

RYŚ Dawid¹
 JUDYCKI Józef²
 JASKUŁA Piotr³

Wpływ pojazdów przeciążonych na trwałość nawierzchni asfaltowych

Streszczenie

Pojazdy przeciążone istotnie wpływają na trwałość konstrukcji nawierzchni. Jak wynika ze studiów literatury, zjawisko przeciążania pojazdów nasila się, gdy kontrola ruchu jest słaba. W pracy przedstawiono analizę danych z ważenia pojazdów w ruchu na polskich drogach oraz analizę wpływu ruchu pojazdów przeciążonych na trwałość nawierzchni asfaltowych. Z badań wynika, że średni udział pojazdów przeciążonych w ruchu wynosi 18,5% oraz że pojazdy te wywołują ok 53% całkowitej szkody zmęczeniowej nawierzchni drogowych. Przedstawiono wyniki obliczeń średnich współczynników równoważności obciążenia pojazdów dla poszczególnych stacji oraz ich korelację z udziałem pojazdów przeciążonych. Jak wynika z analiz, zmniejszenie udziału pojazdów przeciążonych z 15% do 5% spowoduje zmniejszenie średniego współczynnika równoważności obciążenia osi o 25% i wzrost okresu eksploatacji nawierzchni o 1/3.

Abstract

Overloaded vehicles have a significant impact on asphalt pavement distress. As literature review has shown, the phenomena of overloaded vehicles intensify when control is poor. The analysis of weighing vehicles in motion and analysis of the effect of overloaded vehicles on asphalt pavement distress are included in the paper. The average percentage of overloaded vehicles is 18,5% and this vehicles cause 53% of total pavement distress. The paper includes the results of the calculations of average load equivalency factors for each weigh in motion stations and it also includes the correlation of load equivalency factor with the percentage of overloaded vehicles. The decrease of overloaded vehicles from level of 15% to level of 5% cause the decrease of load equivalency factor by 25% and increase of pavement service period by 1/3.

1 WPROWADZENIE

W Polsce po przemianach ekonomicznych na początku lat 90 XX wieku transport drogowy zaczął gwałtownie rosnać. Wraz ze wzrostem liczby pojazdów ciężkich na drogach istotnie zwiększyła się liczba pojazdów przeciążonych czyli pojazdów, które przekraczają dopuszczalną masę całkowitą lub dopuszczalne obciążenie osi. Pojazdy przeciążone znacząco skracają trwałość konstrukcji nawierzchni oraz trwałość różnych obiektów inżynierskich, jak obiekty mostowe czy przepusty. Pojazdy przeciążone również negatywnie wpływają na bezpieczeństwo ruchu.

Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie czytelnikowi przepisów regulujących obciążenia pojazdów i ich osi, ukazanie skali ich nieprzestrzegania oraz oszacowanie skutków ruchu pojazdów przeciążonych w Polsce. W przedstawionej analizie wykorzystano pomiary z 11 stacji ważenia pojazdów w ruchu, które zawierały dane z ważenia ponad 10 mln pojazdów ciężkich w okresie od 2010 do 2013 r.

Zjawisko przeciążania pojazdów i jego wpływ na trwałość nawierzchni oraz na koszty utrzymania dróg było tematem wielu publikacji, w tym [5], [10], [11], [12], [20]. Wynika z nich, że pojazdy przeciążone istotnie skracają okres trwałości nawierzchni. W porównaniu z prawidłowo obciążonymi pojazdami, pojazdy przeciążone w ruchu występują rzadziej, ale ich potencjał do wywoływania uszkodzeń w nawierzchni jest znacznie wyższy niż pojazdów obciążonych prawidłowo. Szybsze narastanie uszkodzeń nawierzchni wywołane ruchem pojazdów przeciążonych powoduje zwiększenie kosztów utrzymania i zwiększenie częstotliwości napraw. Według Paisa i wsp. [12] koszt utrzymania

¹mgr inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej, Gdańsk ul. Narutowicza 11/12, tel. (58) 347 27 82, dawid.rys@wilis.pg.gda.pl

