

# Systemy preselekcyjnego ważenia pojazdów ciężarowych w ruchu<sup>1</sup>

**ŁUKASZ MICHALSKI**

mgr inż., STRABAG Sp. z o.o.,  
ul. Parzniewska 10,  
05-800 Pruszków, e-mail:  
lukasz.michalski@strabag.com

**MICHAŁ HABURA**

mgr inż., NeoStrain Sp. z o.o.,  
ul. Lipowa 3, 30-702 Kraków,  
e-mail: michal.habura@neostrain.pl

**MARCIN TEKIELI**

mgr inż., Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki – Instytut  
Technologii Informatycznych w Inżynierii  
Łądowej, ul. Warszawska 24,  
31-155 Kraków, e-mail: mtekieli@  
15.pk.edu.pl

**Streszczenie.** Trwałość dróg publicznych zależy bezpośrednio od sposobu ich eksploatacji. Jak każda konstrukcja zostały one zaprojektowane na przenoszenie maksymalnych normowych obciążeń. W związku z tym pojazdy o nienormalnych obciążeniach osi lub masach całkowitych są głównymi sprawcami degradacji sieci drogowej wraz z jej infrastrukturą inżynierską w postaci mostów, wiaduktów i przepustów. Ponadto stanowią one istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego. W artykule poruszono problem wpływu pojazdów przeciążonych na stan techniczny infrastruktury drogowej. W kontekście rozrastającej się sieci drogowej zasygnalizowano wzrost liczby pojazdów ciężarowych o nienormalnym obciążeniu. Przedstawiono przyczyny i skutki braku efektywnej redukcji tego zjawiska w skali kraju oraz skuteczne narzędzia w walce z tego typu patologią, jakie stanowią systemy preselekcyjnego ważenia pojazdów ciężarowych w ruchu. W ujęciu technologicznym opisano te najpopularniejsze, do których można zaliczyć wbudowane systemy nawierzchniowe (WIM) oraz mostowe (B-WIM). W przypadku każdego z nich szczegółowo opisano budowę zastosowanych sensorów pomiarowych oraz podano kryteria instalacyjne (stan techniczny nawierzchni, geometria drogi itp.). Pokróćce scharakteryzowano zasadę ich działania, skupiając się na możliwych do osiągnięcia dokładnościach ważenia.

**Słowa kluczowe:** preselekcja, pojazdy przeciążone, obiekty mostowe, WIM, B-WIM

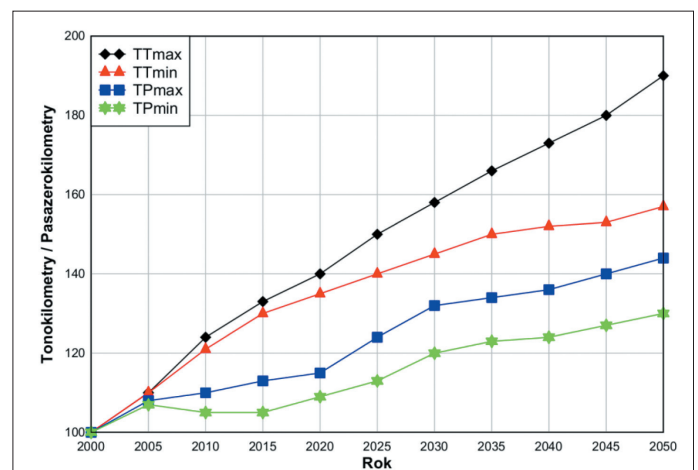
## Wprowadzenie

Trwałość dróg publicznych zależy bezpośrednio od sposobu ich eksploatacji. Jak każda konstrukcja zostały one zaprojektowane na przenoszenie maksymalnych normowych obciążeń. W związku z tym pojazdy o nienormalnych obciążeniach osi lub masach całkowitych są głównymi sprawcami degradacji sieci drogowej wraz z jej infrastrukturą inżynierską w postaci mostów, wiaduktów i przepustów. Ponadto stanowią one istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego.

W Polsce po przemianach ekonomicznych na początku lat 90. XX wieku nastąpił wzrost ruchu na sieci drogowej. Wraz ze wzrostem pojazdów ciężkich zwiększyła się także liczba pojazdów przeciążonych. Trend ten będzie nadal się utrzymywał. Według raportu z 2011 roku, przygotowanego przez Międzynarodowe Forum Transportu ITF, transport towarowy może wzrosnąć o około 60% do nawet 90%

w roku 2050, w stosunku do roku 2000, rysunek 1 (za podstawę odniesienia przyjęto wielkość transportu w 2000 roku jako 100, dla transportu towarowego są to tonokilometry, a dla transportu pasażerskiego pasażerokilometry) [1].

Tematyka wpływu przeciążonych pojazdów na trwałość nawierzchni drogowej była przedmiotem wielu publikacji naukowych. Płyne z nich wspólny wniosek, iż pojazdy przeciążone w znacznym stopniu skracają czas eksploatacji dróg. Zjawisko to ma charakter nieliniowy i rośnie z 4 potęgą nacisku osi na nawierzchnię, co przedstawiono w 1998 roku w raporcie z programu badawczego LTTP (Long Term Pavement Performance) zrealizowanego w Stanach Zjednoczonych. Oznacza to, że zwiększenie obciążenia drogi o 10% na oś obliczeniową może zwiększyć o 45% przewidywane zniszczenie drogi. Zależność efektu niszczącego od przekroczenia dopuszczalnego nacisku przedstawiono na rysunku 2. Należy także dodać, iż w ostatnich latach powtórzone badania mające na celu zweryfikowanie oddziaływania ciężkich pojazdów na nawierzchnie. Rezultaty tych badań przedstawiono w dwóch raportach opracowanych przez OECD/ECMT – Joint OECD/ITF Transport Research Committee i European Long – Life Pavement Group ELLPAG, opublikowanych w 2009 roku. Z raportów tych można wyciągnąć wnioski, iż oddziaływanie pojazdów ciężarowych na nawierzchnie jest większe w stosunku do



