstrukcji toru
	P	pęknięta szyna	pęknięta szyna albo spoina
	W	podkład do wymiany	skrzynka odwadniająca albo zwrotnicowa
	/	skoszone podkłady	wystająca zabudowa (toromierz zahacza o nią spodem)
	;	pęknięta spoina	studzienka odwadniająca, kanalizacyjna albo wpust deszczowy

Tab. 1. Zdarzenia lub usterki z rozszerzeniem lub zmianą znaczenia (kolor czerwony)

wemu zatarciu).

Bez zmiany znaczenia pozostały zdarzenia lub usterki przedstawione w tabeli 2.

Toromierz w postaci rozmontowanej (umożliwiającej jego transportowanie) składa się z:

- belki poprzecznej (długości 1,7 m),
- belki podłużnej (długości 1,1 m),
- rejestratora (o wymiarach 22 x 11 x 3,5 cm),
- kabli łączących.

Toromierz po każdym zmontowaniu, przed rozpoczęciem wykonywania pomiarów, wymaga kalibracji czterech mierzonych wielkości (wszystkich oprócz przebytej drogi). Zmontowanie i kalibracja zajmuje około 10 minut.

Podczas wykonywania pomiarów, w przypadku konieczności przepuszczenia po torze pojazdu szynowego, istnieje możliwość wstrzymania procedury pomiarowej, zdjęcia toromierza z toru, ponownego jego ustawienia i wznowienia przeprowadzanych pomiarów.

W przypadku pominięcia w pomiarach pewnych zdarzeń lub usterek, albo w przypadku zorientowania się, że pomiary nie przebiegają poprawnie (np. w wyniku „wyskokoczenia” z toru rolek pomiarowych – co

zdarza się niekiedy w miejscach dużych nierówności toru albo krzyżownic i iglic rozjazdów) istnieje możliwość wycofania toromierza (błędnie wykonane pomiary są wtedy kasowane) i ponownego przeprowadzenia pomiarów.

Ze względu na pomiary wykonywane w porze nocnej, w obszarze jezdni z czynnym ruchem kołowym, toromierz wyposażono dodatkowo w baterijne światła pulsujące koloru żółtego.

Toromierz zasilany jest z zamontowanych w nim akumulatorów. W przeprowadzonych badaniach jednokrotne ich naładowanie wystarczało na co najmniej trzy noce pomiarowe.

Opis przeprowadzonych pomiarów

Pomiarami objęto całą sieć torów tramwajowych we Wrocławiu będących pod opieką zarządzającego infrastrukturą (czyli bez torów w zajezdniach) według wykazu sporządzonego przez zamawiającego [1], z rozróżnieniem na tory tramwajowe przebiegające wzdłuż dróg:

- krajowych: 5, 8 i 94,
- wojewódzkich: 327, 347, 395 i 455,
- powiatowych.

Ponadto zastosowano podział na:

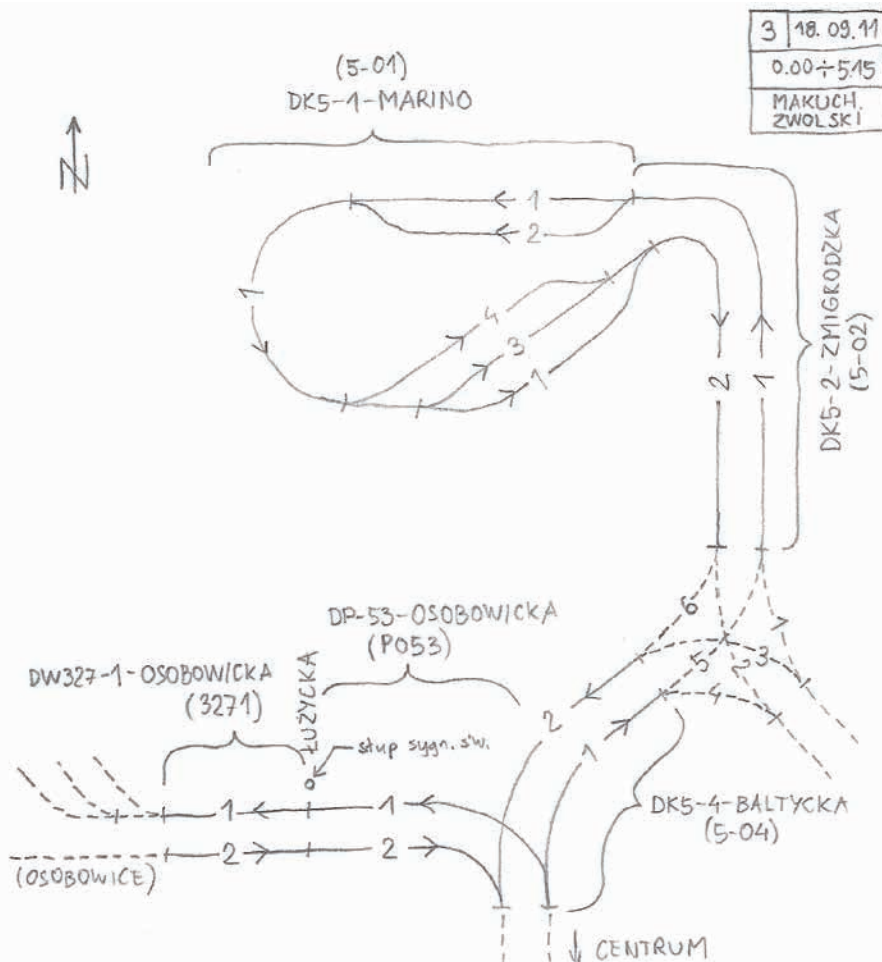
- tory szlakowe,
- pętle albo krańcówki,
- węzły rozjazdowe.

