

Piotr BURNOS

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KATEDRA METROLOGII

Autokalibracja systemów WIM, a korekta temperaturowa wyników ważenia**Mgr inż. Piotr BURNOS**

Absolwent Wydziału Elektrycznego Akademii Górniczo-Hutniczej. Studia na kierunku Elektrotechnika, specjalność Automatyka i Metrologia, ukończył w 2005 roku. Jest zatrudniony na stanowisku asystenta w Katedrze Metrologii AGH. Zainteresowania naukowe dotyczą statystycznych metod analizy danych, identyfikacji obiektów oraz pomiarów parametrów ruchu drogowego.



e-mail: burnos@agh.edu.pl

Streszczenie

W pracy omówiono dwie metody kompensacji wpływu czynników atmosferycznych na dokładność ważenia pojazdów z wykorzystaniem systemów WIM: autokalibrację oraz korektę temperaturową wyników ważenia. Rozważono wpływ parametrów ruchu drogowego, właściwości stanowiska oraz jakości wstępnej kalibracji systemu WIM na dokładność obydwu metod. Przedstawiono schemat badań symulacyjnych oraz wyniki pochodzące z systemu ważącego zainstalowanego na drodze nr 1 w miejscowości Gardawice.

Słowa kluczowe: ważenie pojazdów samochodowych, systemy WIM, autokalibracja, korekta temperaturowa

Auto-calibration and temperature correction of WIM systems**Abstract**

The paper deals with the problem of compensation factors affecting the WIM system accuracy. Based on the simulation results, two methods of compensation have been presented and compared: auto-calibration and temperature correction. The influence of traffic parameters, system parameters and pre-calibration accuracy has been investigated. Data analysis from WIM site at road number 1 in Gardawice also has been shown.

Keywords: weighing of the vehicles, WIM systems, autocalibration, temperature correction

1. Wstęp

Ważenie pojazdów z wykorzystaniem szybko przejazdowych systemów ważących zdobywa coraz większą popularność. Systemy takie, potocznie nazywane WIM od angielskojęzycznej nazwy Weight In Motion, posiadają niewątpliwie zalety na tle wolno przejazdowych oraz statycznych stanowisk ważących, gdyż umożliwiają:

- wykrycie pojazdu przeciążonego bez zatrzymania, a co za tym idzie ograniczenie strat finansowych związanych z postojem pojazdu,
- zaangażowanie mniejszych nakładów pieniężnych i ludzkich do kontroli,
- nieprzerwane działanie systemu.

Ważenie pojazdu odbywa się bez świadomego udziału użytkownika drogi. Czujniki nacisku są montowane bezpośrednio w jezdni prostopadle do kierunku ruchu w taki sposób, że osie ważonego pojazdu przetaczają się przez te czujniki. Systemy WIM mogą pracować w oparciu o różne rodzaje przetworników

nacisku np.: kwarcowe, pojemnościowe lub piezoelektryczne, jednak ze względu na konkurencyjną cenę, powszechne zastosowanie znajdują jedynie te ostatnie. Wykonane w postaci taśm o długości około 4 metrów, czujniki piezoelektryczne montuje się pod nawierzchnią jezdni, która pośredniczy w przenoszeniu nacisku na czujnik. Jest to źródłem głównej przyczyny ograniczonej dokładności uzyskiwanych wyników ważenia, gdyż asfalt jest lepiszczem, którego właściwości fizyko-mechaniczne są funkcją temperatury i czasu obciążenia. Wraz ze zmianą tych wielkości zmienia się przede wszystkim konsystencja materiału bitumicznego charakteryzowana przez lepkość i sprężystość [1]. Zależnie od rodzaju, temperatury i czasu obciążenia, asfalt może znajdować się w stanie: lepkim, lepko-sprężystym i sprężystym co ma niewątpliwie wpływ na sygnał pomiarowy docierający do czujnika nacisku. Do innych przyczyn niestacjonarności systemów WIM należy zaliczyć zmiany czułości wzdłuż czujnika nacisku oraz efekt starzenia użytych komponentów. Wpływ tych niekorzystnych zjawisk na otrzymywane wyniki można ograniczyć poprzez zastosowanie jednej z dwóch metod kompensacji niestacjonarności systemów ważących: autokalibracji lub korekty temperaturowej wyników ważenia.