Rys. 1. Prognoza wskaźnika rozwoju transportu pasażerskiego i towarowego w latach 2000 – 2050 (TTmax – maksymalny transport towarowy, TTmin – minimalny transport towarowy, TPmax – maksymalny transport pasażerski, TPmin – minimalny transport pasażerski)  
Źródło: [1]

<sup>1</sup> ©Transport Miejski i Regionalny, 2015. Wkład autorów w publikację: Ł. Michalski 40%, M. Habura 30%, M. Tekieli 30%

wcześniejszych badań i rośnie z 5 potęgą nacisku osi na nawierzchnię asfaltową oraz z 12 potęgą w przypadku nawierzchni betonowych [1], [2], [3].

W celu zredukowania ilości pojazdów przeciążonych w ruchu drogowym niezbędnym jest podjęcie działań prewencyjnych w postaci regularnej kontroli i nakładania kar. Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań nad wpływem intensywności kontroli pojazdów na udział pojazdów przeciążonych. Z wykresu wynika, iż w najoptymistyczniejszej sytuacji stała kontrola może obniżyć wielkość pojazdów o nienormalnym obciążeniu z około 30% do 1%. Ponadto zwraca uwagę fakt, iż przy braku kontroli aż 1/3 z ogólnej liczby pojazdów ciężarowych to samochody przeładowane. Podobne informacje płyną także z danych statystycznych Generalnej Dyrekcji Dróg i Autostrad [3], [4].

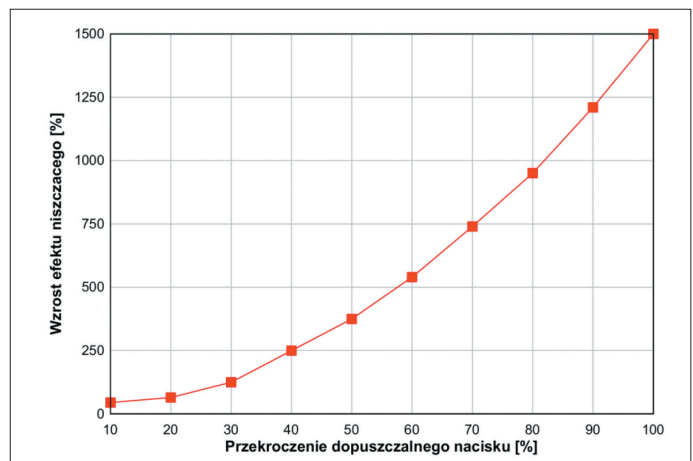
W związku z powyższym, mając na uwadze ograniczenia fizyczne w pracy przedstawicieli Inspekcji Transportu Drogowego (zbyt mała liczba urzędników) oraz stale rosnącą liczbę pojazdów ciężarowych (rys. 4), wydają się słusznym działaniem zmierzające do rozbudowy infrastruktury automatycznych systemów preselekcyjnego ważenia pojazdów w ruchu (WIM od ang. Weigh-In-Motion).

Już dzisiaj 80 takich systemów, z 300 planowanych do 2015 roku, stanowi przydatne narzędzie w redukcji pojazdów przeciążonych [15]. Mankamentem prawnym, który nie pozwala w pełni wykorzystać możliwości tego typu systemów, jest na pewno brak umocowania prawnego, a mianowicie legalizacji tych urządzeń (wagi preselekcyjne nie posiadają na chwilę obecną dopuszczenia metrologicznego Głównego Urzędu Miar). Obecnie ciężarówka, która przekroczy dopuszczalną wagę po przejeździe przez system preselekcyjny, jest zatrzymywana i ponownie ważona za pomocą zalegalizowanych wag stacjonarnych. W momencie, kiedy drugi pomiar potwierdzi wynik ważenia preselekcyjnego, na przedsiębiorcę nakładana jest kara. Problem ten został zauważony przez GITD (Główny Inspektorat Transportu Drogowego), dzięki czemu w niedalekiej przyszłości można spodziewać się wykorzystania wag preselekcyjnych na takiej samej zasadzie jak fotoradarów (nakładanie mandatów na podstawie pomiaru dokonanego w ruchu) [15], [16].

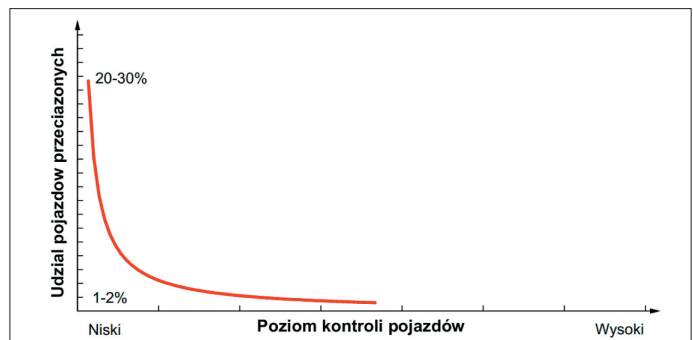
### Systemy preselekcyjnego ważenia pojazdów w ruchu

W dobie rozwoju gospodarczego wzrasta potrzeba transportu coraz większej ilości materiałów. W tym kontekście tradycyjne metody kontroli pojazdów ciężarowych – ważenie statyczne – stają się nieefektywne (długi proces kontroli, mała liczba stanowisk kontrolnych). Koniecznością było więc opracowanie skuteczniejszych metod kontroli wagi pojazdów. Możliwości takie dają systemy WIM.