Pomiarami nie objęto torów, po których nie odbywał się ruch tramwajów, ze względu na prowadzone odcinkowo przebudowy (ul. Św. Jadwigi, część torów na pl. Bema, ul. Pułaskiego między ul. Traugutta i ul. Kościuszki). Łącznie pomiary wykonano dla 185 km toru pojedynczego.

W przeciwieństwie do krajowej sieci kolejowej, gdzie poszczególne linie są ponu-

symbol	skrót	znaczenie
	E	peron
	S	spływ
	)	wybuksowania
	Y	wychłapy
	Z	zużycie boczne

Tab. 2. Zdarzenia lub usterki bez zmiany znaczenia



3. Przykładowy szkic z trzeciej w kolejności nocy pomiarowej

merowane i skilometrowane (wg instrukcji Id-12), wrocławska sieć tramwajowa nie posiada oznaczeń poszczególnych linii (zarówno kodowych jak i opisowych) ani oznaczeń ich długości (zarówno w terenie, jak i na mapach). Zarządzający infrastrukturą używa jedynie numeracji torów. Wzdłuż odcinków szlakowych stosowana jest zasada, że tor na kierunku z centrum otrzymuje nr 1, natomiast na kierunku do centrum – nr 2. Dla pętli, krańcówek i węzłów numerację torów określają opracowane przez zarządzającego infrastrukturą schematy.

Łącznie pomiary przeprowadzono na 565 odcinkach torów. W celu umożliwienia łatwej ich identyfikacji każdy z nich otrzymywał czteroznakowy identyfikator oraz maksymalnie dwudziestoosmioznakową opisową nazwę. Przykładowo, tor wzdłuż drogi krajowej nr 5, dla drugiego w kolejności odcinka wg wykazu sporządzonego przez zamawiającego [1] otrzymał identyfikator: „5-02” i nazwę: „DK5-2-ZMIGRODZKA” (rys.3).

Jako numer toru (w ramach szlaku, pętli, węzła lub krańcówki) przyjmowano numery zgodne ze schematami przekazanymi przez zamawiającego, jednakże ze względu na fakt, iż zostały one dostarczone ponad dwa tygodnie po rozpoczęciu pomiarów, w niektórych przypadkach wystąpiły niezgodności.

Ze względu na kłopotliwą procedurę zmiany ustawień identyfikatorów i nazw odcinków podczas pomiarów, węzły tramwajowe trójkątne niepełne nie zostały potraktowane jako osobne odcinki i w stosunku do wykazu sporządzonego przez zamawiającego [1] zostały pominięte. Tory w ich granicach zostały pomierzone lecz zakwalifikowane do sąsiednich odcinków szlakowych. Również z analogicznych przyczyn tory w węzłach rozjazdowych zakończone zwrotnicami tylko z jednej strony zostały pomierzone i zakwalifikowane do sąsiednich odcinków szlakowych.

Jako początki i końce mierzonych torów przyjmowano początki zwrotnic. Biorąc pod uwagę typowe zwrotnice o promieniu 50 m stosowane we Wrocławiu, były to punkty oddalone o 65 cm przed początkami iglic. W kilkunastu przypadkach jako początek lub koniec toru konieczne było przyjęcie elementu innego niż początek zwrotnicy. Były to: słupy trakcyjne, sygnalizacji świetlnej, studzienki kanalizacyjne, wodociągowe albo początki zwrotnic w torach sąsiednich.

Jako kierunek pomiaru torów przyjmowano kierunek odbywającego się po nim ruchu tramwajowego. W kilku przypadkach (niektóre wjazdy do zajezdni albo żeberkowe tory zakończone ślepo) przyjęto

kierunek odwrotny. W przypadku jednokierunkowych odcinków linii prowadzących ruch dwukierunkowy (ul. Przyjaźni oraz ul. Opolska) przyjmowano jeden z kierunków ruchu tramwajów po tych torach.

Pomiary przeprowadzono w nocnych przerwach w kursowaniu tramwajów (od około godziny 23.30 do około godziny 4.30), w ciągu dwudziestu pięciu nocy w okresie między 13.09.2011 a 29.10.2011. Średnio w ciągu jednej nocy mierzono 7,4 km toru pojedynczego. Jako datę pomiaru przyjmowano dzień zakończenia pomiarów. Dla każdej nocy pomiarowej opracowano szkic z numeracją i kierunkiem mierzonych torów, nazwami i identyfikatorami (w nawiasach) mierzonych odcinków, datą i godzinami rozpoczęcia i zakończenia pomiarów oraz nazwiskami członków zespołu pomiarowego (w prawym górnym rogu szkicu). Przykładowy szkic przedstawiono na rys.3. Liniami ciągłymi oznaczano tory mierzone danej nocy, natomiast przerywanymi – tory odcinków sąsiednich pomierzone w innych terminach. W przypadku początków lub końców mierzonych torów innych niż początek zwrotnicy, na szkicach podawano sposób ich lokalizacji.

Zespół pomiarowy stanowiły dwie osoby: jedna obsługująca toromierz i druga zabezpieczająca wykonywane pomiary. W przypadku torów tramwajowych wbudowanych w jezdnię ulic z dopuszczonym ruchem samochodów po torowisku, dodatkowe zabezpieczenie stanowił samochód z żółtym światłem pulsującym na dachu, jadący bezpośrednio za osobą prowadzącą toromierz.

