

Rozwiązania funkcjonalne dynamicznych pomiarów masy stosowane przy wyznaczaniu masy pojazdów w ruchu (systemy WIM)

Część I – tensometryczne płyty ważące

Functional solutions in the dynamic mass measurements used to determine the vehicle mass in motion (WIM)

Part I – Bending plates

Rafał L. Ossowski (Laboratorium Masy, GUM), **Łukasz Kurkowski** (CAT Traffic)

W artykule omówiono zasadę działania, sposób montażu oraz obecne możliwości pomiarowe jednego z rozwiązań funkcjonalnych – tensometrycznych płyt ważących – stosowanego obecnie w systemach preselekcyjnego ważenia pojazdów w ruchu m.in. na autostradzie A2. Wskazano również, jakie działania, zdaniem Głównego Urzędu Miar, należałoby podjąć, aby systemy wyznaczające masę pojazdów w ruchu, oparte na tensometrycznych płytach ważących, mogły być w przyszłości wykorzystane do celów administracyjnych.

The article discusses the principle of operation, mounting and the current measurement capabilities of one of the functional solutions – the bending plates – applied currently in the pre-selection WIM systems on the example of the solution installed on the A2 motorway. Also indicated what activities, in the opinion of the Central Office of Measures should be taken to be able to use the WIM systems based on the bending plates for administrative purposes in the future.

22

Wprowadzenie

Dobrze funkcjonującą infrastrukturę drogową na terenie danego państwa można by metaforycznie przyrównać do wydajnego układu krwionośnego w żywym organizmie. Stąd też zasadne zdaje się być, przez pewną analogię, przywiązywanie coraz to większej wagi do profilaktyki w utrzymaniu nowopowstałych dróg i mostów, zamiast działań naprawczych w stosunku do tych obiektów. Bezspornie jednym z ważniejszych czynników, mających negatywny wpływ na okres eksploatacji i stan nawierzchni drogowych, są pojazdy przekraczające dopuszczalną masę całkowitą, tzw. pojazdy przeciążone [1]. Od wielu lat na terenie Polski testowane są systemy wyznaczania masy pojazdu w ruchu (*Weigh In Motion systems* – WIM), które obecnie mogą pracować jedynie jako urządzenia preselekcyjne, gdyż nie są objęte prawną kontrolą metrologiczną, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 25 września 2007 r. w sprawie wy-

magań, którym powinny odpowiadać wagi samochodowe do ważenia pojazdów w ruchu, oraz szczegółowego zakresu badań i sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych (Dz. U. Nr 188, poz. 1345) [2]. Badania naukowe w zakresie wyznaczania charakterystyk metrologicznych dla systemów WIM są prowadzone m.in. przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie [3]. Zaproponowane przez AGH nowatorskie rozwiązania przełożyły się na wzrost dokładności tych urządzeń w ciągu ostatniej dekady, czego dowodem są opublikowane w wielu czasopiśmie branzowych rezultaty badań [4]. Należące do AGH stanowisko badawczo-pomiarowe WIM w terenie, jest wyposażone w jeden rodzaj czujników nacisku – czujniki piezoelektryczne (*piezoelectric sensors*), co w pewnym stopniu ogranicza jego funkcjonalność jako uniwersalnego stanowiska badawczego. Należy zauważyć, że równolegle rozwijane są również inne technologie stosowane przy pomiarach dynamicznych

masy, takie jak czujniki kwarcowe (*quartz sensors*) oraz płyty tensometryczne (*bending plates*) [5, 6]. Poniżej skupiono się na możliwościach praktycznego wykorzystania tych ostatnich elementów do wyznaczania masy pojazdów w ruchu, poruszających się z dużymi prędkościami ($v \geq 40$ km/h).

Czujniki tensometryczne

Przy pomiarze wielu wielkości mechanicznych dla konstrukcji inżynierskich stosuje się własność odkształcenia sprężystego, którego jednostkowa wartość ε jest opisana zależnością:

$$\varepsilon = \Delta L/L \quad (1)$$

gdzie:

L – długość elementu roboczego nie poddanego działaniu sił,

ΔL – względna zmiana długości elementu roboczego, spowodowana przyłożeniem siły.