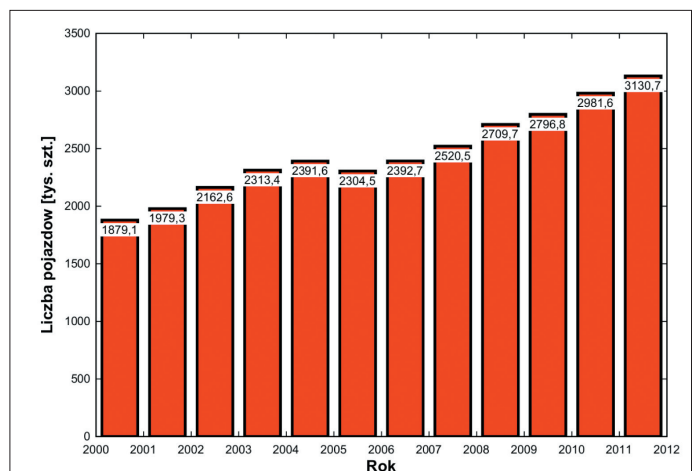
Ważenie pojazdów w ruchu (ang. WIM) wg definicji zaproponowanej przez ASTM (American Society for Testing and Materials) „to proces estymacji nacisków statycznych na podstawie pomiarów dynamicznych nacisków kół pojazdu na podłoże, w sytuacji kiedy kontakt obiektu mierzonego z czujnikiem jest bardzo krótki”. W kontekście tym każdy system ważenia pojazdów w ruchu składa się:



Rys. 2. Zależność wzrostu efektu niszczonego nawierzchnię drogi od stopnia przeciążenia pojazdu  
Źródło: [2]



Rys. 3. Wpływ poziomu kontroli na udział pojazdów przeciążonych  
Źródło: [4]



Rys. 4. Liczba zarejestrowanych pojazdów ciężarowych w latach 2000–2011 (łącznie z ciągnikami siodłowymi)  
Źródło: [17]

- z części sprzętowej (ang. *hardware*) – odpowiednie czujniki pomiarowe współpracujące z układami elektronicznymi, których zadaniem jest rejestracja sygnałów generowanych przez przejeżdżające pojazdy ciężarowe;
- z części programowej (ang. *software*) – oprogramowanie dokonujące przetwarzania zarejestrowanych sygnałów przy wykorzystaniu algorytmów eksperckich, w wyniku czego następuje estymacja statycznych nacisków osi pojazdu i jego masy całkowitej. Ponadto dokonywany jest pomiar innych parametrów takich jak: prędkość, liczba i rozstaw osi, długość i wysokość pojazdu, klasa pojazdu.

Systemy ważenia dynamicznego można podzielić następująco:

- systemy drogowe WIM (systemy wykorzystujące istniejącą infrastrukturę drogową):
  - nieinwazyjne (np. sejsmiczne WIM),
  - wbudowane:
    - systemy mostowe B-WIM (systemy instalowane na konstrukcji obiektów mostowych i przepustów),
    - systemy nawierzchniowe WIM (systemy instalowane w konstrukcji nawierzchni drogowej):
      - › systemy małej prędkości Low Speed WIM (LS-WIM) – pomiar przy prędkości < 10 km/h,
      - › systemy dużej prędkości High Speed WIM (HS-WIM) – pomiar przy prędkości > 10 km/h:
        - ›› jedno- i dwuczujnikowe systemy WIM,
        - ›› wieloczujnikowe systemy WIM,
- systemy pokładowe On Board WIM (systemy instalowane w konstrukcji samochodu) [5].

Dokładność ważenia systemów WIM podzielona jest na kilka klas dokładności (tab.1). Oznaczenie klasy składa się z litery oraz liczby. Liczba w zapisie klasy informuje o maksymalnym dopuszczalnym błędzie oszacowania masy całkowitej pojazdu w ruchu w stosunku do pomiaru statycznego [7].

Tabela 1

Klasy dokładności estymacji masy pojazdów ciężarowych w systemach typu WIM								
Kryterium	Zakres	Klasy dokładności: Szerokość przedziału ufności [%]						
		A (5)	B+(7)	B (10)	C (15)	D+(20)	D (25)	E
Masa brutto	> 3.5 t	5	7	10	15	20	25	>25
Obciążenie osi:	> 1.0 t							
Grupa osi		7	10	13	18	23	28	>28
Pojedyncza oś		8	11	15	20	25	30	>30
Oś z grupy		10	14	20	25	30	35	>35
Prędkość	V > 30 km/h	2	3	4	6	8	10	>10
Rozstaw osi		2	3	4	6	8	10	>10
Niezarejestrowane pojazdy		1	1	1	3	4	5	>5

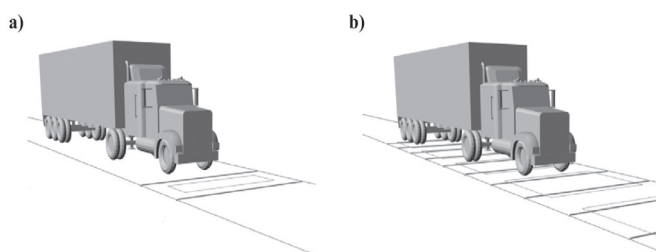
Źródło: [7]

W dalszej części artykułu zostaną opisane technologie najpopularniejszych systemów ważenia pojazdów w ruchu, jakimi są wbudowane systemy nawierzchniowe (WIM) i mostowe (B-WIM).