Analiza wyników przeprowadzonych pomiarów

Efektom przeprowadzonych pomiarów był zbiór plików komputerowych wygenerowanych z toromierza, których dalsza analiza (odchyłki dopuszczalne, raporty, wykresy, ocena syntetyczna) była możliwa przy pomocy programu komputerowego „TEC1435 Ver. 1.2.6” firmy GRAW.

Dla każdego zmierzonego odcinka torów toromierz generował pliki czterech typów, z rozszerzeniami: „bpt”, „dat”, „PAR” i „txt”. Dwa pierwsze typy plików, zawierały wyniki przeprowadzonych pomiarów, trzeci typ - były to pliki tekstowe (edytowalne) z podstawowymi parametrami mierzonych odcinków, a czwarty - pliki (na razie puste) raportów tekstowych mierzonych odcinków torów. Łącznie wygenerowanych zostało 565 x 4 = 2260 plików. W celu ułatwienia identyfikacji plików ich nazwy były tworzone przez toromierz według następującego schematu: zaczynały się od dużej litery „L”, po której

podawany był czteroznakowy identyfikator odcinka, następnie po podkreślniku duża litera „T” i numer toru, a po kolejnych podkreślnikach:

- kilometr początku toru (np.: KM0_000),
- data wykonania pomiaru (np.: DP2011_09_20),
- data zgrania pliku z rejestratora (np.: DA2011_09_21).

Oprócz pomierzonych czterech podstawowych parametrów geometrii toru (szerokość, przechyłka, nierówności poziome i pionowe) program komputerowy wyliczał ponadto dwa dodatkowe parametry geometrii toru:

- gradient szerokości,
- wichrowatość (na bazie 5 m).

W zakresie oceny syntetycznej, dla zadanych długości pomierzonych odcinków torów program komputerowy wyliczał:

- odchylenia standardowe i wadliwości (dla wszystkich sześciu parametrów geometrycznych),
- dwie syntetyczne miary oceny stanu torów: wskaźnik stanu toru J oraz wadliwość pięcioparametrową W5.

Kluczowe znaczenie dla analizy wyników przeprowadzonych pomiarów miał dobór wartości odchyłek dopuszczalnych. Niestety obowiązujące przepisy tramwajowe [3] nie precyzują ich wartości dla wszystkich przebadanych parametrów geometrii toru. W takiej sytuacji często sięga się po przepisy kolejowe [4], według których wartości odchyłek dopuszczalnych są uzależnione od prędkości jazdy (od 20 do 200 km/h). Dla tramwajów odpowiednie byłoby w tej sytuacji zakładanie prędkości 50 km/h dla odcinków szlakowych oraz 20 km/h dla węzłów, pętli i krańcówek. Wobec przedstawionych powyżej problemów, dla przeprowadzonych badań zamawiający sam sprecyzował zestaw wartości odchyłek dopuszczalnych [1]. Porównanie różnych sposobów ich określania przedstawiono w tabeli 3.

Niestety ze względu na przyjęcie kroku pomiarów toromierza na wartości 1 m niemożliwa była ocena nierówności pionowych i poziomych według wartości odchyłek dopuszczalnych określonych tak jak w przepisach - dla bazy o długości 10 m (ze względu na drezyny pomiarowe). Toromierz mierzy te nierówności na znacznie krótszej bazie wynoszącej tylko 1 m i jedynie przy kroku pomiarów równym 0,5 m jest w stanie (dzięki procedurze „sklejania”) przeliczyć zmierzone nierówności na bazę o długości 10 m. W związku z tym do analizy nierówności pionowych i poziomych przyjęto znacznie mniejsze wartości odchyłek dopuszczalnych wynoszące jedynie 0,5 mm.

Zamawiający nie określił wartości odchy-

parametr	odchyłki dopuszczalne			
	według wytycznych tramwajowych [3]	według przepisów kolejowych [4]		według zamawiającego [1]
		dla v = 50 km/h	dla v = 20 km/h	
poszerzenie toru	10 mm 15 mm - w lukach o R<100 m	17 mm	32 mm	15 mm
zwężenie toru	-	8 mm	10 mm	3 mm
gradient szerokości	-	3 mm	4 mm	3 mm
przechyłka	5% 30 mm - na prostej	25 mm	25 mm	30 mm
wichrowatość	25 mm - dla bazy 10 m	21 mm	30 mm	25 mm
nierówności pionowe	-	30 mm	50 mm	30 mm
nierówności poziome	-	29 mm	53 mm	30 mm
wskaźnik J	-	8,2	14,5	-

Tab. 3. Porównanie różnych sposobów określania wartości odchyłek dopuszczalnych

łek dopuszczalnych dla wskaźnika J , wymagał natomiast zakwalifikowania ocenianych torów do jednej z pięciu grup stanu torów. Wzorując się na analogicznych pomiarach wykonywanych niegdyś dla sieci tramwajowej w Gdańsku [5], w ocenie przyjęto następujące wartości graniczne wskaźnika J , o tym decydujące:

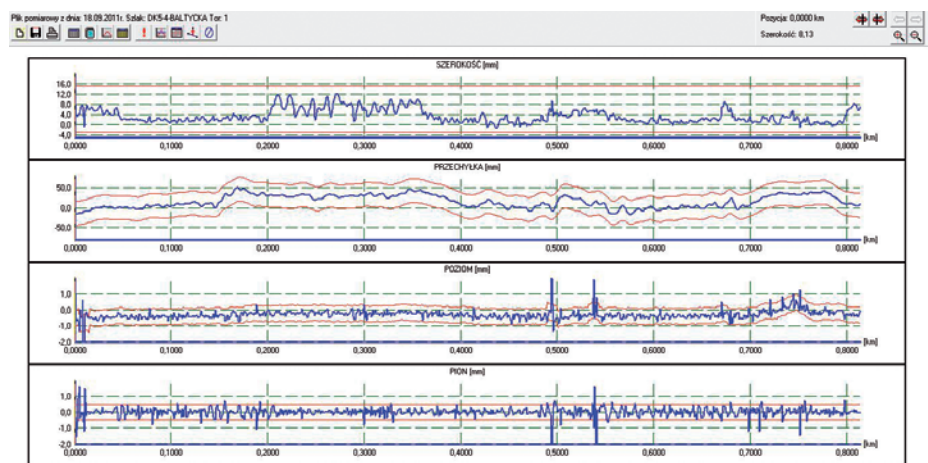
- stan bardzo dobry - dla J od 0,0 do 2,9
- stan dobry - dla J od 3,0 do 6,9
- stan przeciętny - dla J od 7,0 do 10,9
- stan zły - dla J od 11,0 do 14,9

- stan bardzo zły - dla J od 15,0

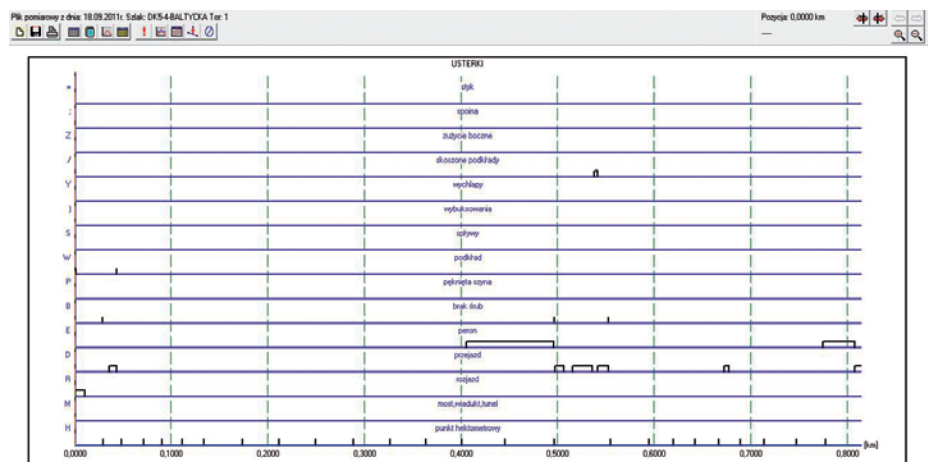
Podstawowymi narzędziami do analizy wyników przeprowadzonych pomiarów są ich prezentacje w formie graficznej (wykresy) albo tekstowej (zestawienia).

Program do obsługi toromierza umożliwia prezentowanie maksymalnie czterech wykresów na jednym ekranie bądź wydruku. Przykładowe wykresy przedstawiono na rys.4.

Gruba niebieska linia symbolizuje zmierzone wartości, natomiast cienkie czerwone – wartości odchyłek dopuszczalnych.



4. Wykresy dla czterech pomierzonych parametrów geometrycznych



5. Wykres lokalizacji zarejestrowanych zdarzeń (obiektów) i usterek

Plik pomiarowy z dnia: 18.09.2011r. Szlak: DK5-4-BALTYCKA Tor: 1

KILOMETR	SZEROKOŚĆ	GRADIENT	PRZECZYŁKA	WICHROWATOŚĆ	PION	POZIOM	USTERKI
[km]	[mm]	[‰]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
# 0.0000	8.13	0.08	-15.37	---	0.15	---	-1.42#
# 0.0010	8.21	-4.57#	-15.40	---	-0.20	---	1.01#
# 0.0020	3.64	-0.50	-15.50	2.22	-1.50#	0.68	R W
# 0.0030	3.06	0.91	-15.52	2.59	-0.60#	-0.57	R
# 0.0040	3.97	0.09	-14.29	1.63	0.09#	-0.09	R
# 0.0050	4.06	1.53	-13.04	2.47	-1.59#	-1.34	R
# 0.0060	5.59	1.35	-12.90	3.29	-0.36	0.01#	R
# 0.0070	6.94	0.64	-13.86	3.30	-0.01	-0.48	R
# 0.0080	7.50	-0.44	-13.06	3.09	-0.19	-0.45	R
# 0.0090	7.14	-7.99#	-11.00	3.67	-0.02	0.63#	R
# 0.0100	-0.05	5.18#	9.74	3.07	-1.20#	-5.72#	R
# 0.0110	4.33	2.22	-0.00	1.44	1.49#	0.42	R
# 0.0120	6.25	1.11	-10.19	1.05	-0.23	-0.14#	R
# 0.0130	7.66	-1.17	-9.99	2.44	0.00	-0.19#	R
# 0.0140	6.49	-0.05	-9.56	4.35	0.03	-0.44	R
# 0.0150	5.64	0.01	-8.69	5.68	-0.02	-0.50	R

6. Wyniki pomiarów prezentowane przez program na ekranie komputera

Plik pomiarowy z dnia: 18.09.2011r. Szlak: DK5-4-BALTYCKA Tor: 1

Prędkość: 50 [km/h]
 -3,0mm < Szerokość < 15,0mm
 -3,0mm < Gradient szer. < 3,0mm
 -30,0mm < Przechyłka < 30,0mm
 -25,0mm < Wichrowatość < 25,0mm
 -0,5mm < Pion < 0,5mm
 -0,5mm < Poziom < 0,5mm

Filtr zdarzeń i usterek:

H - punkt hektometrowy M - most, wiadukt, tunel
 R - rozjazd D - przejazd
 E - peron F - pomiar dokładny
 - styk [- ława
 U - łuk Q - przerwa
 B - brak szrub P - pęknięta szyna
 W - podkład ~ - falistość
 S - spływy) - wybuksovania
 Y - wychłapy / - skoszone podkłady
 X - ubytek szyny Z - zużycie boczne
 ; - spoina % - zachwaszczenie

Kilometr	Szerokość	Gradient	Przechyłka	Wichrowatość	Pion	Poziom	Usterki
# 0.0000	8.1	0.1	-15.3	---	0.2	-1.4#	
# 0.0010	8.2	-4.6#	-15.5	---	-0.3	1.0#	R
# 0.0020	3.6	-0.6	-15.5	2.2	-1.6#	-0.7	R W
# 0.0030	3.1	0.9	-15.5	2.6	-0.6#	-0.6	R
# 0.0040	4.0	0.1	-14.3	1.6	0.9#	-0.7	R
# 0.0050	4.1	1.5	-13.0	2.5	1.6#	-1.3	R
# 0.0060	5.6	1.3	-12.9	3.3	-0.4	0.0#	R
# 0.0070	6.9	0.6	-13.9	3.3	-0.0	-0.5	R
# 0.0080	7.6	-0.4	-13.1	3.1	-0.2	-0.5	R
# 0.0090	7.1	-8.0#	-11.0	3.7	-0.0	0.6#	R
# 0.0100	-0.8	5.2#	-9.7	3.1	-1.2#	-5.7#	R
# 0.0110	4.3	2.2	-9.8	1.4	1.5#	-0.4	R
# 0.0120	6.6	1.1	-10.2	1.0	-0.2	-0.1#	R
# 0.0130	7.7	-1.2	-10.0	2.4	-0.0	-0.2#	R
# 0.0140	6.5	-0.8	-9.6	4.4	0.0	-0.4	R
# 0.0150	5.6	0.0	-8.7	5.7	-0.0	-0.5	R

7. Wyniki pomiarów w formie wygenerowanego przez program pliku raportu

ne, gdyż nie wymaga od przeprowadzającego analizę wprowadzania do programu przebiegu geometrii toru w planie, może jednak prowadzić do pewnych przekłamań (np. w przypadku zdeformowanego toru, wystarczy że deformacje te będą równomierne, a zostaną przez program potraktowane jako poprawna geometria!). Kluczowy w tym wypadku jest dobór odpowiedniej wartości parametru „delta”. Dla pomiarów w torach kolejowych zwykle przyjmuje się wartość wynoszącą 40 m. W torach tramwajowych, gdzie stosuje się znacznie mniejsze wartości promieni łuków poziomych, przy-

program pliku raportu tekstowego (tu również z nie skorygowanym opisem znaczenia zdarzeń i usterek).

W kolejnych wierszach zestawień przedstawiane są wyniki pomiarów dla kolejnych punktów.

Przekroczenie przez którykolwiek z sześciu analizowanych parametrów wartości odchyłek dopuszczalnych jest sygnalizowane przez program wyświetleniem symbolu „#” na początku wiersza. Przekroczenie przez każdy z osobna z analizowanych parametrów wartości odchyłki dopuszczalnej jest sygnalizowane przez program wyświetle-

niem symbolu „#” po prawej jego stronie.

Na rys.8 przedstawiono raport oceny syntetycznej. Może on być wyliczany dla odcinków o długościach od 100 do 1000 m, co 100 m.

W celu kontroli poprawności pomiarów wykonywanych toromierzem, wybrane odcinki torów pomierzono dwukrotnie, a następnie porównano ze sobą. Wyniki porównania przedstawiono na rys.9. Niestety wykonanie takiego porównania nie było możliwe z poziomu programu do obsługi toromierza, gdyż nie posiada on takiej opcji. Możliwy jest natomiast eksport pliku z wynikami pomiarów do formatu programu SONIT, w którym wykonanie takich porównań jest już możliwe. Prezentowane wykresy (czarny i niebieski) wykazują wysoki poziom zgodności, jedynie za wyjątkiem krótkiego fragmentu wykresu nierówności poziomych, co najprawdopodobniej było spowodowane „wyjechaniem” rolki na krzyżownicy podczas pomiarów wykonanych 19.09.2011. Należy to zinterpretować jako potwierdzenie, iż nieregularny kształt wykresów jest realnym odzwierciedleniem rzeczywistych nierówności toru, a nie na przykład wynikiem różnego rodzaju błędów pomiarowych.

Podsumowanie

Zadaniem zespołu badawczego było przeprowadzenie jedynie podzleconych pomiarów geometrii torów, których szczegółową analizą zajął się sam zleceniodawca [6], dlatego podsumowanie artykułu nie zawiera oceny stanu wrocławskich torowisk tramwajowych, a jedynie ocenę przydatności samego urządzenia pomiarowego, jego oprogramowania oraz pewnych założeń ogólnych dla przeprowadzania pomiarów tego typu.

Spośród trzech typów toromierzy używanych obecnie w diagnostyce torów tramwajowych:

- klasyczny (mechaniczny) do pomiarów punktowych,
- elektroniczny do pomiarów punktowych,
- elektroniczny do pomiarów ciągłych,

właśnie ten ostatni najbardziej nadaje się do przeprowadzania kompleksowych badań geometrii torów tramwajowych wykonywanych przy okazji przeglądów okresowych. Kluczowa okazuje się tutaj wysoka wydajność urządzenia, która w przypadku analizowanych pomiarów wynosiła około 1,5 km toru pojedynczego na 1 godzinę pomiarów.