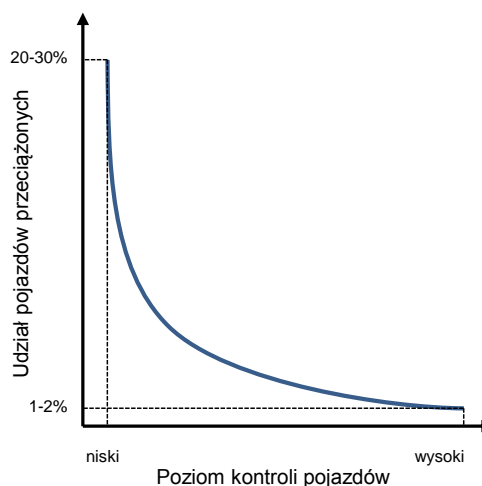
²prof. dr hab. inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej, Gdańsk ul. Narutowicza 11/12, tel. (58) 347 13 47, jozef.judycki@wilis.pg.gda.pl

³dr inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej, Gdańsk ul. Narutowicza 11/12, tel. (58) 347 19 96, piotr.jaskula@wilis.pg.gda.pl

drogi przeliczony dla jednego pojazdu przeciążonego jest większy o 100% niż ten sam koszt obliczony dla pojazdu obciążanego prawidłowo.

Ruch pojazdów przeciążonych powoduje również szybsze narastanie uszkodzeń obiektów mostowych. Zgodnie z publikacją Jacoba i Labry [4], przekroczenie masy całkowitej pojazdu o 15% może powodować aż 2-krotne zwiększenie szkody zmęczeniowej obiektu mostowego. Przeciążanie pojazdów również negatywnie wpływa na bezpieczeństwo ruchu ze względu na dłuższą odległość zatrzymania przy hamowaniu awaryjnym oraz ze względu na kiepski stan techniczny pojazdów często przeciążanych [22].

Udział pojazdów przeciążonych może być zredukowany przez regularną kontrolę pojazdów i nakładanie kar na kierujących pojazdami przeciążonymi. Jednym z narzędzi pozwalającym zredukować liczbę pojazdów przeciążonych jest system preselekcyjnego ważenia pojazdów w ruchu (WIM od ang. „*weighing in motion*”). Tailor i wsp. [23] oraz Stephens i wsp. [21] prowadzili badania nad wpływem intensywności kontroli pojazdów na udział pojazdów przeciążonych, z których wynika, że stała kontrola pojazdów może obniżyć udział pojazdów przeciążonych z ok 25% do ok 1% (por. rysunek 1). Z drugiej strony stała, długotrwała kontrola pojazdów powoduje przesunięcie ładunków przewożonych przez pojazdy przeciążone na pojazdy obciążone prawidłowo w górnych przedziałach obciążenia. Niemniej jednak zgodnie z badaniami Stephensa i wsp. [21] ładunek przewieziony przez większą liczbę pojazdów obciążonych prawidłowo wywoła mniejszą szkodę zmęczeniową nawierzchni niż ten sam ładunek przewieziony przez mniejszą liczbę pojazdów przeciążonych.



Rys. 1. Wpływ poziomu kontroli na udział pojazdów przeciążonych [23]

2 DOPUSZCZALNA MASA CAŁKOWITA I OBCIĄŻENIA OSI POJAZDÓW

Maksymalne dopuszczalne obciążenie pojazdów i ich osi określone są prawem w celu ochrony infrastruktury drogowej oraz w celu zapewnienia bezpieczeństwa ruchu. Przepisy dotyczące maksymalnej, dopuszczalnej masy całkowitej pojazdów i obciążenia ich osi w Polsce zmieniały się w ciągu ostatnich lat, co zostało opisane m.in. w publikacjach [7] i [22]. Obecnie zgodnie z Ustawą o drogach publicznych [25] oraz rozporządzeniami Ministra Transportu [15], [16], [17] po najważniejszych drogach (autostrady, drogi międzynarodowe) mogą poruszać się pojazdy o obciążeniu osi napędowej do 115 kN, po wybranych, ważnych drogach krajowych i wojewódzkich pojazdy o obciążeniu osi do 100 kN, a na pozostałych drogach pojazdy o obciążeniu osi do 80 kN.

Wartości dopuszczalnego obciążenia osi zestawiono w tabelicy 1 i zależą one od rodzaju osi oraz w przypadku osi wielokrotnych od odległości między osiami sąsiednimi. W tabelicy 2 zestawiono wartości dopuszczalnej masy całkowitej pojazdów, które zależą od typu pojazdu.