### Systemy wbudowane w nawierzchnię drogową – WIM

Systemy nawierzchniowe WIM to systemy pomiarowe wbudowane w konstrukcję drogi. Pierwsze tego typu pojawiły się w latach 50. ubiegłego stulecia w USA, jako próba odpowiedzi na potrzeby kontroli masy pojazdów bez ich zatrzymywania. Systemy WIM wbudowane w nawierzchnię są wagami dynamicznymi i w zależności od prędkości poruszającego się przez nie pojazdu można je podzielić na wagi LS-WIM (ang. Low-Speed-Weigh-In-Motion) i HS-WIM (ang. High-Speed-Weigh-In-Motion). Systemy LS-WIM roz-

wijano jako pierwsze, przy ich pomocy dokonywano pomiarów obciążenia pojazdu przy prędkości do 10 km/h. Stały się one alternatywą dla nieefektywnego ważenia statycznego. Nagły wzrost transportu drogowego w latach 80. i 90. dwudziestego wieku zmusił do poszukiwania jeszcze bardziej efektywnych rozwiązań. W latach 80. rozpoczęto badania nad systemami HS-WIM, które miały poprawić skuteczność ważenia pojazdów na drogach o niewielkiej przepustowości przy prędkościach powyżej 10 km/h. Pierwotnie systemy HS-WIM, które mogły działać bez świadomego uczestnictwa osób trzecich, składały się z jednego lub dwóch czujników nacisku, co znacząco ograniczało ich dokładność (rys. 5a). W odpowiedzi na oczekiwania w latach 90. powstała koncepcja MS-WIM (ang. Multi-Sensor-Weigh-In-Motion), która składała się z kilku do kilkunastu modułów pomiarowych (rys. 5b). Jest to obecnie najintensywniej rozwijana technologia, dająca najlepsze rezultaty (możliwość osiągnięcia klas A(5), B+(7)) [6].



Rys. 5. Schemat systemu HS-WIM: a) dwuczujnikowy system HS-WIM, b) wieloczujnikowy system HS-WIM

Źródło: [2]

Systemy WIM wbudowane w nawierzchnię składają się z czujników nacisku oraz czujników indukcyjnych. Pętle indukcyjne wykorzystywane są do określenia podstawowych parametrów pojazdu, takich jak:

- długość,
- ilość osi,
- prędkość (jeżeli system wykorzystuje moduł z dwoma czujnikami wirowymi),
- rozstaw osi.

Pętlowy czujnik indukcyjny reaguje na zaburzenia pola magnetycznego przez metalowe elementy pojazdu przejeżdżającego nad sensorem. Efektem tego oddziaływania jest zmiana impedancji czujnika wirowego, na podstawie której można odczytać wymagane parametry pojazdu. Jest on najczęściej stosowanym sensorem do tego celu. Do pozyskiwania wymienionych wyżej informacji stosowane są także inne rodzaje czujników:

- czujnik linkowy – zbudowany jest z linki stalowej utwierdzonej z jednej strony oraz zakończonej z drugiej strony ruchomym stykiem elektrycznym, którego zwarcie oznacza pojawienie się osi. Czujniki te są łatwe w montażu, jednak wymagają częstej konserwacji. Sprawia to, że są doskonałym rozwiązaniem do krótkotrwałych testów;



