



PIOTR BURNOS

AGH w Krakowie
burnos@agh.edu.pl

Ważenie pojazdów samochodowych w ruchu

Część 1: Oddziaływanie pojazdów przeciążonych na nawierzchnię

Niszczenie i degradacja infrastruktury drogowej oraz bezpieczeństwo ruchu zależy od bardzo wielu czynników i negatywnych zjawisk występujących w szeroko rozumianym transporcie. Należy do nich m.in. zaliczyć:

- zły stan techniczny pojazdów,
- łamanie przepisów dotyczących okresów prowadzenia pojazdów,
- łamanie zasad dotyczących transportu zwierząt, materiałów niebezpiecznych i szybko psujących się,
- przeciążanie pojazdów,
- natężenie ruchu i jego strukturę rodzajową,
- zastosowane technologie i materiały do budowy dróg,
- warunki klimatyczne.

Niektóre z wymienionych zjawisk mają charakter patologii i należy im przeciwdziałać. Szczególnie istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu stwarzają przeciążone pojazdy ciężarowe. Ekspertki zgodnie przyznają, że pojazdy takie są głównym czynnikiem mającym wpływ na pogarszanie stanu dróg i obiektów inżynierskich (mosty, wiadukty, estakady) [3], [22]. Okazuje się bowiem, że nawet nieznacznie przeciążone pojazdy, których masa całkowita lub nacisk pojedynczej osi w niewielkim stopniu przekraczają dopuszczalne normy [8], [10], powodują przyspieszoną degradację nawierzchni jezdni. Zjawisko ma charakter nieliniowy i wzrasta z czwartą potęgą nacisku osi na nawierzchnię [30]. Oznacza to, że przekroczenie dopuszczalnych norm o 10% może spowodować 45% wzrost efektu niszczącego.

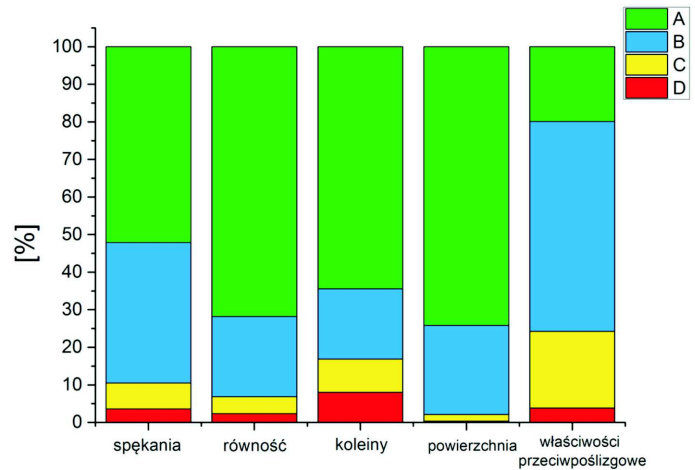
W konsekwencji destruktywnych oddziaływań pojazdów przeciążonych, zdolność do przenoszenia obciążeń przez nawierzchnię maleje, następuje tzw. stopniowa utrata nośności, a w przypadku osiągnięcia przez konstrukcję nawierzchni stanu granicznego nośności powstają uszkodzenia strukturalne lub spękania zmęczeniowe [17], [31].

Deformacje trwałe takie jak koleiny, odkształcenia podłoża pod konstrukcją nawierzchni, spękania czy ubytki warstwy ścieralnej są pośrednim lecz poważnym zagrożeniem związanym m.in. z bezpieczeństwem ruchu. Skalę tego zjawiska w Polsce obrazuje coroczny raport Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA), na temat stanu technicznego sieci dróg krajowych [14]. Zawarte w tym dokumencie dane zbierane są dzięki prowadzonym pomiarom cech eksploatacyjnych nawierzchni i obejmują drogi krajowe o łącznej długości ponad 19 tys. kilometrów. Przy ocenie stanu nawierzchni brane są pod uwagę takie cechy jak: stan spękań, równość podłużna, głębokość kolein, stan powierzchni, właściwości przeciwpoślizgowe oraz ugięcia. Poszczególne cechy nawierzchni odnoszone są do skali czterostopniowej (klasy A, B, C, D), której interpretację przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Klasyfikacja stanu nawierzchni wg GDDKiA [14]