Paradoksalnie pewnym zagrożeniem staje się ogromna liczba wyników uzyskanych z pomiarów, co wymaga umiejętnego podejścia do problemu analizy wyników badań, a w efekcie zastosowania odpowiedniego oprogramowania.

Ocena syntetyczna stanu utrzymania toru

		Odch. standardowe							Wadliwość						
Odcinek [km]	Wskaźnik J	Szer.	Grad.	Przech.	Wichr.	Pion	Poziom	Szer.	Grad.	Przech.	Wichr.	Pion	Poziom	W5	
0,0000 0,1000	1,5	2,16	1,24	1,39	3,18	0,38	0,57	0,00	0,03	0,00	0,00	0,08	0,08	0,15	
0,1000 0,2000	2,3	0,87	0,66	2,84	7,32	0,29	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	0,07	
0,2000 0,3000	1,6	2,66	1,44	1,50	3,85	0,16	0,14	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,3000 0,4000	2,0	2,87	0,93	1,99	5,11	0,21	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,04	
0,4000 0,5000	2,8	1,74	1,15	3,11	8,18	0,34	0,40	0,00	0,02	0,00	0,02	0,05	0,05	0,12	
0,5000 0,6000	3,1	1,73	0,63	3,22	9,41	0,40	0,27	0,00	0,00	0,00	0,01	0,09	0,04	0,14	
0,6000 0,7000	2,7	1,82	0,74	3,32	8,04	0,27	0,18	0,00	0,01	0,00	0,02	0,04	0,02	0,08	
0,7000 0,8000	1,7	1,28	0,82	1,30	4,95	0,30	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,04	0,11	
0,8000 0,8140	1,1	1,08	0,71	1,76	3,01	0,08	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

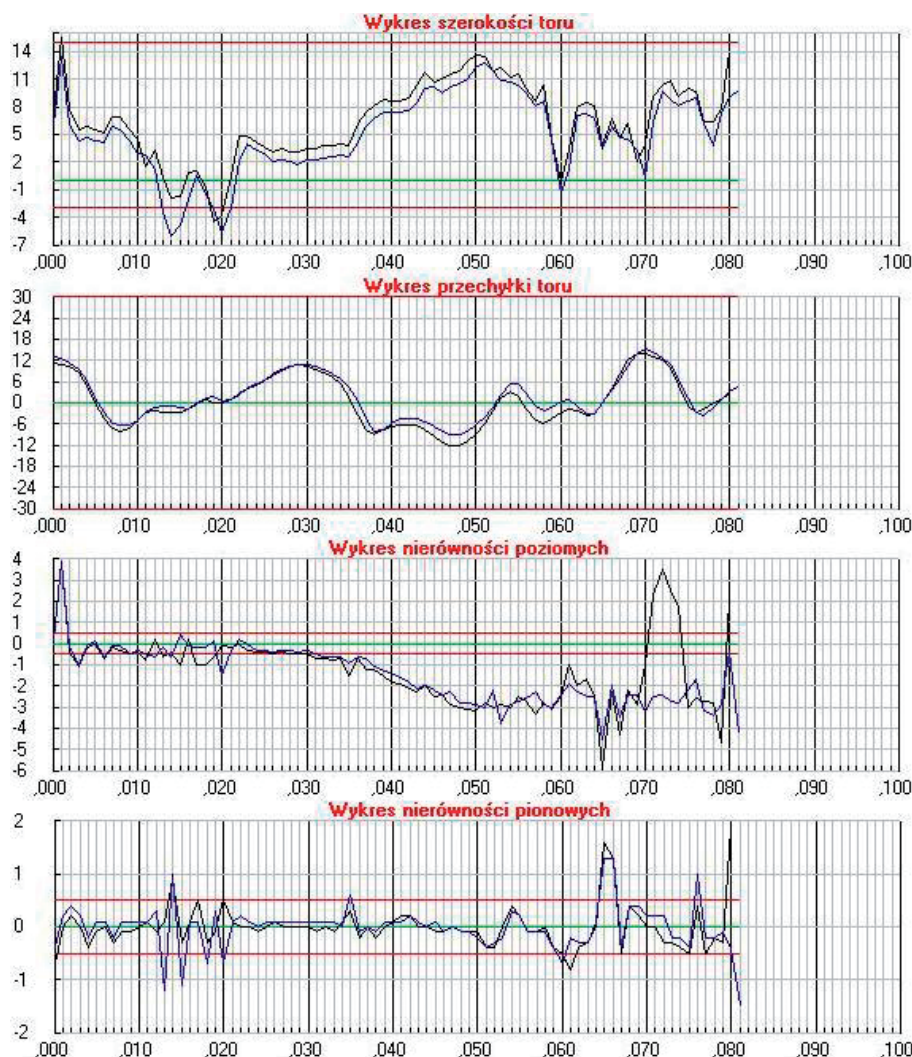
Ok

Wyliczone na odcinku 100 [m]

+

-

8. Raport oceny syntetycznej



9. Porównanie wyników pomiarów tego samego odcinka torów (wykres czarny – pomiar z 19.09.2011, wykres niebieski – pomiar z 30.09.2011)

Wykonywanie pomiarów w porze nocnej posiada zaletę w postaci braku konieczności zdejmowania toromierza w celu przepuszczenia tramwaju, co przy wysokich częstotliwościach kursowania pojazdów miejskiej komunikacji zbiorowej byłoby dużym utrudnieniem. Wadą pomiarów nocnych jest natomiast złe oświetlenie i wynikające stąd kłopoty z identyfikacją i oceną usterek torów.