2. Autokalibracja

Celem kalibracji systemu WIM jest eksperymentalne wyznaczenie współczynnika kalibracji C , rozumianego jako liczby, przez którą należy pomnożyć uzyskane z układu pomiarowego dane, aby otrzymać ocenę nacisku statycznego osi pojazdu na podłoże lub masę całkowitą wyrażoną w kilogramach zgodnie z zależnością (1).

$$W_s = \frac{1}{C} \cdot W_d \quad (1)$$

gdzie:

W_s - skalibrowany wynik ważenia tj. masa całkowita pojazdu lub nacisk statyczny wybranej osi,

W_d - nie kalibrowany wynik ważenia tj. wynik przetwarzania sygnału nacisku z czujników systemu WIM.

Kalibrację systemów WIM można przeprowadzić na kilka sposobów: za pomocą statycznych lub dynamicznych zadajników siły, z wykorzystaniem pojazdu oprzyrządowanego posiadającego zdolność ciągłego pomiaru nacisku kół na podłoże, lub z użyciem pojazdu wstępnie zważonego. Są to metody czasochłonne, stosunkowo kosztowne, a popularna metoda pojazdu wstępnie zważonego wymaga użycia kilku samochodów ciężarowych wielokrotnie przejeżdżających przez stanowisko ważące. Stanowi to duże przedsięwzięcie logistyczne oraz często wymaga wyłączenia z ruchu fragmentu drogi.

Autokalibracja systemów WIM jest pozbawiona powyższych wad, a co istotne pozwala na kompensację zmian parametrów systemu WIM bez względu na ich przyczynę (zmiany temperatury, efekt starzenia, itp.). Idea metody polega na ciągłej estymacji współczynnika C oraz modyfikowaniu wyników ważenia zgodnie z aktualnie wyznaczoną estymatą wg zależności (1). Podstawą estymacji współczynnika kalibracji są wyniki pomiaru nacisku pierwszej osi zestawów składających się z dwuosiowego ciągnika siodłowego oraz trzyosiowej naczepy, które dalej będą zwane pojazdami odniesienia. Naciski te

charakteryzują się wartością średnią $\bar{w} = 61677$ N oraz losową zmiennością opisaną przez względne odchylenie standardowe na poziomie zaledwie 7.3%. Mała losowa zmienność uzasadnia wybór nacisku I osi tych pojazdów jako wielkości odniesienia wykorzystywanej do estymacji współczynnika kalibracji. Pojazdy odniesienia biorące udział w tym procesie są zwykłymi użytkownikami dróg, a kalibracja odbywa się podczas nominalnej pracy systemu co jest niewątpliwą zaletą metody.

W przypadku gdy występuje tylko jeden rodzaj pojazdów odniesienia, przejeżdżających przez stanowisko WIM w nieregularnych odstępach czasu, a estymacja współczynnika kalibracji musi być realizowana w sposób ciągły, do obliczeń należy użyć zmodyfikowanego, iteracyjnego algorytmu LS z wykładniczym zapominaniem [2] postaci:

$$\begin{aligned}\hat{C}_n &= \hat{C}_{n-1} + K_n (Wd_{n-1} - \bar{w} \cdot \hat{C}_{n-1}) \\ b_n &= 1/(\bar{w} \cdot P_{n-1} \cdot \bar{w} + \lambda) \\ K_n &= P_{n-1} \cdot \bar{w} \cdot b_n \\ P_n &= (P_{n-1} - K_n \cdot \bar{w} \cdot P_{n-1})/\lambda \\ \lambda_n &= \lambda_0 \cdot f(\Delta t_n) = \lambda_0 \cdot q \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta t_n}{\Delta T}\right)} + 1\end{aligned}\quad (2)$$

gdzie:

\hat{C}_n – estymata współczynnika kalibracji,
 n – numer iteracji odpowiadający numerowi kolejnego pojazdu odniesienia, który przejechał przez kalibrowane stanowisko,
 λ_n – wartość współczynnika zapominania wyznaczona w n -tej iteracji,
 λ_0 – początkowa wartość współczynnika zapominania,
 Δt_n – czas, jaki upłynął od przejazdu poprzedniego pojazdu odniesienia,
 $f(\Delta t_n)$ – funkcja wagi.
 $\Delta T, q$ – stałe współczynniki o wartościach dobieranych doświadczalnie, $q < 0$.