Najpowszechniej stosowanymi elementami roboczymi, ze względu na ich prostotę konstrukcji oraz dobrze poznaną zasadę działania są tensometry oporowe, dla których występujące zewnętrzne naprężenia przekładają się bezpośrednio na zmianę wymiarów geometrycznych elementów (cienkich drucików lub folii przewodzących, gdyż w takiej formie najczęściej występują czujniki tensometryczne). W rezultacie wywołuje to zmianę oporności czujnika, a jego odkształcenie można wyznaczyć z podstawowego równania stosowanego w tensometrii:

$$\varepsilon = k_t \cdot \Delta R/R \quad (2)$$

gdzie:

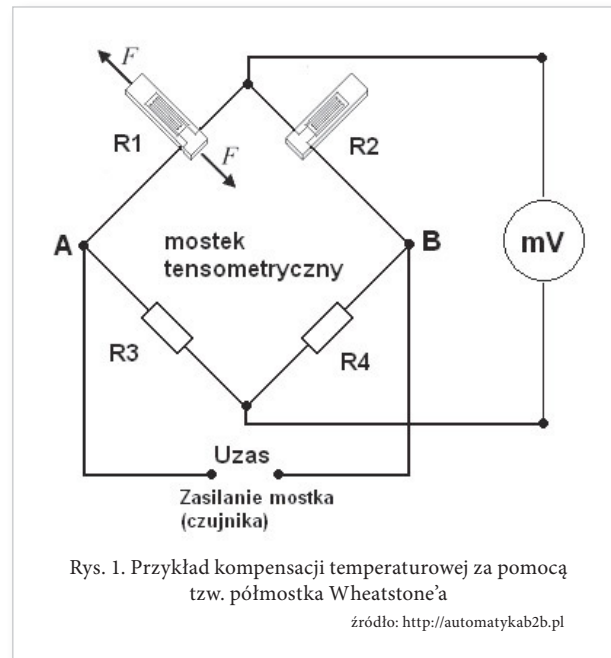
R – opór początkowy tensometru,

ΔR – przyrost oporności powiązany z przyłożeniem sił,

k_t – stała tensometru, bezpośrednio powiązana z właściwościami materiału, z którego wykonano czujnik.

Zastosowanie czujników tensometrycznych, jako elementów roboczych, jest powiązane z koniecznością kompensacji wpływu na poprawną pracę czujników warunków wewnętrznych i zewnętrznych, a w szczególności temperatury. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest zastosowanie dwóch lub czterech czujników tensometrycznych pracujących w ukła-

dzie półmostka lub pełnego mostka Wheatstone'a [7]. Przykładowe rozwiązanie kompensacji temperaturowej stosowane w urządzeniach wykorzystujących czujniki tensometryczne zostało przedstawione na rys. 1.



Niekwestionowane zalety urządzeń korzystających z czujników tensometrycznych to możliwość dokonywania za ich pomocą pomiarów statycznych oraz dynamicznych, a także względna łatwość wzorcowania – w większości przypadków procedurę wzorcowania można z powodzeniem przeprowadzić w trybie statycznym pracy urządzenia, które docelowo pracuje w trybie dynamicznym. Za wadę układów pomiarowych opartych na tensometrach można uznać niewielkie (rzędu kilku μV) napięcie wyjściowe z czujnika. Nakłada to na konstruktora urządzenia pewien reżim technologiczny (odpowiednie ekranowanie – separacja – przewodów od potencjalnych źródeł zakłóceń), a na projektanta i instalatora obostrzenia związane z ograniczoną długością przewodów (zwykle do kilku metrów) pomiędzy zestawem czujników a wzmacniaczem. Może to być niewygodne w przypadku projektowania stanowisk pomiarowych z dużym rozproszeniem czujników, np. na drogach wielopasmowych, tak jak ma to miejsce w przypadku urządzeń służących do wyznaczania masy pojazdów w ruchu (WIM).