Przeprowadzone pomiary i analiza ich wyników pozwoliły na sprecyzowanie pewnych niedoskonałości samego toromierza jak i jego oprogramowania:

sposób wprowadzania cyfr i liter z pulpitu rejestratora był bardzo niewygodny (długie wyszukiwanie przycisku, częste pomyłki), brak było polskich znaków diakrytycznych (ą, ę, ż ...), nie można było wprowadzić spacji (jako odstępu między dwoma słowami),

niezgodność oprogramowania ze sprzętem - w programie komputerowym obsługi toromierza występowało kilka zdarzeń lub usterek (rys.7: pomiar dokładny, ława, łuk, przerwa, falistość, ubytek szyny, zachwaszczenie), które nie posiadały dostępnych klawiszy na pulpicie rejestratora i nie mogły zostać w ogóle zarejestrowane,

parametr nierówności poziomych łatwo ulegał rozkalibrowaniu - w efekcie na odcinkach prostych wyniki pomiarów tego parametru oscylowały wokół wartości niekiedy odbiegających od zera, co prawda oprogramowanie posiada narzędzie umożliwiające skorygowanie tej rozbieżności (opcja „ustaw przesunięcie” albo „wskaż przedział zerowania poziomu”) ale jest to swego rodzaju obejście tego problemu.

Opracowując nowe modele toromierza i oprogramowania wskazane byłoby:

- umieszczenie na pulpicie rejestratora toromierza jak i w programie analizującym wyniki pomiarów kilku „pustych” zdarzeń/usterek, które użytkownik urządzenia mógłby zdefiniować sam, w zależności od zaistniałych potrzeb,
- wprowadzenie do oprogramowania toromierza opcji porównań wykresów (tak jak w programie SONIT), co może być szczególnie przydatne w przypadku porównywania tego samego odcinka torów, ale po długim okresie eksploatacji, albo przed i po naprawie (diagnostyka obrazowo-porównawcza [7]),
- wprowadzenie do oprogramowania to-

romierza opcji określenia przebiegu trasy w planie (tak jak w programie SONIT) i definiowania w oparciu o ten przebieg odchyłek dopuszczalnych dla przechyłki i nierówności poziomych, a nie tak jak obecnie - jedynie w oparciu o wartość parametru „delta”.

Kalibracja urządzenia po jego zmontowaniu w zakresie przechyłki i szerokości toru przebiegała bezproblemowo. Inaczej było w przypadku kalibracji nierówności pionowych i poziomych, gdyż do ich przeprowadzenia potrzebny był każdorazowo odcinek torów nie wykazujący zużycia w zakresie tych dwóch parametrów, co w przypadku przeprowadzonych pomiarów nie zawsze było możliwe do wykonania.

Podczas jednej nocy pomiarowej badania były prowadzone podczas „siąpiącego” deszczu. Następnej nocy rejestrator (w wyniku zawilgocenia) odmówił posłuszeństwa. Po jednodniowym suszeniu go pod żarówką lampki biurkowej, sytuacja wróciła do normy.

Przyjęcie przez zamawiającego kroku rejestracji pomiarów wynoszącego 1 m należy uznać za błąd, gdyż w przypadku odchyłek dopuszczalnych nierówności pionowych i poziomych niemożliwe było wprowadzenie ich wartości dla bazy wynoszącej 10 m (zgodnie z obowiązującymi przepisami), co skończyło się określeniem ich wartości nieco „z kapelusza”, przez co analizę tych dwóch parametrów należy uznać za niesatysfakcjonującą. Przyjęcie kroku pomiaru wynoszącego 0,5 m zmniejszyłoby zakres pracy rejestratora (bez zgrywania danych do komputera) do około 16 km toru pojedynczego, co i tak ponad dwukrotnie przewyższa średnią zdolność pomiarową przypadającą na jedną noc. Wiersze raportu wyników nie muszą być generowane dla każdego punktu pomiaru, w programie jest możliwość ustawienia pożądanej wartości tego parametru (w każdym punkcie, co n-ty punkt, tylko w punktach z przekroczeniem odchyłek dopuszczalnych). Wykonując pomiary co 0,5 m można więc było przygotować raporty wyników co 1 m (tak jak chciał zamawiający). Przyjęcie korzystniejszego kroku pomiaru wynoszącego 0,5 m zostało przed rozpoczęciem pomiarów zasugerowane zamawiającemu, z czego jednak nie skorzystał.

Przeprowadzone pomiary nierówności pionowych i poziomych torów wykonano jedynie dla lewych toków szynowych. W celu sprawdzenia prawych toków szynowych należałoby przemierzyć wszystkie odcinki jeszcze raz, ale wstecz. Takie działanie nie wymagałoby wprowadzenia nowej, odmiennej kilometracji odcinków, gdyż program daje możliwość pomiaru odległości do tyłu, od zadanej wartości wyjściowej.

Problemem byłby jedynie prawie dwa razy dłuższy czas wykonania pomiarów. W przeprowadzonych badaniach poprzestano na pomiarze nierówności pionowych i poziomych jedynie w lewych tokach szynowych, zakładając że występujące w prawych tokach szynowych, będą osiągały porównywalne wartości.

Dokonana przy okazji przeprowadzonych pomiarów analiza podziału na odcinki sieci torów tramwajowych we Wrocławiu (zestawienie sporządzone przez zamawiającego [1]) uwiarydla pewne jej niedoskonałości. W niektórych miejscach niepotrzebny jest podział na dwa sąsiadujące ze sobą odcinki, nie oddzielone od siebie węzłem (np. ul. Szczytnicka i Curie-Skłodowskiej), w innych zaś taki podział powinien nastąpić, wraz z ustanowieniem nowego węzła rozjazdowego (np. skrzyżowanie ul. Kazimierza Wielkiego i Widok).