Klasa A – stan dobry	Nawierzchnie nowe i odnowione nie wymagające remontów
Klasa B – stan zadowalający	
Klasa C – stan niezadowalający	Nawierzchnie uszkodzone wymagające remontów w ciągu kilku lat
Klasa D – stan zły	Nawierzchnie uszkodzone wymagające natychmiastowych remontów

Natychmiastowych zabiegów naprawczych wymagają odcinki zakwalifikowane do klasy D, natomiast zabiegów zalecanych odcinki dróg sklasyfikowane na poziomie ostrzegawczym (klasa C). Głównym zestawieniem informującym o stanie nawierzchni dróg krajowych jest rozkład ocen poszczególnych cech techniczno-eksploatacyjnych nawierzchni. Uzyskany na koniec 2012 r. rozkład zaprezentowano na rysunku 1.



Rys. 1. Ocena stanu cech eksploatacyjnych nawierzchni sieci dróg krajowych [14]

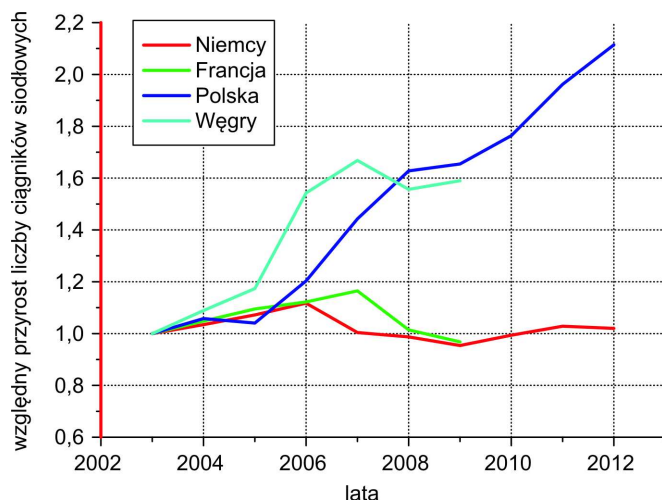
Z rysunku 1 wynika, że najczęściej występującym uszkodzeniem nawierzchni są koleiny, a w drugiej kolejności złe właściwości przeciwpoślizgowe i spękania. Po uogólnieniu stanu technicznego poszczególnych cech nawierzchni, wyniki oceny globalnej sieci dróg krajowych przedstawiono w tabeli 2.

Oszacowane na podstawie oceny stanu technicznego potrzeby finansowe na remonty i utrzymanie dróg w 2013 r. wyniosły 6,7 mld złotych, przy czym kwota ta nie uwzględnia takich zabiegów jak remonty poboczy i elementy systemu odwodnienia (dodatkowe 525 mln) [14].

Tabela 2. Ogólna ocena stanu technicznego nawierzchni dróg krajowych na koniec 2012 r. [14]

Stan nawierzchni:	[km]	[%]
Dobry	12378	62,7
Niezadowolający	4698	23,8
Zły	2664	13,5
Razem:	19742	100,0

Problem utrzymania infrastruktury drogowej potęguje monotoniczny wzrost natężenia ruchu drogowego, a w szczególności transportu tranzytowego. Największą dynamikę wzrostu można zaobserwować w państwach, w których nastąpiła transformacja ustrojowa po 1989 r. Trend tych zmian ilustruje rysunek 2.



Rys. 2 Względny przyrost liczby ciągników siodłowych wg Eurostat [12]

Przystąpienie Polski oraz 9 innych krajów do Unii Europejskiej w 2004 r., a następnie do strefy Schengen spowodowało eskalację migracji przejawiającą się zwiększeniem ruchu tranzytowego na terenie Europy Środkowo-Wschodniej. Jak wynika z najnowszego raportu dotyczącego pomiarów ruchu drogowego [15], w latach 1995–2010 średni ruch na drogach krajowych w Polsce wzrósł o 84%, przy czym udział pojazdów ciężarowych z przyczepami w tym okresie zwiększył się ponad 3,5-krotnie (o 68% w latach 1995–2000, o 49% w okresie 2000–2005 i o 39% w latach 2005–2010). Dynamiczny rozwój ruchu drogowego, a w szczególności transportu ciężarowego jest z punktu widzenia utrzymania infrastruktury drogowej zjawiskiem niepożądanym i ma niekorzystny wpływ na warunki ruchu drogowego oraz proces degradacji nawierzchni.