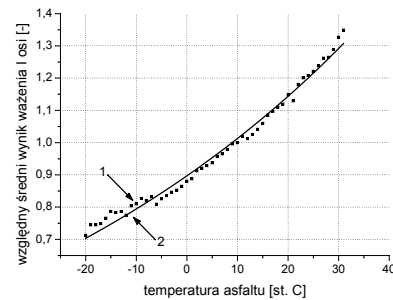
Wprowadzona modyfikacja polega na uzależnieniu bieżącej wartości współczynnika zapominania λ_n od czasu jaki upłynął od przejazdu poprzedniego pojazdu odniesienia Δt_n , a tym samym od czasu wyznaczenia poprzedniej estymaty \hat{C}_{n-1} . Adaptacyjny charakter algorytmu, pozwala ograniczyć błędy estymacji związane ze źle dobraną, stałą wartością λ_n jak w przypadku algorytmu klasycznego.

Zaproponowany algorytm zwiększa wiarygodność estymacji lecz nie zapewnia regularności wyznaczania estymaty współczynnika C. Analiza danych pomiarowych wskazuje, że w ciągu dnia przez stanowisko ważące przejeżdża około 300 pojazdów odniesienia, co oznacza że kalibracja mogłaby być przeprowadzana średnio co 5 minut. Należy jednak pamiętać, że natężenie pojazdów odniesienia zmienia się w zależności od pory dnia, a nawet pory roku co wywołuje przerwy w kalibracji dochodzące do kilku godzin. Jest to wadą proponowanego rozwiązania szczególnie w systemach istotnie niestacjonarnych.

3. Korekta temperaturowa wyników ważenia

Podstawowym warunkiem zastosowania korekty temperaturowej wyników ważenia jest wstępna kalibracja stanowiska, np.: metodą pojazdu wstępnie zważonego w wyniku czego otrzymujemy stałą wartość współczynnika kalibracji C_0 . Wraz ze zmianą temperatury asfaltu stan systemu pomiarowego będzie ulegał zmianie, a dokładność wyników ważenia pogorszy się. Kompensacja tego zjawiska wymaga znajomości modelu

zmian właściwości asfaltu w skutek zmian temperatury. Na rysunku 1 przedstawiono doświadczalnie wyznaczoną charakterystykę ukazującą omawiane zjawisko. Charakterystyka opisuje wieloczułnikowe stanowisko WIM z czujnikami piezoelektrycznymi zainstalowane na drodze nr 1 w miejscowości Gardawice.



Rys. 1. Zmiana wyników ważenia w funkcji temperatury asfaltu. 1 – wyniki pomiarów, 2 – model (3).

Fig. 1. Weighing result vs. asphalt temperature. 1–measurement result, 2–model (3).

Model, który dopasowano do otrzymanych danych ma postać :

$$C_T(T_a) = k_1 \cdot 10^{w_1(T_0 - T_a)} \quad (3)$$

gdzie:

T_a – temperatura asfaltu,
 $k_1 = 1,012860$ – współczynnik wzmocnienia,
 $w_1 = -0,005277$ – współczynnik nachylenia krzywej,
 $T_0 = 10$ – temperatura odniesienia wyrażona w [°C].

Model (3) to znana w literaturze [3] zależność określająca wpływ temperatury nawierzchni asfaltowej na jej sztywność (konsystencję), czyli pośrednio na wynik ważenia. Współczynnik w_1 jest zależny od rodzaju oraz składu asfaltu i przyjmuje wartości ujemne. Oznacza to że wraz ze wzrostem temperatury sztywność nawierzchni maleje, a nacisk wywierany na czujnik rośnie. Kompensacja temperaturowa polega na obliczaniu wartości współczynnika C_T oraz modyfikowaniu wyników ważenia zgodnie z zależnością (4).

$$W_{ST} = \frac{1}{C_0 \cdot C_T} \cdot W_d \quad (4)$$

gdzie:

C_0 – stały współczynnik kalibracji wyznaczony np. metodą pojazdu wstępnie zważonego,
 W_{ST} – skalibrowany wynik ważenia uwzględniający korektę temperaturową, tj. masa całkowita pojazdu lub nacisk statyczny wybranej osi.