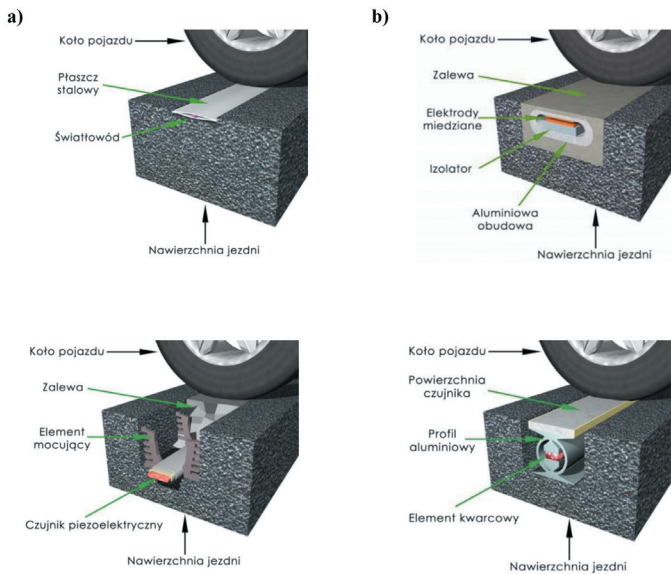
- czujnik taśmowy – zbudowany jest z dwóch sprężystych taśm metalowych ułożonych poziomo w odległości kilku milimetrów z umieszczonymi wkładkami z gumy przewodzącej. Przestrzeń między taśmami wypełniona jest gazem obojętnym. Pojawienie się osi pojazdu powoduje zetknięcie taśm i chwilową zmianę stanu na wyjściu czujnika;
- czujnik hydrauliczny – składa się z cylindra jednostronnie zamkniętego, wypełnionego nieściśliwą cieczą, którym może być na przykład gumowy wąż o dostatecznie elastycznych ściankach, wypełniony olejem silnikowym. Na drugim końcu umieszczona jest kapilara wypełniona ciekłym materiałem przewodzącym (np. rtęcią), zwierającym styki przy wystąpieniu odpowiedniego nacisku na cylinder. Z tego typu detektorów można uzyskać odczyt bez dodatkowych zakłóceń, ale jest on bardzo podatny na uszkodzenia mechaniczne, szczególnie przy dużych obciążeniach;
- czujnik pneumatyczny – zasada działania jest bardzo podobna do czujnika hydraulicznego, jednak zamiast cieczy wykorzystywane jest powietrze. Jako element końcowy stosowane są styki elektryczne przymocowane do membrany lub manometru mieszkowego, który pobudza czujnik piezoelektryczny. Detektory pneumatyczne wykorzystywane są do krótkotrwałych pomiarów, mających na celu głównie zliczanie pojazdów;
- czujnik rezystancyjny – zbudowany jest z elastycznego materiału o zmiennej rezystancji. Oporność elementu zmienia się pod wpływem obciążenia, czyli przyłożonej siły. Ze względu na nieliniowy charakter zmiany rezystancji jest on trudny w zastosowaniu do ważenia pojazdów, jednak dobrze sprawdza się do wykrywania osi w miejscach o ograniczonej prędkości ruchu (np. bramki poboru opłat). Cechuje się dużą wytrzymałością i łatwą eksploatacją;
- czujnik magnetyczny – ma zbliżony zakres stosowalności jak pętla indukcyjna. Wykorzystują one zmianę ziemskiego pola magnetycznego w momencie pojawienia się ferromagnetycznego obiektu. Czujniki te są łatwiejsze w użyciu i wymagają mniejszej ingerencji w nawierzchnię. Do wad można zaliczyć podatność na zakłócenia elektromagnetyczne oraz trudne warunki atmosferyczne.
- czujniki światłowodowe – są stosunkowo najnowszą technologią rozwijaną od 1997 roku. Do pomiaru nacisku wykorzystywane jest zjawisko zmiany propagacji fali świetlnej wewnątrz światłowodu pod wpływem siły zewnętrznej. Zmiana mierzonych parametrów fali świetlnej jest proporcjonalna do przyłożonego obciążenia. Czujniki te są mało wrażliwe na zmiany temperatury przy jednoczesnej dużej czułości na naciski pionowe. Dużą trwałość mechaniczną zapewniają metalowe osłony umieszczone nad i pod czujnikiem. Rozmiary czujnika nie powodują dużej ingerencji w nawierzchnię (rys. 6a);
- czujniki pojemnościowe – należą do grupy detektorów kontaktowych. Zbudowane są z dwóch elektrod przewodzących odizolowanych dielektrykiem (zwykle powietrzem). Elementem konstrukcyjnym są profile aluminiowe, które zapewniają jak największą trwałość mechaniczną, jednocześnie nie obniżając czułości czujnika. Zasada działania jest bardzo prosta, nacisk pionowy powoduje zbliżanie się elektrod, a tym samym zmianę pojemności czujnika, która następnie jest mierzona przez elektroniczny układ pomiarowy. Sensor jest odporny na działanie sił bocznych, skompensowany temperaturowo oraz ma liniową charakterystykę statyczną. Niestety tego typu detektory są mało odporne na uszkodzenia mechaniczne oraz zasolenie w ziemi (rys. 6b);
- czujniki piezoelektryczne – czujniki te należą do grupy detektorów generacyjnych, wykorzystujących zjawisko piezoelektryczne proste. Zbudowane są najczęściej z piezoceramików, w formie koncentrycznego przewodu lub płaskiej taśmy. Pod wpływem nacisku osi generowany jest proporcjonalny ładunek elektryczny. Podstawową zaletą czujników tego typu jest ogromna czułość oraz szeroki zakres temperaturowy pracy. Jednak duże zalety niweluje podatność na działanie sił bocznych, brak możliwości zastosowania do ważenia statycznego oraz duża niejednorodność czułości czujnika w funkcji długości. Mimo tego czujniki piezoelektryczne są szeroko stosowane zarówno w systemach montowanych na powierzchni drogi, jak i w systemach zabudowanych w nawierzchni (rys. 6c);
- czujniki kwarcowe – są to detektory kontaktowe również wykorzystujące zjawisko piezoelektryczne. Elementem piezoelektrycznym w tym przypadku jest kryształ kwarcu umieszczony w specjalnie zaprojektowanym aluminiowym profilu, który minimalizuje wpływ sił poprzecznych, jednocześnie maksymalizując działanie sił pionowych na czujnik. Czujniki kwarcowe charakteryzują się dobrymi właściwościami metrologicznymi i stałością parametrów. Są trwałe (do 10 lat), mało podatne temperaturowo, posiadają szeroki zakres pomiarowy (do 150 kN) oraz są mało wrażliwe na zakłócenia elektromagnetyczne. Detektory tego typu są jednak drogie oraz wymagają dużej ingerencji w nawierzchnię drogi (rys. 6d).

Drugim elementem systemów WIM są czujniki nacisku.

To na podstawie pomiarów z tych czujników określa się:

- nacisk na osie,
- masę całkowitą pojazdu,
- prędkość pojazdu (jeżeli system wykorzystuje moduł z dwoma czujnikami nacisku).

Czujniki nacisku mierzą bezpośrednią siłę, z jaką działają opony pojazdu na czujnik zabudowany w nawierzchni, dając proporcjonalny sygnał elektryczny. Zmiany i rozwój aparatury pomiarowej pozwala na zastosowanie coraz dokładniejszych, tańszych i trwalszych czujników nacisku. Do najpopularniejszych można zaliczyć:



Rys. 6. Czujniki nacisku w systemach nawierzchniowych WIM: a) czujnik nacisku światłowodowy, b) czujnik nacisku pojemnościowy, c) czujnik nacisku piezoelektryczny, d) czujnik nacisku kwarcowy

Źródło: [2], [5]

- czujniki tensometryczne – stosowane są do pomiarów statycznych oraz dynamicznych. Wykorzystują zjawisko zmiany rezystancji przewodnika lub półprzewodnika pod wpływem działającej na niego siły. Budowane są w postaci platform podpartych na belkach, do których przymocowane są tensometry mierzące ich odkształcenie. W celu zminimalizowania wpływu temperatury oraz zmaksymalizowaniu czułości czujnika, wykorzystuje się cztery tensometry połączone w układ pełnego mostka. Detektory te osiągają dokładność rzędu 1–2% dla pomiarów statycznych oraz 6–10% dla masy całkowitej, 15% dla nacisku na pojedyncze osie dla pomiarów dynamicznych. Ich trwałość określa się na 8–10 lat, jednak wymagają bardzo dużej ingerencji w nawierzchnię oraz długiego czasu instalacji (fot. 1) [2], [5].