Oddziaływanie pojazdów przeciążonych na bezpieczeństwo w ruchu drogowym

Wpływ pojazdów przeciążonych nie ogranicza się jedynie do negatywnego oddziaływania na nawierzchnię drogi. Inne zagrożenia wynikają z zaburzonej dynamiki ruchu pojazdu przeciążonego. Zwiększona bezwładność, ograniczona ste-

rownność oraz wydłużona droga hamowania to cechy szczególnie niebezpieczne w sytuacji awaryjnej. Pomimo że w Unii Europejskiej od lat obserwuje się zmniejszanie liczby wypadków samochodowych, to w 2009 r. wskutek takich zdarzeń śmierć poniosło niemal 35 tys. osób [12]. Rozkład liczby wypadków na poszczególne kraje Wspólnoty nie jest równomierny i największy odsetek wynosi w krajach dawnego bloku wschodniego. W 2012 r. w Polsce miało miejsce 37046 wypadków drogowych, na skutek których 3 571 osób poniosło śmierć. W 77,1% przypadków sprawcami byli kierujący pojazdami osobowymi, a w 7,0% samochodami ciężarowymi [20]. Choć brak dokładnych statystyk na temat udziału w tych wypadkach pojazdów przeciążonych, specjaliści [29] są zgodni co do tego, że skutki zdarzeń z udziałem takich pojazdów są znacznie poważniejsze niż w przypadku pojazdów obciążonych normatywnie.

Czynniki przyspieszające degradację nawierzchni

Wymieniając czynniki mające negatywny wpływ na stan infrastruktury drogowej należy również wspomnieć o zmianach zachodzących w konstrukcji samych pojazdów ciężarowych. Na przestrzeni kilku ostatnich lat, wraz z rozwojem technologii pojawiły się nowe rodzaje kół. Coraz częściej klasyczne koła bliźniacze, które przenoszą największe obciążenia, są wypierane przez koła pojedyncze z oponami typu *Super Single*. Opony takie mają mniejszą masę i opory toczenia, co skutkuje zmniejszeniem zużycia paliwa przez pojazd nawet do 3% [25].



Rys. 3. Koło podwójne i pojedyncze z oponą Super Single Drive

Oprócz opon *Super Single*, stosowanych powszechnie w kołach pojedynczych naczep pojazdów członowych, coraz większą popularność zdobywają opony typu *Super Single Drive* przeznaczone do montowania na osie napędowe ciągników siodłowych (rys. 3). Ze względu na utrzymanie jakości dróg, zalety nowej generacji ogumienia deprecjonuje fakt, iż powierzchnia styku kół pojedynczych z nawierzchnią jezdni jest mniejsza niż kół bliźniaczych. Jest to przyczyną bardziej szkodliwego oddziaływania na nawierzchnię jezdni [4].

Odrębny problem stanowi niedostosowanie nośności dróg do wymogów stawianych przez Unię Europejską [28]. W Polsce znaczna część aktualnie eksploatowanej infrastruktury została zbudowana lub zmodernizowana w latach siedem-

dziesiątych i osiemdziesiątych, a drogi nie były zaprojektowane na przenoszenie obciążeń, z jakimi mamy obecnie do czynienia [14]. Okres ich użytkowania już minął bądź zbliża się do końca. Dodatkowo wiele dróg o nawierzchniach bitumicznych powstało wskutek spontanicznego, stopniowego polepszania jakości. Działanie to polegało np. na przykrywaniu zniszczonej nawierzchni kolejnymi warstwami z mieszanek mineralno-asfaltowych (nakładkami), bez odpowiedniego przygotowania podbudowy drogi [1]. Nawierzchnie takie są bardziej podatne na uszkodzenia.