Dzięki ciągłemu pomiarowi temperatury asfaltu, bieżącej korekcie podlegają wszystkie wyniki ważenia co jest niewątpliwą zaletą metody. Należy jednak pamiętać że korekta niweluje jedynie wpływ zmian temperatury asfaltu na wynik ważenia, a dokładność metody w dużej mierze zależy od jakości wyznaczonej charakterystyki temperaturowej. Na dokładność ostatecznego wyniku będzie mieć również wpływ dokładność wstępnej kalibracji stanowiska.

4. Badania symulacyjne

Celem przeprowadzonych badań symulacyjnych była ocena właściwości zaproponowanych metod kompensacji niestacjonarności systemów WIM. Za pomocą generatora liczb pseudolosowych wygenerowano zbiór 50 tysięcy liczb o rozkładzie normalnym i parametrach statystycznych charakteryzujących rozkład nacisków I osi pojazdów odniesienia,

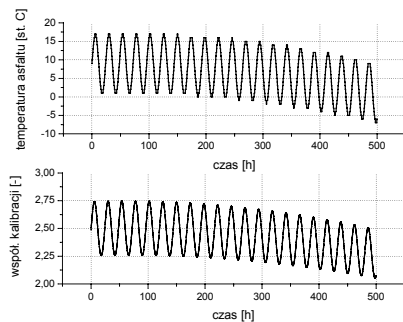
które symulowały rzeczywiste wartości wielkości mierzonej. Po transmisji przez model systemu WIM otrzymano symulowane wyniki ważenia, które stanowiły podstawę dalszych badań symulacyjnych. Model systemu musiał uwzględniać jego niestacjonarność powodowaną zmianą parametrów atmosferycznych co uzyskano poprzez uzależnienie wartości współczynnika kalibracji od temperatury asfaltu. Złożoność procesu pomiaru nacisku wymaga również, aby model uwzględniał czynniki zakłócające zależne od konstrukcji samochodu i jakości nawierzchni, tj. pionowe wahanias pojazdu, wywołujące dynamiczne zmiany nacisku osi na podłoże. Powoduje to że chwilowa wartość nacisku danej osi poruszającego się pojazdu może się różnić od wartości wyznaczonej w warunkach statycznych nawet o 40% dla jednego czujnika w systemie. Stąd badania symulacyjne przeprowadzono w oparciu o następujący model systemu ważącego [4]:

$$W_d = m_{niest} * nacisk + m_{wahań} * nacisk = C(Ta) * nacisk + z * dev * nacisk \quad (5)$$

gdzie:

m_{niest} – model niestacjonarności systemu,
 $m_{wahań}$ – model pionowych wahań pojazdu,
 nacisk – nacisk wywierany przez wybraną oś pojazdu na podłoże podczas przejazdu przez stanowisko WIM,
 $C(Ta)$ – zadana wartość współczynnika kalibracji systemu WIM, będąca funkcją Ta – temperatury asfaltu,
 z – składowa losowa o rozkładzie równomiernym z przedziału $[-0.5 \div 0.5]$,
 dev – parametr określający względną (odniesioną do nacisku) zmienność nacisku osi w wyniku pionowych wahań pojazdu.

Pierwszy wyraz (5) jest modelem wpływu Ta na wynik ważenia i ma postać (3), drugi uwzględnia błędy związane z pionowymi wahaniami pojazdu. Wykorzystując zależności (3) i (5) oraz model zmienności temperatury asfaltu (rysunek 2), wyznaczono odpowiedź W_d modelu systemu WIM o znanych parametrach. Otrzymane dane stanowiły podstawę do testów zaproponowanych algorytmów korekcji.