Prawna kontrola metrologiczna urządzeń wykorzystujących czujniki tensometryczne

Powszechne stosowanie czujników tensometrycznych w urządzeniach ważących statycznie, począwszy od wag powszechnego użytku, np. wag sklepowych, a skończywszy na pomostowych wagach kolejowych, jest bezpośrednio powiązane z otrzymywaną w trakcie pomiarów dużą powtarzalnością oraz stabilnością wskazań w szerokim zakresie [8,9]. Ponadto producenci mają możliwość przeprowadzenia certyfikacji tych podzespołów na zgodność z zaleceniami OIML R-60 [10]. Wystawione przez jednostkę notyfikowaną, po przeprowadzeniu różnych badań, certyfikaty umożliwiają późniejsze ich uwzględnienie w procesie oceny zgodności, a w przypadku grupy urządzeń podlegających prawnej kontroli metrologicznej, również podczas legalizacji pierwotnej. Podjęcie przez krajowych wytwórców czy przedstawicieli producentów wag z zagranicy działań w tym zakresie zdaje się być właściwym krokiem w kierunku zgromadzenia kompletu badań, które w przyszłości umożliwią traktowanie systemów HS-WIM (*High Speed Weigh In Motion*), zbudowanych na bazie urządzeń wykorzystujących czujniki tensometryczne, na równi z wagami wolnoprzejazdowymi (wagi, na których limitowana jest prędkość przejazdu przez zespół nośni – zazwyczaj poniżej 15 km/h). W rezultacie tak skonstruowane i przebadane urządzenia mogłyby, w świetle obowiązujących przepisów krajowych, podlegać prawnej kontroli metrologicznej [2].

System preselekcyjnej kontroli masy pojazdów wykorzystujący tensometryczne płyty ważące

Wspólne skorelowane działań: Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA), czyli finansowania nowych stanowisk pomiarowych – oraz

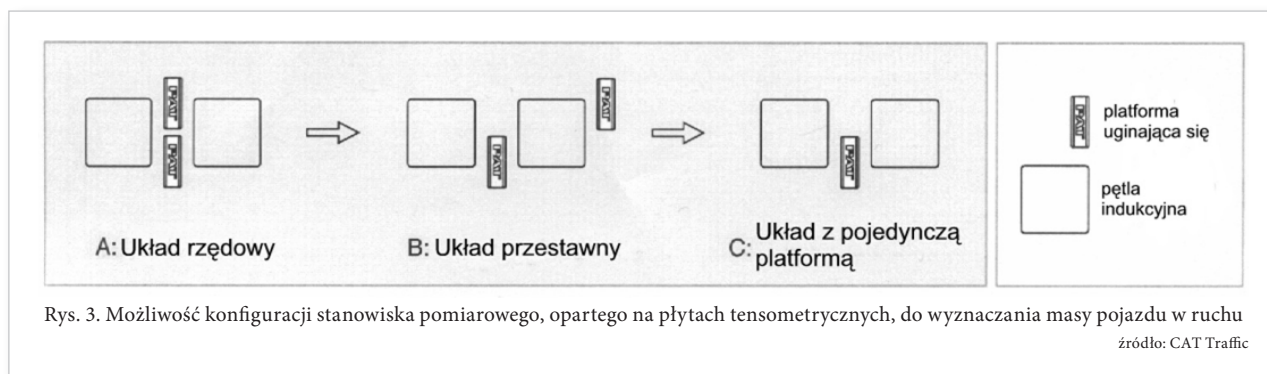


Rys. 2. Wielofunkcyjne stanowisko pomiarowe GDDKiA na autostradzie A2, pas południowy – kierunek Warszawa (po lewej) i północny – kierunek Świecko (po prawej)

fol. Laboratorium Masy GUM

Generalnej Inspekcji Transportu Drogowego (GITD), czyli kontroli wykonywanych w terenie – mają doprowadzić do rzeczywistego wzrostu bezpieczeństwa w ruchu drogowym oraz do wydłużenia okresu eksploatacji wybudowanych i naprawianych dróg publicznych oraz mostów. Działania są wielokierunkowe, a jednym z nich jest budowanie wielofunkcyjnych stanowisk pomiarowych, wyposażonych w system HS-WIM, umożliwiających m.in. pomiar szybkości i wysokości pojazdu, odczyt danych meteorologicznych oraz wyznaczenie masy pojazdu w ruchu. Przykładem wielofunkcyjnego stanowiska może być oddany do użytku na początku 2015 r. zespół stanowisk pomiarowych na autostradzie A2, na których wyznaczanie masy całkowitej pojazdu w formie preselekcji odbywa się z wykorzystaniem tensometrycznych płyt ważących (rys. 2).