Przed przystąpieniem do Wspólnoty Europejskiej, dopuszczalny nacisk na oś napędową w Polsce wynosił maksymalnie 10 ton na wybranych drogach. W 2004 r. w związku z nowelizacją aktów prawnych zmieniono te przepisy. Aktualnie obowiązujące rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia [8], [10], wdraża postanowienia dyrektyw Wspólnoty Europejskiej dotyczących mas i wymiarów pojazdów silnikowych [5], [6], [7]. W konsekwencji od 1 maja 2004 r. na wybranych drogach dopuszczalny nacisk pojedynczej osi napędowej pojazdu wynosi 11,5 tony. Aby chronić drogi, które nie spełniały wymagań nośności w rozporządzeniu [9], ustalono wykaz fragmentów sześciu dróg krajowych, po których mogły poruszać się pojazdy o maksymalnym dopuszczalnym nacisku na oś. Nowelizacja z 2004 r. rozporządzenia Ministra Infrastruktury nie zmieniła rozporządzenia [11] w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne. W konsekwencji rozporządzenie to nie zawiera przepisów, z których jednoznacznie wynika potrzeba dostosowania konstrukcji dróg do przenoszenia dopuszczalnych nacisków 11,5 tony na oś. W 2009 r. jedynie 1/5 nawierzchni w Polsce była dostosowana do wymogów przepisów UE. Przy obecnym i spodziewanym natężeniu ruchu pojazdów ciężarowych, skutki tego stanu rzeczy mogą prowadzić do sytuacji, w której rzeczywista trwałość nawierzchni drogowej będzie dużo mniejsza od zakładanej.

W kontekście wszystkich przedstawionych problemów pewne jest, że jednym z podstawowych elementów systemu ochrony dróg, a jednocześnie narzędziem pozwalającym egzekwować zarządzenia dotyczące ograniczeń masy całkowitej pojazdów i nacisków ich osi, jest skuteczna i efektywna kontrola masy pojazdów oraz eliminacja z ruchu pojazdów przeciążonych. Podział i charakterystyka systemów ważących pojazdy zostaną przedstawione w następnej części artykułu z serii „Ważenie pojazdów samochodowych w ruchu”. W tym miejscu należy tylko wspomnieć o różnicowaniu takich systemów na: wagi statyczne – które działają okresowo i wymagają skierowania kontrolowanego pojazdu na specjalne stanowisko do pomiarów statycznych, oraz na wagi dynamiczne, działające w sposób ciągły, które umożliwiają kontrolę pojazdu w ruchu, na pasie drogi, którym się porusza. Te ostatnie systemy są nazywane *Weigh In Motion* (WIM).

Ważenie pojazdów – Europa i Świat

Przedstawiona charakterystyka problematyki związanej z ruchem pojazdów najcięższych, wskazuje na wielowymia-

rowość zjawiska oraz jego globalny charakter. Pomimo kryzysu światowego, który ma hamujący wpływ na liczbę rejestrowanych pojazdów, rozwój motoryzacji wciąż następuje. Przy ograniczonej dynamice nowych inwestycji drogowych w Europie, od wielu lat obserwuje się monotoniczny wzrost natężenia ruchu drogowego, w tym szczególnie pojazdów ciężarowych [15]. Problematyka kontroli wagi pojazdów ciężarowych w ruchu jest przedmiotem badań wielu ośrodków naukowych na świecie. Dotychczas prowadzone działania w tym kierunku były skupione wokół kilku międzynarodowych projektów badawczych. Do najważniejszych z nich, które zostały opisane w pracach [18], [19] należy zaliczyć:

1. *COST 323 (1993–1999) – Weigh-in-Motion of Road Vehicles* – projekt paneuropejski, ukierunkowany na wdrożenie ówczesnych technologii i ich wykorzystania do budowy systemów WIM. W ramach prac nad projektem opracowano również zestaw standardów dotyczących ważenia pojazdów w ruchu. Sprawozdanie z realizacji tego projektu do dziś jest nieoficjalnym podręcznikiem w środowisku związanym z tematyką systemów WIM.
2. *WAVE (1996–1999) – Weighing In Motion of Axles and Vehicles for Europe*. W projekcie tym, finansowanym przez Komisję Europejską, kontynuowano prace rozpoczęte w działaniu *COST 323*. Skupiono się w nim na: opracowaniu nowych algorytmów estymacji nacisku w systemach wieloczujnikowych, zwiększeniu dokładności ważenia w systemach mostowych (*Bridge – WIM*), testach systemów WIM w niskiej temperaturze, badaniu systemów z czujnikami światłowodowymi oraz na opracowaniu procedur kalibracji systemów WIM.
3. *TOP TRIAL (2000–2002)* – inicjatywa finansowana ze środków UE ukierunkowana na projektowanie, budowę i testy wieloczujnikowych systemów WIM. W ramach projektu zaproponowano między innymi metody symulacyjne umożliwiające projektowanie wieloczujnikowych systemów WIM, zbadano niezawodność i dokładność stosowanych czujników nacisku, oraz wykonano testy wieloczujnikowego systemu ważącego.
4. *REMOVE (2004–2006) – Requirements for Enforcement of Overloaded Vehicles In Europe* – projekt zainicjowany przez Unię Europejską, mający na celu harmonizację działań poszczególnych państw w sferze szeroko pojętej tematyki ważenia pojazdów w ruchu. W szczególności celem projektu było wypracowanie wspólnego stanowiska państw członkowskich co do specyfikacji systemów WIM oraz ujednoczenie przepisów dotyczących ważenia na terenie UE.
5. *FiWi (2007–2009) – FEHRL Institutes WIM Initiative* – głównym celem projektu była aktualizacja specyfikacji zawartej w raporcie *COST 323*. Badania były skupione na systemach mostowych (*Bridge WIM*), administracyjnych systemach WIM oraz integracji systemów ważących z Inteligentnymi Systemami Transportowymi (*Intelligent Transportation Systems – ITS*).

Obecnie niemal wszystkie kraje europejskie korzystają z technologii ważenia pojazdów w ruchu. Już w latach 90-tych we Francji pracowały 153 systemy WIM, które zbierały dane do celów statystycznych w ramach systemu *SIREDO* [26]. W 2005 r. francuskie Ministerstwo Transportu rozpisalo

przetarg na budowę kolejnych 10–40 systemów WIM na drogach krajowych [23]. Współpracują one również ze statycznymi stanowiskami kontrolnymi. Dodatkowo dzięki wyposażeniu systemów w kamery odczytujące numery rejestracyjne pojazdów podejrzanych o przeciążenie, możliwe jest tworzenie czarnej listy nieuczciwych firm przewozowych. Na podobnej zasadzie działa sieć systemów ważących w Holandii [19]. W wyniku inicjatywy podjętej w 2000 r. przez holenderskie Ministerstwo Transportu i Robót Publicznych, rozpoczęto projekt *Overloading* (z ang. przeciążenie). Zbudowano tam sieć ośmiu systemów WIM uzupełnionych o punkty kontroli statycznej, które rozmieszczono w newralgicznych punktach sieci drogowej.

Skoordynowanymi i przemyślanymi działaniami, mającymi na celu ochronę infrastruktury drogowej, mogą poszczycić się również takie kraje jak Słowenia (30 systemów WIM), Węgry (ponad 20 systemów działających i kolejne w budowie) czy Wielka Brytania [19]. Działania na dużą skalę zostały podjęte również w Hiszpanii i na Słowacji. W Stanach Zjednoczonych ważenie pojazdów jest również działaniem priorytetowym i znajduje się w kompetencji władz poszczególnych stanów, a rządowa agencja *Federal Highway Administration* zajmuje się koordynacją tych działań na poziomie krajowym. Także Brazylia może poszczycić się jedną z najdłuższych działających sieci systemów ważących na świecie. Rozpoczęte w 1975 r. działania, przyniosły zmniejszenie średniego poziomu przekroczeń dopuszczalnych nacisków na oś o ponad 4 tony, na przestrzeni 10 lat [16]. Systemy WIM są również w użyciu na Bliskim i Dalekim Wschodzie oraz w Afryce.