Rys. 2. Model zmienności temperatury asfaltu oraz zadana wartość współczynnika kalibracji

Fig. 2. Model of temperature and calibration coefficient

Za kryterium jakości algorytmów korekcji przyjęto względny błąd skuteczny wyników ważenia (6).

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \left(\frac{W_{S_i} - nacisk_i}{nacisk_i} \right)^2} \quad (6)$$

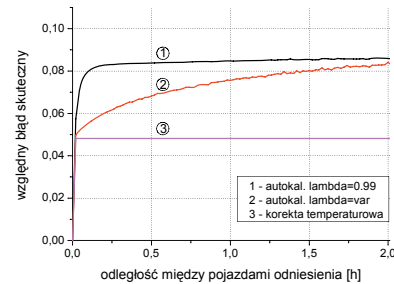
gdzie:

W_{S_i} – skorygowany wynik ważenia w i -tym ważeniu,
 N – liczba wykonanych pomiarów,
 $nacisk_i$ – rzeczywisty nacisk w i -tym ważeniu.

Rozważono wpływ parametrów ruchu drogowego, właściwości stanowiska oraz jakości wstępnej kalibracji systemu WIM na dokładność obydwu algorytmów korekcji. W procesie

autokalibracji przebadano dwa rodzaje iteracyjnych algorytmów LS: z modyfikacją ($\lambda = var$) oraz bez modyfikacji ($\lambda = const = 0.99$).

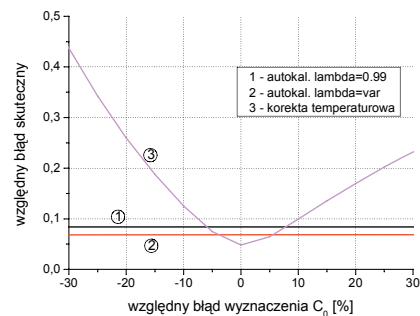
Dla korekty temperaturowej wartość współczynnika C_0 przyjęto za znaną i wprowadzono jako parametr symulacji. Podejście takie pozwoliło na niezależne badanie właściwości samej korekty oraz wpływu dokładności wyznaczenia C_0 na uzyskiwane wyniki.



Rys. 3. Wpływ odległości czasowych Δt_n na względny błąd skuteczny

Fig. 3. Relative effective error vs. distance in time between reference cars

Powyższa charakterystyka ukazuje wpływ odległości czasowych pomiędzy pojazdami odniesienia na wynik ważenia dla różnych algorytmów korekcji. Efektywność autokalibracji maleje wraz ze wzrostem odległości Δt_n , przy czym algorytm zmodyfikowany jest dokładniejszy do 2% od algorytmu klasycznego. Częstotliwość występowania pojazdów odniesienia nie wpływa natomiast na dokładność wyników korygowanych temperaturowo co wynika wprost z przedstawionej idei metody, która okazała się dokładniejsza niż metoda autokalibracji. Należy jednak pamiętać że rozpatrzono wyidealizowany przypadek, w którym znana jest wstępna wartość C_0 . W praktyce posługujemy się estymatą tego współczynnika wyznaczoną metodą pojazdu wstępnie zważonego co zmniejsza dokładność metody. Zjawisko to ukazuje rysunek 4.

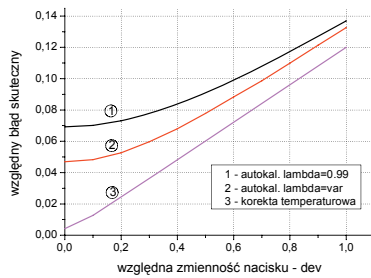


Rys. 4. Wpływ jakości wstępnej kalibracji na względny błąd skuteczny

Fig. 4. Relative effective error vs. relative error of C_0 estimation

Błąd względny wyznaczenia współczynnika C_0 na poziomie 5% powoduje że dokładność korekty temperaturowej maleje do poziomu dokładności metody autokalibracji. Błąd 15 procentowy wyznaczenia C_0 zmniejsza aż dwukrotnie dokładność korekty względem autokalibracji. Wskazuje to na dużą wrażliwość metody na jakość wstępnej kalibracji systemu WIM. Ponieważ przeprowadzone badania [5] wskazują, iż w zależności od liczby pojazdów kalibrujących ich mas oraz liczby przejazdów przez stanowisko ważące uzyskiwana dokładność kalibracji metodą pojazdu wstępnie zważonego zawiera się w granicach od kilku do kilkunastu procent to praktyczną dokładność korekty należy szacować w tych samych granicach.