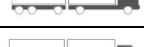





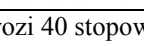
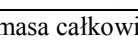
Tablica 1. Zestawienie maksymalnych dopuszczalnych obciążeń osi pojazdów

Odległość między osiami sąsiednimi d [m]	Maksymalne dopuszczalne obciążenie osi pojedynczej lub osi wielokrotnej		
	Na drogach po których mogą poruszać się pojazdy o obciążeniu 115 kN na oś napędową, zamieszczonych w wykazie [16]	Na drogach po których mogą poruszać się pojazdy o obciążeniu 100 kN na oś, zamieszczonych w wykazie [17] ¹⁾	Na drogach nie ujętych w wykazach [16] i [17], na których dopuszczalne obciążenie osi wynosi 80kN ¹⁾
Oś pojedyncza, nienapędowa w pojazdach silnikowych, przyczepach i naczepach			
d ≥ 1,8	100 kN	100 kN	80 kN
Oś podwójna, nienapędowa w pojazdach silnikowych, przyczepach i naczepach			
d < 1,0	110 kN	110 kN	80 kN
1,0 ≤ d < 1,3	160 kN	144 kN	130 kN
1,3 ≤ d < 1,8	180 kN	160 kN	145 kN
Oś potrójna w przyczepach i naczepach			
d ≤ 1,3	210 kN	210 kN	195 kN
1,3 < d ≤ 1,4	240 kN	240 kN	218 kN
Oś pojedyncza, napędowa w pojazdach silnikowych			
d ≥ 1,8	115 kN	100 kN	80 kN
Oś podwójna, napędowa w pojazdach silnikowych			
d < 1,0	115 kN	-	-
1,0 ≤ d < 1,3	160 kN	144 kN	130 kN
1,3 ≤ d < 1,8	180 (190 ²) kN	160 (170 ²) kN	145 (152 ²) kN

1) zgodnie z załącznikiem 1 Ustawy o Droгах Publicznych, obowiązującym do dnia 19 października 2012r. [25]

2) dla osi wyposażonych w koła bliźniacze, zawieszenie pneumatyczne i przy równomiernym obciążeniu obu osi

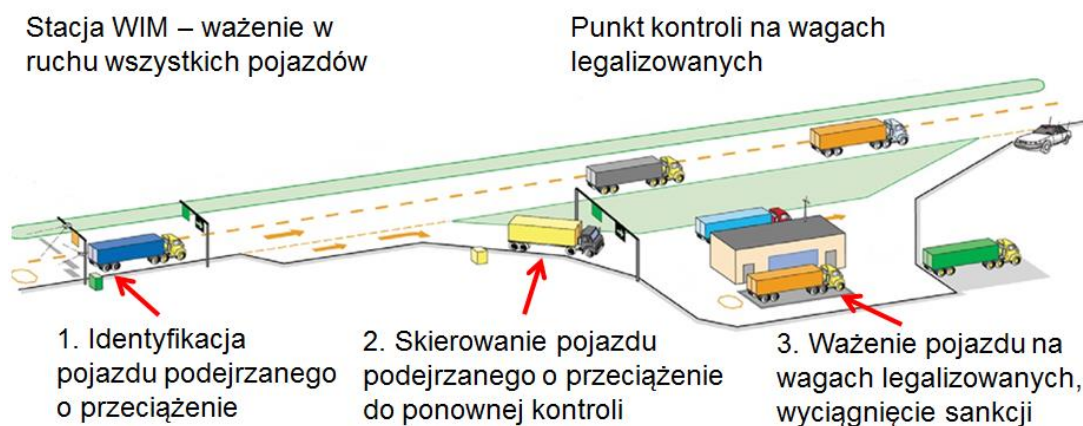
Tablica 2. Zestawienie maksymalnej dopuszczalnej masy całkowitej pojazdów [15]

Typ pojazdu		Dopuszczalna masa całkowita pojazdu [tony]	Typ pojazdu		Dopuszczalna masa całkowita pojazdu [tony]
C 11		18	A 11		18
C 12		26	A 12		26
C 22		32	A 111		28
C+P 111		28	Cs+N111		28
C+P 112		36	Cs+N 112		36
C+P 1111		36	Cs+N 113		40
C+P 1112		40	Cs+N 121		36
C+P 122		40	Cs+N 122		40
C+P 1211		40	Cs+N 123		40 (44*)
C+P 1212		40	C+P 2211		40