Podsumowanie

Biorąc pod uwagę zaprezentowane dane, ochrona infrastruktury drogowej w Polsce nie wyglądała najlepiej. Zawirowania legislacyjne w latach 90-tych spowodowały, że kontrola masy pojazdów w tamtym okresie nie była procesem ciągłym i o regularnym ważeniu pojazdów możemy mówić zaledwie od kilku ostatnich lat [21]. Sytuacja ulega jednak systematycznej poprawie, a obecnie (2014 r.) powstaje ogólnopolska sieć systemów ważących. Według GDDKiA do 2015 r. ma powstać 300 stanowisk preselekcyjnego ważenia dynamicznego w newralgicznych punktach sieci drogowej.

Prace badawcze nad dokładnymi systemami WIM są prowadzone w Katedrze Metrologii i Elektroniki AGH w Krakowie od lat 90-tych, gdzie powstało kilka systemów WIM różniących się właściwościami metrologicznymi [13], [27], [2]. Najnowsze 16 czujnikowe stanowisko badawcze zostało skonstruowane w 2005 r. w miejscowości Gardawice i po renowacji w 2011 r. jest w pełni sprawne. Celem obecnie prowadzonych badań jest budowa systemu WIM o wysokiej dokładności ważenia, tak by system mógł pełnić rolę nie tylko preselekcyjną ale również administracyjną. Oprócz pomiaru nacisków osi pojazdu i jego masy całkowitej, celem prac jest również ocena stopnia zagrożenia stwarzanego przez określony pojazd z punktu widzenia krótkotrwałych nacisków maksymalnych (udarów) generowanych przez koła pojazdu, gdyż to ten czynnik ma istotny wpływ na degradację konstrukcji nawierzchni drogi.

Budowa, zasada działania oraz właściwości metrologiczne wag samochodowych zostaną szczegółowo omówione w następnej części artykułu.

Bibliografia

- [1] Z. Bukowski, *Co kryje asfalt?*, Magazyn Autostrady. Lipiec 2005, s. 28–29
- [2] P. Burnos i inni, *Road traffic parameters measuring system with variable structure*. Metrology and Measurement Systems: quarterly of Polish Academy of Sciences; ISSN 2080-9050. 2011 vol. 18 no. 4, s. 659–666
- [3] K. Chatti, J. Lysmer, C. Monismith, *Dynamic Finite-Element Analysis of Jointed Concrete Pavements*. Transportation Research Record vol. 1449. – 1994, s. 79-90
- [4] COST 334: Effects of Wide Single Tyres and Dual Tyres. 2001
- [5] Dyrektywa 92/21/EWG z dnia 31 marca 1992 r. w sprawie mas i wymiarów pojazdów silnikowych kategorii M1 (Dz. Urz. WE L 129 z 14.05.1992, z późn. zm.). 1992
- [6] Dyrektywa 93/93/EWG z dnia 29 października 1993 r. w sprawie mas i wymiarów dwu- i trzykołowych pojazdów silnikowych (Dz. Urz. WE L 311 z 14.12.1993). 1993
- [7] Dyrektywa 96/53/WE z dnia 25 lipca 1996 r. ustanawiająca dla niektórych pojazdów kołowych poruszających się na terytorium Wspólnoty maksymalne dopuszczalne wymiary w ruchu krajowym i międzynarodowym oraz maksymalne dopuszczalne obciążenia w ruchu międzynarodowym. 1996
- [8] Dz.U. RP Nr 103 poz. 1085 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 30 kwietnia 2004 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia, 1 maja 2004
- [9] Dz.U. RP Nr 102 poz. 1077, z dnia 31 października 2005 r. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 19 października 2005 r. w sprawie wykazu dróg krajowych, po których mogą się poruszać pojazdy o dopuszczalnym nacisku pojedynczej osi napędowej do 11,5 t. – 2005
- [10] Dz.U. RP Nr 169 poz. 1773 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 26 lipca 2004 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia, 30 lipca 2004
- [11] Dz.U. RP Nr 43 poz. 430, z dnia 5 maj 1999 r. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie 1999
- [12] Eurostat European Commission Eurostat. 2014. [Online] <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>.
- [13] J. Gajda i inni, *Pierwszy Polski System Wazenia Pojazdow w Ruchu*. Drogownictwo, marzec 2002, s. 90–94
- [14] GDDKiA *Raport o stanie technicznym sieci dróg krajowych na koniec 2012 roku*. Warszawa 2013
- [15] GDDKiA *Synteza Wyników GPR 2010*. Warszawa: Transprojekt-Warszawa Sp. z o.o., 2010
- [16] H. Goltsman i inni, *Test of WIM sensors and systems under Brazilian conditions* Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles, 5th International Conference on Weigh-in-Motion of Heavy Vehicles. Paryż. Wiley, 2008, s. 86–92
- [17] IBDiM *Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych*. 1997
- [18] B. Jacob, E. O'Brien, *Weigh-in-Motion: Recent Developments in Europe* Post-Proceedings of the Fourth International Conference on Weigh-In-Motion. – Taipei. ARRB Group Limited, 2005, s. 2–12
- [19] B. Jacob, H. Van Loo, *Weigh-in-Motion for enforcement in Europe* Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles, 5th International Conference on Weigh-in-Motion of Heavy Vehicles. Paryż. Wiley, 2008, s. 15–24
- [20] Komenda Główna Policji *Wypadki Drogowe w Polsce w 2012 Roku* Warszawa: Biuro Ruchu Drogowego, Wydział Profilaktyki i Analiz, 2013
- [21] S. Kul, *Co dalej z ważeniem pojazdów nadmiernie obciążonych* Bezpieczne drogi, marzec 2000, s. 2–3.
- [22] B. Kulakowski, *Vehicle – road interaction*. USA: ASTM International, 1994