Fot. 1. Montaż wagi tensometrycznej

Źródło: [18]

Czujniki nacisku i pętle indukcyjne tworzą jeden moduł. W systemach MS-WIM instalowanych jest kilkanaście takich modułów na wyznaczonym odcinku drogi. Zainstalowanie większej liczby stref pomiarowych zwiększa dokładność ważenia pojazdów. Jezdnia, w której ma zostać wbudowana waga, musi spełniać odpowiednie wymagania na odcinku dojazdowym długości 50 m oraz zjazdowym długości 25 m, tabela 2.

Tabela 2

Kryteria wyboru jezdni drogowej dla instalacji systemu WIM		
Kryterium	Jezdnia optymalna	Jezdnia akceptowalna
Nachylenie podłużne	< 1%	< 2%
Nachylenie poprzeczne	< 3%	< 3%
Promień łuku	Prosty odcinek drogi	> 1000 m
Stan techniczny nawierzchni	Klasa I albo II wg [7]	Klasa III wg [7]

Źródło: [7]

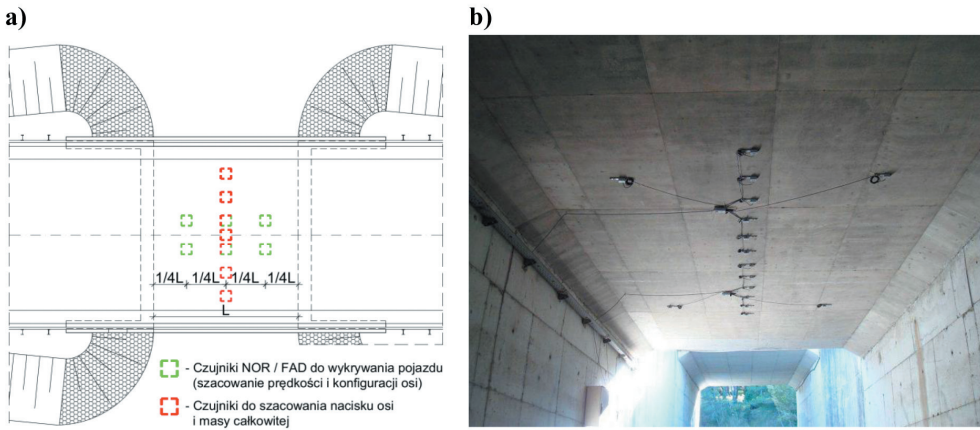
Systemy wag preselekcyjnych WIM wbudowanych w nawierzchnię są obecnie szeroko stosowanymi systemami pomiarowymi, mającymi na celu monitorowanie ruchu pojazdów ciężarowych oraz zapobieganie przyspieszonej degradacji nawierzchni. Najszybciej rozwijany jest dziś system MS-WIM. Zwiłokrotnienie modułów pomiarowych pozwala na znaczne zwiększenie dokładności systemu oraz poprawę skuteczności wykrywania przeciążonych pojazdów. Osiągnięcie odpowiedniej klasy skuteczności określonej w [7] jest podstawą do legislacyjnych zastosowań systemów WIM.

### Systemy instalowane na obiektach mostowych – B-WIM

Systemy dynamicznego ważenia pojazdów ciężarowych w ruchu B-WIM (ang. Bridge-Weigh-In-Motion) należą do tzw. wbudowanych systemów, które instalowane są na obiektach infrastruktury drogowej, takich jak: mosty, wiadukty, estakady oraz przepusty. Do dzisiaj systemy te bazują na pomiarze odkształceń obiektu mostowego pod obciążeniem przejeżdżającego pojazdu. Głównie stosowane są czujniki tensometryczne przykręcane do spodu przęseł mostowych.

Pierwsze koncepcje tego typu systemów wdrażano w USA w 1979 roku [8]. W celu detekcji pojazdów wykorzystywano czujniki wbudowane w nawierzchnię drogową, które dostarczały informacji o prędkości i konfiguracji osi (analogicznie do systemów nawierzchniowych WIM). W przypadku instalacji tymczasowych stosowano rurki pneumatyczne albo naklejane taśmy. W chwili obecnej najnowsze systemy B-WIM wykorzystują w tym celu czujniki tensometryczne. Technologię tę w literaturze angielskiej można znaleźć pod nazwą NOR (ang. Nothing On the Road) albo FAD (ang. Free of Axle Detector) (rys. 7). W takiej technologii, oprócz czujników zlokalizowanych w środku rozpiętości przęsła mostowego (czujniki przeznaczone do estymacji masy pojazdu), niezbędne są także przetworniki elektrooporowe w 1/4 i 3/4 długości obiektu (rys. 8a). Dzięki takiej konfiguracji i odpowiedniej obróbce sygnału możliwym jest oszacowanie prędkości oraz rozstawu i liczby osi pojazdu ciężarowego, a więc dostarczenie do systemu pełnej informacji o poruszającym się obciążeniu [9].





Rys. 7. Przykładowe rozmieszczenie czujników systemu B-WIM na obiekcie mostowym: a) rzut z góry – rozmieszczenie czujników tensometrycznych, b) widok na czujniki tensometryczne zlokalizowane na spodzie przęsła mostowego  
Źródło: [19]

Zaletą systemów B-WIM jest odejście od instalacji tradycyjnych czujników (czujniki nacisku, pętle indukcyjne) w nawierzchni drogowej na korzyść obniżenia kosztów i wyeliminowania niedogodności dla kierowców. Ponadto montaż sensorów pod obiektem mostowym sprawia, iż czujniki są szybko demontowane w ramach deinstalacji systemu lub wymieniane w sytuacji ich uszkodzenia.