Jako ostatni czynnik mający wpływ na dokładność uzyskiwanych wyników rozpatrzono jakość nawierzchni charakteryzowaną przez względną (odniesioną do nacisku) zmienność nacisku osi w wyniku pionowych wahań pojazdu dev .



Rys. 5. Wpływ względnej zmienności nacisku na względny błąd skuteczny
Fig. 4. Relative effective error vs. relative change of dynamic axle load

Z przedstawionej charakterystyki wynika że dla idealnie płaskiej nawierzchni (brak pionowych wahań pojazdów), niestacjonarność systemu powodowana zmianą temperatury asfaltu jest niemal w pełni niwelowana przez korektę temperaturową. W takich samych warunkach autokalibrowane wyniki ważenia charakteryzują się kilkuprocentową wartością błędów, co wynika z niezerowej losowej zmienności wzorca użytego do estymacji współczynnika C . Pogorszenie jakości nawierzchni objawiające się wzrostem pionowych wahań pojazdu, w podobny sposób wpływa na wyniki uzyskane obydwiema metodami. Wbrew obawom losowa zmienność wzorca autokalibracji nie jest parametrem krytycznym, co wskazuje na przydatność metody na drogach o gorszej jakości.

5. Badania doświadczalne

Dane pomiarowe uzyskano z 16 czujnikowego systemu MS-WIM zainstalowanego na drodze nr 1 w miejscowości Gardawice. System zbudowano w oparciu o czujniki piezoelektryczne, osiem indukcyjnych czujników pętlowych oraz dwa czujniki temperatury asfaltu zamontowane na początku i końcu stanowiska. Umożliwiło to uwzględnienie gradientu temperatury wzdłuż systemu. Układy kondycjonowania sygnałów oraz przetwarzania i akwizycji danych zainstalowano w szafie pomiarowej na poboczu jezdni.

Do weryfikacji zaproponowanych metod korekty niestacjonarności systemów WIM, użyto danych pochodzących z kalibracji stanowiska metodą pojazdu wstępnie zważonego. Ważenia statycznego użytych pojazdów dokonano na przenośnych wagach administracyjnych (klasa 4) stosowanych przez Inspekcję Transportu Drogowego. Ze względu na niekompletność otrzymanych danych weryfikacji algorytmów korekty dokonano w oparciu o wyniki ważenia dwóch różnych wstępnie zważonych pojazdów ciężarowych.

Dane przeznaczone do korekty temperaturowej pochodziły z ważenia pojazdu 1 i podzielono je na dwie grupy. Na podstawie wyników zawartych w grupie pierwszej wyznaczono wartość współczynnika kalibracji C_0 . Wobec grupy drugiej zaimplementowano algorytm korekty na 22 wynikach ważenia. Pojazd przejeżdżał przez stanowisko z różnymi prędkościami (od 30 km/h do 80 km/h) celem eliminacji wpływu tej wielkości na wynik. Korygowano pomiar masy całkowitej pojazdu ze względu na brak dostępu do pomiaru nacisków poszczególnych osi. Wyniki zestawiono w tabeli 1:

Tabela 1. Wyniki ważenia pojazdu 1 tj. masa całkowita.
Table 1. Car 1 - weighting results – vehicle mass.

| Lp. | Wynik ważenia statycznego [kg] | W_d [-] | W_{ST} [kg] |
|---------|--------------------------------|-----------|---------------|
| 1 | 32300 | 21836,74 | 33235,53 |
| 2 | 32300 | 21541,21 | 32785,72 |
| ... | ... | ... | ... |
| 21 | 32300 | 21214,06 | 32287,80 |
| 22 | 32300 | 21462,40 | 32665,78 |
| Srednia | 32300 | 21445,12 | 32639,48 |

Względny błąd skuteczny wyznaczenia W_{ST} zdefiniowany jako (6) wyniósł $\delta=0.0164$, przy czym za $nacisk_i$ przyjęto wynik ważenia statycznego.