- [23] Y. Marchadour., B. Jacob, *Development and implementation of a WIM network for enforcement in France* Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles, 5th International Conference on Weigh-in-Motion of Heavy Vehicles. Paryż. Wiley, 2008, s. 266–274
- [24] M. Mikłasz, A. Nowosielski, G. Kawka, Ł. Kwiatkowski, *Ważenie pojazdów w ruchu. Rozwiązania i praktyka w Polsce. Magazyn Autostrady*, Nr 5/2011, s. 164–169
- [25] C. Penant, *A brief review of tyre-pavement interaction and an insight on new regulation on tyre rolling resistance in Europe* Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles, 10th International Symposium on Heavy Vehicle Transport Technologies. Paryż. Wiley, 2008, s. 125–136
- [26] S. Rembeau, C. Follin, D. Stanczyk, *The French National WIM Network "SIREDO" Pre-Proceedings, COST323 – Weigh in Motion of Road Vehicles, 2nd European Conference.* – Lisbona: Office for Official Publications of the European Communities, 1998, s. 47–54.
- [27] R. Sroka, *Raport Końcowy z realizacji projektu badawczego nr 4 T10C 026 25 Dokładne wieloczułkowe systemy ważenia pojazdów samochodowych w ruchu.* Kraków: AGH – UST, 2006
- [28] Z. Tabor *Nacisk 11,5 tony na oś – Wyznaczenie obciążenia ruchem projektowanych nawierzchni po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej* Magazyn Autostrady 10/2005, s. 34–36
- [29] R. Thomson, A. Krusper, *Crash compatibility between heavy foods vehicles and passenger cars: structural interaction analysis and In-depth accident analysis.* Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles, 10th International Symposium on Heavy Vehicle Transport Technologies. Paryż. Wiley, 2008, s. 181–190
- [30] F.J. Van Loo, *WIM-Hand Project, 1st Intermediate Report – Results of the first phase of the „Weigh-In-Motion for direct Enforcement” Project In 2000* Delft: Road and Hydraulic Engineering Division, 2001
- [31] R. Wardęga, *Analiza nacisków osi pojazdów ciężarowych na nawierzchnie drogowe.* Drogownictwo, Nr 11/2010, s. 400–408
- [32] R. Wardęga, A. Szydło, P. Mackiewicz, K.J. Kowalski, *Wykorzystanie wag HS-WIM na polskich drogach,* Drogownictwo, Nr 4/2007, s. 117–121 ■