Wykorzystywane do wyznaczania nacisku płyty tensometryczne oraz identyfikujące pojazd pętle in-



Rys. 3. Możliwość konfiguracji stanowiska pomiarowego, opartego na płytach tensometrycznych, do wyznaczania masy pojazdu w ruchu
źródło: CAT Traffic

dukcyjne mogą pracować w kilku konfiguracjach, które schematycznie zaprezentowano na rys. 3.

Z przeprowadzonych przez producenta urządzeń doświadczeń wynika, że zastosowane na A2 rozwiązanie – układ przestawny (rys. 3B) daje lepsze rezultaty niż powszechnie stosowany układ rzędowy (rys. 3A). Podobnie badania przeprowadzone przez AGH jednoznacznie wskazują, że multiplikacja piezoelektrycznych czujników nacisku w stanowisku pomiarowym przekłada się na nieliniowy wzrost dokładności wskazań systemu WIM [11]. Analogicznie sytuacja powinna wyglądać w przypadku płyt tensometrycznych, choć badań w tym zakresie na terenie Polski jeszcze nie przeprowadzono. Omawiane stanowisko, w szczególności część na pasie północnym, ze względu na dość nietypowe umiejscowienie płyt – rzędowo-przestawne, przy niewielkiej modyfikacji, tj. zamontowaniu dodatkowej płyty lub płyt w drugim pasie, mogłoby być wykorzystane do wykonania tego typu badań (rys. 4). Na podstawie otrzymanych wyników można by jednoznacznie odpowiedzieć na następujące, kluczowe pytania:

1. Które z możliwych rozwiązań podczas montażu (układ rzędowy, dwurzędowy czy przestawny) jest korzystniejsze, biorąc pod uwagę stosunek ceny do ogólnej efektywności pomiarowej urządzenia?
2. Na ile zwiększenie ilości rzędów płyt przełoży się na dokładniejsze wskazania wykonanego w ten sposób systemu WIM?
3. Czy tak skonstruowany system WIM, mając na uwadze wykorzystane w nim, dobrze znane rozwiązania oparte na tensometrach, zbliży się do dokładnością do wag wolnoprzejazdowych, co umożliwiłoby w przyszłości objęcie wykonanych w tej technologii systemów HS-WIM prawną kontrolą metrologiczną?

Do zalet systemów wykorzystujących płyty tensometryczne należy również zaliczyć łatwość korekty ustawienia uginającego się w trybie roboczym pomostu (płyty) już po instalacji w warstwie nawierzchniowej. W trakcie eksploatacji, bez ponownej ingerencji w warstwę ścieralną oraz podłoże drogi, można dokonać niezbędnych ustawień. W razie zaistniałej konieczności płyty tensometryczne, można dostosować do nawet silnie z czasem zdegradowanej nawierzchni przy niewielkim nakładzie osobowo-finansowym i niejednokrotnie bez konieczności



Rys. 4. Obecne rozmieszczenie płyt tensometrycznych, wyznaczających masę pojazdu, na pasie północnym autostrady A2 – kierunek Świecko

fol. Laboratorium Masy GUM

zazwyczaj kosztownego czasowego wyłączenia drogi z ruchu.

Uzyskanie w systemach HS-WIM dokładności, przy której popełnienie błędu względnego byłoby na poziomie nieprzekraczającym 1 %, umożliwiłoby samodzielną, praktycznie bezobsługową pracę tych urządzeń (zdalne zbieranie danych, zcentralizowaną kontrolę stanowisk) i nie wymagałoby dodatkowych inwestycji, powiązanych z budową osobnych stacji pomiarowych. W tej chwili nieodłącznym elementem, wchodzącym w skład zespołu jest przygotowany odpowiednio pod względem infrastrukturalnym