Algorytm autokalibracji testowano w analogiczny sposób dla wyników ważenia 2 pojazdu wstępnie zważonego, dla którego nacisk statyczny I osi był znany. Wyniki dla 24 przejazdów zestawiono w tabeli nr 2:

Tabela 2. Wyniki ważenia pojazdu 2 tj. nacisk I osi.
Table 2. Car 2 - weighting results – first axle.

| Lp. | Wynik ważenia statycznego [kg] | W_d [-] | W_s [kg] |
|---------|--------------------------------|-----------|------------|
| 1 | 6200 | 4401,35 | 6287,65 |
| 2 | 6200 | 4168,92 | 6287,15 |
| ... | ... | ... | ... |
| 23 | 6200 | 4142,00 | 6212,77 |
| 24 | 6200 | 3980,57 | 6051,01 |
| Srednia | 6200 | 4196,16 | 6271,65 |

Względny błąd skuteczny wyznaczenia W_s wyniósł $\delta=0.0252$, czyli więcej niż dla korekty temperaturowej jednak wystarczająco mało aby wynik uznać za co najmniej zadawalający. Należy pamiętać iż otrzymanych wyników nie można porównywać wprost ze względu na różne pojazdy użyte w obydwu metodach.

6. Podsumowanie

W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych dwóch algorytmów korekty wyników ważenia. Do zalet metody autokalibracji należy zaliczyć jej uniwersalność, gdyż może być stosowana niemal w każdym systemie ważącym nawet na drogach o złej jakości. Zastępuje uciążliwy i kosztowny proces klasycznej, okresowej kalibracji stanowiska. Korekta temperaturowa wymaga dostosowania systemu do ciągłego pomiaru temperatury asfaltu, musi być poprzedzona kalibracją oraz wymaga znajomości charakterystyki temperaturowej stanowiska. Ostatni warunek jest szczególnie trudny do spełnienia w nowych systemach WIM, gdyż wyznaczenie charakterystyki temperaturowej danego systemu wymaga długookresowej rejestracji danych pomiarowych (co najmniej przez kilka miesięcy). Metoda umożliwia jednak korektę każdego wyniku ważenia co pozwala osiągnąć dużą dokładność w całej populacji ważonych pojazdów. Jak wynika z zaprezentowanych badań osiągnięte dokładności ważenia są w przypadku obydwu metod bardzo wysokie. Ponieważ wynik ważenia tego samego pojazdu przy zmianie temperatury o 10 °C (dzień - noc) może się różnić do 10%, uzasadniona wydaje się konieczność stosowania jednej z opracowanych przez autora metod celem zwiększenia dokładności uzyskiwanych wyników. Otwartą kwestią pozostaje bezpośrednie porównanie metod w oparciu o wyniki ważenia wszystkich osi jednego pojazdu wstępnie zważonego.

7. Literatura

- [1] I. Gawęł, M. Kalabińska, J. Piłat, „Asfalty Drogowe”, Wydaw. Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2001
- [2] P. Burnos, J. Gajda, „Autokalibracja Systemów Ważenia Pojazdów Samochodowych w Ruchu”, Materiały XV Sympozjum Modelowanie i Symulacja Systemów Pomiarowych, Krynica, wrzesień 2005, str. 123-132.
- [3] E. Lukanen, R. Stubstad, R. Briggs, “Temperature Predictions and Adjustment Factors for Asphalt Pavement”, Final Report of LTTP, Federal Highway Administration 06/2000.
- [4] P. Burnos, „Analiza niestacjonarności systemów WIM”, PAK 10bis/2006, Materiały XVI Sympozjum Modelowanie i Symulacja Systemów Pomiarowych, Krynica, wrzesień 2006, str. 72-76.
- [5] J. Gajda, R. Sroka, „Analiza dokładności systemów WIM kalibrowanych metodą pojazdu wstępnie zważonego”, Materiały XV Sympozjum Modelowanie i Symulacja Systemów Pomiarowych, Krynica, wrzesień 2005, str. 111-122.