* jeżeli pojazd przewozi 40 stopowy kontener ISO w transporcie kombinowanym masa całkowita może wynosić 44 tony

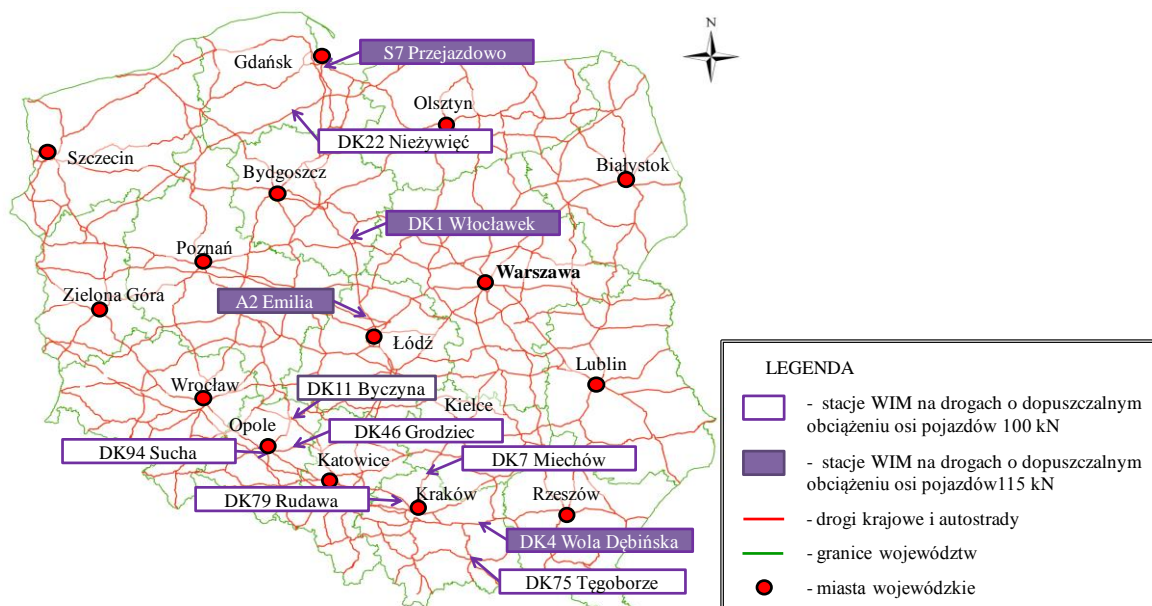
3 WAŻENIE POJAZDÓW W RUCHU

Kontrolę obciążenia pojazdów można przeprowadzić na dwa sposoby, poprzez ważenie na wagach statycznych losowo wybranych pojazdów z ruchu lub poprzez ważenie pojazdów w ruchu. Ważenie pojazdów w ruchu ma tę przewagę nad ważeniem na wagach statycznych, że pojazdy nie muszą zatrzymywać się do kontroli, dzięki czemu kontrolowany jest cały potok ruchu pojazdów, a na podstawie zgromadzonych danych można przeprowadzić analizy ruchu oparte o ciągły pomiar. Z drugiej strony błąd popełniany podczas ważenia pojazdów w ruchu jest większy niż podczas ważenia na wagach statycznych, dlatego ważenie pojazdów w ruchu ma na celu preselekcję pojazdów i skierowanie do dokładnej kontroli pojazdów podejrzanych o przeciążenie, czego schemat pokazano na rysunku 2. Niemniej jednak w wyniku rozwoju technologii ważenia pojazdów w ruchu w ostatnich latach błąd pomiaru nacisków osi pojazdów jest niewielki i przy analizie dużej liczby danych można powiedzieć, że jest pomijalnie mały. Bardziej szczegółowe informacje na temat systemu ważenia pojazdów w ruchu znaleźć można w publikacjach Burnosa [1] i [2].