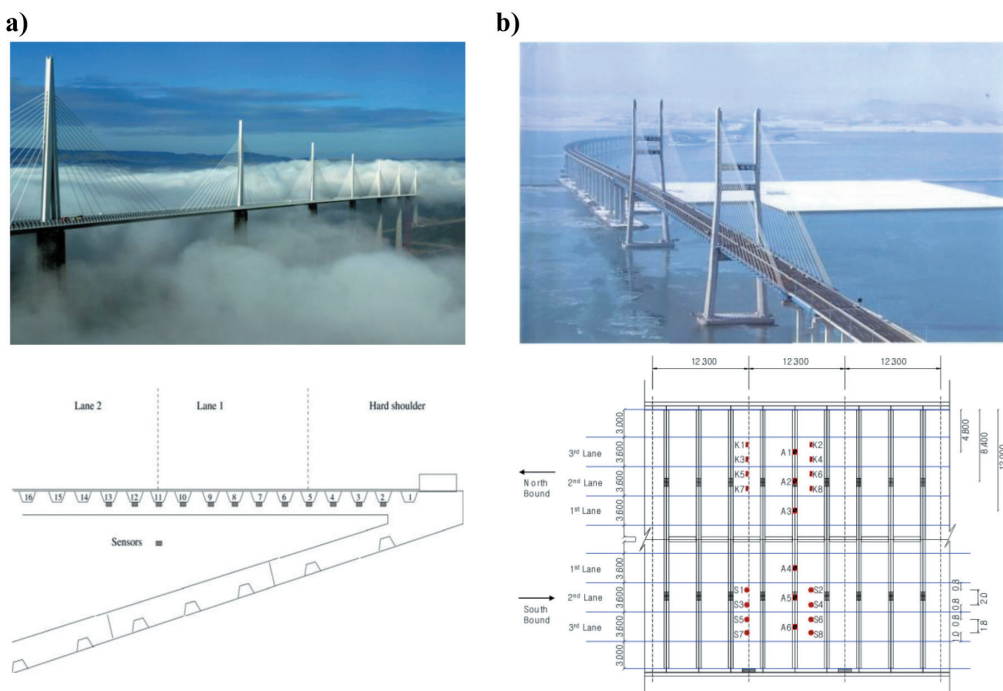
Najczęściej wykorzystywanymi obiektami mostowymi do instalacji systemów B-WIM są krótkie betonowe konstrukcje mostów i wiaduktów o długości przęseł z przedziału 5–15 m (tab. 3). Prace nad rozszerzeniem stosowności na obiekty dłuższe trwają, co potwierdzają instalacje we Francji – Millau Viaduct, przęsło długości 342 m (rys. 8a) [10] i Korei Południowej – Seohae Bridge, przęsło długości 470 m (rys. 8b) [11]. W przypadku przepustów najbardziej pożądanymi budowlami są betonowe przekroje skrzynkowe (akceptowalne przepusty rurowe). Optymalna rozpiętość to 1.2 m do 2.7 m (akceptowalna rozpiętość 2.7 m do 4.8 m). Idealna grubość nasypu waha się pomiędzy 0.5 m do 1.0 m, a akceptowalna od 1.0 m do 2.0 m [7].

Tabela 3

Kryteria wyboru obiektu mostowego dla instalacji systemu B-WIM		
Kryterium	Obiekt optymalny	Obiekt akceptowalny
Konstrukcja nośna obiektu mostowego	Dźwigary stalowe, sprężone, żelbetowe, stalowe pomosty ortotropowe, przepusty	Płyty betonowe
Długość przęsła [m] (za wyjątkiem przepustów)	5–15	8–35
Natężenie ruchu drogowego	Małe natężenie ruchu, obiekty wolne od zatorów („korków”)	
Stan techniczny nawierzchni na, przed i za obiektem mostowym	Klasa I albo II wg [7]	Klasa III wg [7]
Kąt ukosu obiektu mostowego [°]	< 10	≤25 ≤45(po weryfikacji danych)

Źródło: [7]

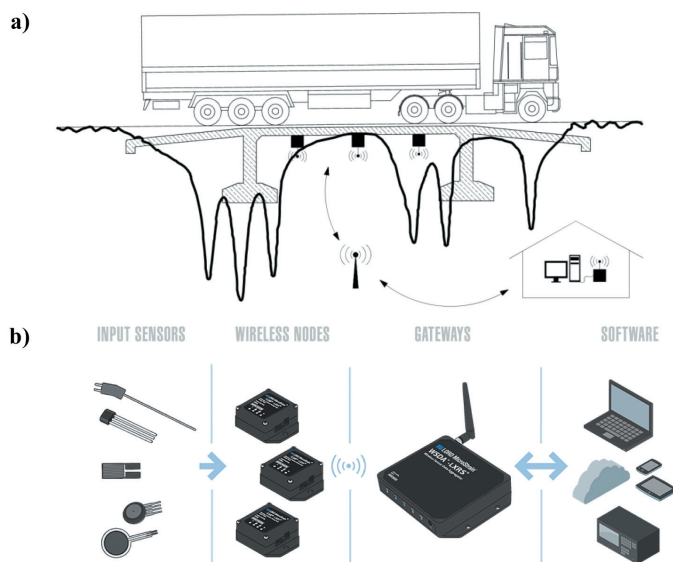
Dokładność estymacji masy pojazdów ciężarowych w systemach typu B-WIM zależy głównie od typu obiektu mostowego, jakości instalacji czujników, procesu kalibracji (procedura przejazdu przez oprzyrządowany obiekt samochodami ciężarowymi o znanym obciążeniu) oraz równości



Rys. 8. Długie obiekty mostowe, na których zainstalowano system typu B-WIM: a) Millau Viaduct – widok na konstrukcję oraz rozmieszczenie czujników na jednym z przęseł dł. 342 m, b) Seohae Bridge – widok na konstrukcję oraz rozmieszczenie czujników na jednym z przęseł dł. 470 m  
Źródło: [9], [10]

(gładkości) nawierzchni drogowej [7]. Dla przeciętnych warunków spodziewana dokładność systemów B-WIM zamyka się w klasach B+(7), B(10) lub C(15) [19].