Rys. 5. Stanowisko do wyznaczania masy pojazdu wagami, podlegającymi prawnej kontroli metrologicznej, na autostradzie A2 – kierunek Świecko

fol. Laboratorium Masy GUM

(jakość i trwałość podłoża oraz wzmacniane zgłębienia pod umiejscowienie wag legalizowanych) zjazd przeznaczony do kontroli masy pojazdu wagami legalizowanymi (rys. 5), a więc dodatkowe stanowisko-stacja, stosowane w Polsce głównie do statycznego pomiaru masy, choć znane są rozwiązania wykorzystujące wagi wolnoprzejazdowe [12]. Zjazd musi być zlokalizowany w niedalekiej odległości od punktu kontroli preselekcyjnej. Pociąga to za sobą szereg niedogodności i ograniczeń nawet w stosowaniu systemów HS-WIM jako preselekcyjne, gdyż już na etapie studium wykonalności projektu część lokalizacji nie może być brana pod uwagę, nie wspominając już o oczywistych, znacząco wyższych kosztach budowy kompletnego stanowiska, a także późniejszej bieżącej obsługi przez zespoły ITD.

Podsumowanie

Opisane w artykule rozwiązanie dynamicznego wyznaczania masy pojazdów w ruchu jest oparte na jednym z lepiej znanych od strony metrologicznej rozwiązań – wykorzystaniu czujników tensometrycznych. Różnorodność formy i prostota konstrukcji, powiązane z dużym doświadczeniem w praktycznym zastosowaniu czujników, również w wolnoprzejazdowych systemach WIM, pozwala z pewnym optymizmem spojrzeć na ich potencjalne wykorzystanie w administracyjnych systemach WIM. Niemniej konieczne nadal zdaje się być przeprowadzenie badań praktycznych, zarówno w formie modułowej, jak i kompletnego urządzenia *in situ*. Biorąc pod uwagę niezwykle wysokie koszty nowych stanowisk pomiarowych, rozsądnym wydaje się, wykorzystanie do tego celu, za zgodą GDDKiA, zespołu wielofunkcyjnych stanowisk pomiarowych na autostradzie A2. Otrzymane w ten sposób wyniki mogą stanowić pewną bazę do porównań skuteczności różnych rozwiązań stosowanych w systemach WIM, do czasu budowy dedykowanego do tego celu nowego stanowiska pomiarowego.

Literatura

- [1] Rafalski L.: *Bezpieczeństwo ruchu drogowego w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem pojazdów ciężkich*, Materiały Konferencyjne: Bezpieczeństwo w transporcie drogowym i kolejowym, Volume: 1, Warszawa 2012.
- [2] <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20071881345>.
- [3] Ossowski R. L., Burnos P.: *Ważenie pojazdów w ruchu. Stan obecny oraz perspektywy zastosowania systemów Weigh-In-Motion w celach administracyjnych*, Metrologia i Probiernictwo – Biuletyn Głównego Urzędu Miar, 1-2 (8-9), Warszawa 2015.
- [4] Gajda J., Sroka R., Stencel M., Żegleń T., Piwowar P., Burnos P., Marszałek Z.: *Design and accuracy assessment of the multi-sensor weigh-in-motion system*, 2015 IEEE international Instrumentation and Measurement Technology Conference, Włochy, 2015.
- [5] Cornu D.: *The Role of Quartz Sensors for Bridge Applications*, Kistler, Szwajcaria.
- [6] http://www.irdinc.com/public/uploads/products_document/49/1384360432_PAT_BendingPlate_1004.pdf
- [7] Craig, J. I.: *AE3145 Resistance Strain Gage Circuits*, Course Materiale, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 2000.
- [8] http://www.omega.com/techref/pdf/strain_gage_technical_data.pdf
- [9] <http://dtsweb.com/library/tech/Load%20Cell%20Primer.pdf>
- [10] https://www.oiml.org/en/files/pdf_r/r060-e00.pdf
- [11] Gajda J., Sroka R., Stencel M., Żegleń T.: *Multi-sensor weigh-in-motion system*, International Conference on Heavy Vehicles HV, Paris 2008.
- [12] Strathman J. G.: *The oregon dot Slow-Speed Weigh-In-Motion (SWIM) project*, Portland State University, Portland, 1998.