Niekorzystny jest również przyjęty niekiedy sposób numeracji torów (losowy, nieuporządkowany, albo powodujący, że zastosowane numery torów w węzłach rozjazdowych pozostają w sprzeczności z numerami torów sąsiednich odcinków szlakowych). W przypadku precyzowania założeń dla przeprowadzenia analogicznych pomiarów w przyszłości wskazane byłoby skorygowanie tych niedociągnięć.

Przy najbliższej nowelizacji przepisów tramwajowych wskazane jest określenie pełnego zestawu odchyłek dopuszczalnych parametrów geometrycznych torów,

co najmniej dla dwóch przedziałów prędkości (osobno dla odcinków szlakowych, a osobno dla pętli, krańcówek i węzłów), a może nawet wzorem kolei - dla kolejnych prędkości (od 20 do 80 km/h, co 10 km/h).

Na zakończenie wypada wspomnieć o pewnej ogólnej niedoskonałości toromierzy w stosunku do drezyn pomiarowych. Otóż te drugie wywierają naciski na szynę porównywalne z rejestrowanymi podczas przejazdu normalnych pojazdów szynowych, czyli jeśli w pewnych miejscach tor w wyniku zużycia eksploatacyjnego ulega ugięciom w wyniku nacisku kół przejeżdżających pojazdów, to jedynie pomiary drezyną są w stanie odzwierciedlić właściwą jego geometrię. Pomiary znacznie lepszym toromierzem, mogą nie ujawnić rzeczywistych wartości geometrycznych deformacji toru (mogą więc dawać obraz nieco zafałszowany). Dlatego na kolei oprócz toromierzy, używa się znacznie droższych drezyn pomiarowych. W komunikacji tramwajowej w Polsce, nawet w przypadku największych miast, posiadanie takiej drezyny należałoby uznać za ekonomicznie nieuzasadnione. Pewnym wyjściem z sytuacji mógłby być zakup jednej takiej maszyny i wspólne jej użytkowanie i utrzymywanie przez zarządzających infrastrukturą tramwajową w polskich miastach (co nie jest już takie łatwe jak na kolei, gdzie torami w skali niemal całego kraju zarządza jeden podmiot). ◀

Materiały źródłowe:

- [1] Specyfikacja Istotnych Warunków Zamówienia dla zadania: Wykonanie przeglądu okresowego pięcioletniego torów i rozjazdów tramwajowych we Wrocławiu. Zarząd Dróg i Utrzymania Miasta we Wrocławiu, Wrocław 2011.
- [2] Pomiary geometryczne toru tramwajowego toromierzem elektronicznym. Raport serii U/130/2011, Politechnika Wrocławska Instytut Inżynierii Lądowej Zakład Infrastruktury Transportu Szynowego, Wrocław listopad 2011.
- [3] Wytyczne techniczne projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych. Ministerstwo Administracji Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska, 1983.
- [4] Id-14 (D-75) Instrukcja o dokonywaniu pomiarów, badań i oceny stanu torów. Warszawa 2005.
- [5] Massel A. Pomiary torów tramwajowych – wnioski z badań stanu torów ZKM Gdańsk. III Seminarium Diagnostyki Nawierzchni Szynowych, Gdańsk 2001, str. 95-102.
- [6] Przegląd okresowy torów i rozjazdów tramwajowych we Wrocławiu. VI. Zestawienie ogólne. Bahn Technik Wrocław Sp. z o.o. oraz Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP Oddział Wrocław, Wrocław listopad 2011.
- [7] Bałuch H. Diagnostyka obrazowo-porównawcza jako podstawa planowania napraw toru. Przegląd Kolejowy 1998/4, str. 16-23.

ciąg dalszy artykułu Sławomira Goliszka ze stron 20-23

Materiały źródłowe:

- [1] Brzuchowska J., 2010, *Propozycje analiz zjawisk transportowych oparte na mapach rastrowych i narzędziach GIS*, Czasopismo Techniczne, Zeszyt 3.
- [2] Koziarski S. M., 1993, *Sieć kolejowa Polski w latach 1842-1918*, Instytut Śląski, Opole.
- [3] Koziarski S. M., 1993, *Sieć kolejowa Polski w latach 1918-1992*, Instytut Śląski, Opole.
- [4] Koncepcja Przestrzennego Zagospodarowania Kraju 2030.
- [5] Lijewski T., Koziarski S., 1995, *Rozwój sieci kolejowej w Polsce*, Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- [6] Longley P. A., Batty M., *Spatial Analysis*, 1997, *Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment*, London, s. 24-25.
- [7] Ratajczak W., 1992, *Dostępność komunikacyjna miast wojewódzkich Polski w latach 1948-1998*. [W:] Z. Chojnicki, T. Czyż (red.), *Współczesne problemy geografii społeczno-ekonomicznej Polski*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, s. 173-203.
- [8] Ratajczak W., 1999, *Modelowanie sieci transportowych*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- [9] Ratajski L., 1989, *Metodyka kartografii społeczno-gospodarczej*, Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych, Warszawa.
- [10] Rozkład jazdy PKP, <http://rozklad.sitkol.pl/bin/query.exe/pn?>, dostęp 15.12.2011 r.
- [11] Sierpiński G., 2010, *Miary dostępności transportowe miast i regionów*, Zeszyty Naukowe.
- [12] Taylor Z., 2004, *Rozwój i regres sieci kolejowej w Polsce*, Monografie IGiPZ PAN, Warszawa.