ANDRZEJ JAROMINIAK

andrzejjarominiak@gmail.com

Artykuł dotyczy tematu, który Autor przedstawił wcześniej w „Inżynierii i Budownictwie” (Nr 7-8, 2013, poz. 7 Bibliografii). Redakcja DROGOWNICTWA zdecydowała się opublikować ten materiał, ze względu na ważność poruszonych w nim zagadnień oraz uwzględniając różnice treści obu artykułów. W „Inżynierii i Budownictwie” Autor wypuklił zagadnienia projektowe, w DROGOWNICTWIE rozwinął zagadnienia technologiczne.

Iniekcja pod stopy wielkośrednicowych pali wierconych jest wykonywana od ponad półwiecza – od czasu zastosowania jej w 1961 r. przez Francuza, prof. J. Kerisela w budowie fundamentów podpór mostu przez jezioro Maracaibo w Wenezueli. W Polsce stosujemy tę iniekcję od 1991 r. [4]. Mimo upływu ponad 20 lat, używane obecnie w kraju technologie iniekcji pod stopy pali są nieprawidłowe. Dotyczy to zarówno technologii opracowanej przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów, jak i Politechnikę Gdańską. Obie nie wykorzystują możliwości, jakie daje iniekcja. Efekt obu sprowadza się głównie do minimalizacji następstw błędów wykonawcy: nieoczyszczenia dna wywierconego otworu pala, a gdy stopa pala jest w gruncie ziarnistym, to także do wzmocnienia jej podłoża, ale w ograniczonym stopniu. Nie są wykorzystywane możliwe do osiągnięcia nośności pali oraz - szczególnie ważna dla zamawiającego i inwestora - możliwość skontrolowania iniekcją pod stopy nośności każdego pala. Nie jest wykorzystywany istotny walor iniekcji, który ma podstawowe znaczenie dla zamawiającego i projektanta: możliwość skontrolowania iniekcją pod stopę nośności **każdego** pala. Poglądy na temat iniekcji pod stopy pali, np. że wpływa ona

szczególnie na zwiększenie nośności pali w gruntach spolistych [11] sprawiają wrażenie, że zajmujący się tą iniekcją nie w pełni rozumieją jej istotę.

Zjawiska wpływające na zachowanie się pala wierconego pod obciążeniem osiowym

Konwencjonalny (bez iniekcji) wielkośrednicowy pal wiercony obciążony osiowo charakteryzuje się relatywnie małą nośnością stopy. Jest to następstwem:

(1) Naruszenia gruntu w strefie stopy pala wskutek wiercenia jego otworu, relaksacji (odprężenia) podłoża otworu wywołanej zwierceniem nadkładu, napływu wody gruntowej, gdy zwierciadło cieczy w otworze pala jest na zbyt niskim poziomie oraz nadmiernej szybkości wyciągania z otworu narzędzia wierzącego (zależnie od głębokości otworu i szybkości wyciągania, ciecz spływa pod świder z prędkością od kilku do kilkunastu m/s, powodując silną erozję dna i ścian niezarurowanego otworu). W praktyce naruszenia gruntu nie daje się uniknąć. Osiadanie pala konieczne do likwidacji naruszenia podłoża stopy i zmobilizowania znaczącego jej oporu zwykle przekracza wartość dopuszczalnego osiadania pala.

(2) Nieoczyszczenia dna wywierconego otworu pala ze zwiercin i osadów. Są to szczątki, które wypadły z wyciąganego świdra, odpadły ze ścian otworu i sedymentowały z zawiesiny wiertniczej. Warstwa szczątków jest tym grubsza, im więcej czasu upływa pomiędzy zakończeniem wiercenia i rozpoczęciem betonowania pala. Część szczątków gromadzi się w zagłębieniach dna pozostawionych przez narzędzie