Obecny trend rozwojowy w dynamicznym ważeniu pojazdów ciężarowych na obiektach mostowych zarówno skupia się wokół części programowej, jak i sprzętowej. Wspólnym celem jest poprawa dokładności, stabilności i trwałości systemu. Dzięki rozwojowi algorytmów eksperckich [20] oraz wykorzystaniu większej liczby czujników pomiarowych (analogia do systemów MS-WIM) [12] możliwym staje się uzyskanie klasy dokładności A(5). Równolegle trwają prace nad aplikacją nowych technik pomiarowych (czujniki światłowodowe) [13] i rozwojem łączności bezprzewodowej [14], [21], [22]. Rysunek 9 przedstawia schemat bezprzewodowego systemu typu B-WIM. Tradycyjne czujniki tensometryczne połączone są z autonomicznymi punktami zasilania (ang. *wireless nodes*), dzięki czemu system staje się prostszy i szybszy w montażu.



Rys. 9. Schemat bezprzewodowego systemu typu B-WIM: a) przekrój podłużny – rozmieszczenie czujników bezprzewodowych, b) bezprzewodowy ciąg pomiarowy

Źródło: [14], [21], [22]

## Podsumowanie

W artykule omówiono dwie najpopularniejsze technologie preselekcyjnego ważenia pojazdów ciężarowych w ruchu, jakimi są wbudowane systemy nawierzchniowe (WIM) i mostowe (B-WIM). W przypadku każdego z nich szczegółowo opisano budowę zastosowanych sensorów pomiarowych oraz podano kryteria instalacyjne (stan techniczny nawierzchni, geometria drogi itp.). Scharakteryzowano zasadę ich działania, skupiając się na możliwych do osiągnięcia dokładnościach ważenia.

W kontekście stale rosnącej liczby pojazdów ciężarowych, a co za tym idzie także i pojazdów przeciążonych, zasygnalizowano przyczyny nieefektywnych działań służb kontrolnych. Podkreślono zasadność rozbudowy stanowisk do dynamicznego ważenia pojazdów ciężarowych, ale równocześnie przedstawiono bariery prawne ograniczające pełne wykorzystanie tego typu wag.

Zdaniem autorów informacje zawarte w niniejszej publikacji przyczynią się do rozpropagowania wiedzy o możliwościach ochrony intensywnie rozwijanej infrastruktury drogowej w Polsce.

## Literatura

- Rafalski L., *Bezpieczeństwo ruchu drogowego w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem pojazdów ciężkich*, Materiały konferencyjne: Bezpieczeństwo w transporcie drogowym i kolejowym, Warszawa 10/2012.
- Burnos P., *Autokalibracja systemów ważących pojazdy samochodowe w ruchu oraz analiza i korekcja wpływu temperatury na wynik ważenia*, Praca doktorska, Kraków, wrzesień 2009.
- Mitas A.W., Bernas M., Bugdol M., Ryguła A., Konior W., *Elektroniczne narzędzia pomiarowe w transporcie – wagi preselekcyjne*, „Elektronika”, 2011, nr 12.
- Ryś D., Judycki J., Jaskuła P., *Wpływ pojazdów przeciążonych na trwałość nawierzchni asfaltowych*, „Logistyka”, 2014, nr 6.
- Gajda J., Sroka R., Stencel M., Żeglén T., Burnos P., Piwowar P., *Pomiary parametrów ruchu drogowego*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2012.
- Sroka R., *Wieloczujnikowy system WIM*, Materiały konferencyjne, V Polski Kongres ITS Polska, Warszawa 5/2012.
- Weigh-in-Motion of Road Vehicles*, Final Report COST 323, sierpień 1999.
- Moses F., *Weigh-in-motion system using instrumented bridges*, „Transportation Engineering Journal” (ASCE) 105: 233–249, 1979.
- Zhao H., Uddin N., *Algorithm to identify axle weights for an innovative BWIM system – Part I*, IABSE – JSCE Joint Conference on Advances in Bridge Engineering – II, Dhaka, Bangladesh, 8/2010.
- Ieng S., Schmidt F., Romboni F., Jacob B., *Assessment of a bridge WIM system on integral concrete bridges and on steel orthotropic decks*, 1<sup>st</sup> International Seminar of Weigh in Motion, Santa Catarina, Brazil, 4/2011.
- Kim S., Lee J., Park M., Jo B., *Vehicle signal analysis using artificial neural networks for a bridge weigh-in-motion system*, „Sensors”, 2009, nr 9.
- Gonzales A., Dowling J., O'Brien E.J., *Testing of a Bridge Weigh-in-Motion Algorithm Utilising Multiple Longitudinal Sensor Locations*, „Journal of Testing and Evaluation”, 2012, nr 9.
- Lydon M., Taylor S.E., Robinson D., Callender P., Doherty C., Grattan S.K.T., O'Brien E.J., *Development of a Bridge Weigh-in-Motion Sensor: Performance Comparison Using Fiber Optic and Electric Resistance Strain Sensor Systems*, „Sensors Journal”, 2014, nr 7.
- Wang Y., Uddin N., Jacobs L., Kim J., *Next – Generation Wireless Bridge Weigh-in-Motion (WIM) System Integrated with Nondestructive Evaluation (NDE) Capability for Transportation Infrastructure Safety*, presented at the UTC Conference for the Southeastern Region in Orlando, Florida, USA, 4/2013.
- www.trans.info
- www.gazetaprawna.pl
- www.zmpd.pl
- www.roadtraffic-technology.com
- www.cestel.eu
- www.bridgemon.zag.si
- www.nctspm-gatech.edu
- www.microstrain.com