Rys. 2. Schemat działania systemu preselekcji wagowej

W niniejszym artykule przedstawiono analizę danych z 11 stacji preselekcyjnego ważenia pojazdów w ruchu na drogach krajowych i autostradzie, których lokalizację zaznaczono na rysunku 3. Na rysunku 3 oznaczono również dopuszczalne obciążenie osi obowiązujące na danej stacji. Dostęp do danych pomiarowych ze stacji uzyskano w 2010 r. w ramach prac nad nowym Katalogiem Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych [8], które były prowadzone w Katedrze Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej na zlecenie GDDKiA w latach 2009-2012. Stacje są obsługiwane przez dwie firmy: Neurosoft i Cat-Traffic.



Rys. 3. Mapka z lokalizacją stacji ważenia pojazdów w ruchu WIM i z zaznaczonym dopuszczalnym obciążeniem osi na każdej ze stacji

4 ANALIZA DANYCH Z WAŻENIA POJAZDÓW W RUCHU

4.1 Weryfikacja danych wejściowych

Surowe dane ze stacji WIM mogą zawierać błędy i muszą być zweryfikowane przed dalszą analizą. Weryfikacja danych polega na określeniu odpowiednich filtrów wartości mierzonych aby wyeliminować odczyty nierzeczywiste. W niniejszej pracy przyjęto że podstawą do rozpoznania błędnych danych pomiarowych będą: przewodnik Federalnej Agencji Autostrad FHWA (USA) [14] oraz studia parametrów technicznych pojazdów poruszających się po polskich drogach przeprowadzone na podstawie literatury [13] i przepisów dotyczących wymagań wymiarów i obciążenia pojazdów drogowych [3], [15]. Po zweryfikowaniu analizowane dane zawierają pomiary ponad 10 mln pojazdów ciężkich. W przeprowadzonych badaniach uwzględniono jedynie pojazdy ciężkie czyli te, których masa całkowita przekracza 3,5 tony. Wpływ pojazdów lekkich, o masie poniżej 3,5 tony (np. samochody osobowe, dostawcze, motocykle itp.) na trwałość nawierzchni jest pomijalnie mały. W analizie uwzględniono wyłącznie miarodajne dni pomiarowe czyli takie, w których pomiar trwał nieprzerwanie przez 24 godziny. Dokładne informacje dotyczące wykazu stacji pomiarowych i liczby uwzględnionych w analizie pojazdów ciężkich zamieszczono w tablicy 3.

Tablica 3. Wykaz stacji pomiarowych, okresu pomiaru i liczby pojazdów uwzględnionych w analizie

Droga - Stacja ważenia	Kierunek	Liczba pojazdów ciężkich o masie powyżej 3,5 t (po weryfikacji)	Łączna liczba miarodajnych dni pomiarowych	Okres pomiaru
A2 Emilia	Warszawa	785 504	337	I 2012 - XII 2012
	Poznań	663 818	307	I 2012 - XII 2012
S7 Przejazdowo*	Elbląg	410 140	296	I 2013 - XII 2013
DK1 Włocławek	Łódź	142 804	114	I,II,III,VII,VIII 2011
DK4 Wola Dębińska*	Tarnów	1 256 080	687	I 2012 - XII 2013
	Kraków	1 948 661	984	I 2011 - XII 2013
DK7 Antołka / Miechów	Kraków	458 663	542	I 2012 - XII 2013
	Kielce	614 297	714	I 2012 - XII 2013
DK11 Byczyna / Gołkowice*	Opole	554 536	711	I 2010 - XII 2011
DK22 Nieżywiec	Chojnice	314 207	354	I 2013 - XII 2013
	Człuchów	317 831	355	I 2013 - XII 2013
DK46 Grodziec	Częstochowa	529 051	692	I 2011 - XII 2012
	Opole	517 551	711	I 2011 - XII 2012
DK75 Tęgorozę / Kurów	Brzesko	391 773	526	I 2012 - XII 2013
	Nowy Sącz	505 205	642	I 2012 - XII 2013
DK79 Rudawa	Kraków	254 237	352	I 2013 - XII 2013
DK94 Sucha	Opole	222 719	322	I 2013 - XII 2013
	Katowice	243 587	359	I 2013 - XII 2013
Suma		10 108 234	8 992	-

* - ograniczony dostęp do danych dla jednego z kierunków ruchu

4.2 Udział liczby pojazdów przeciążonych w ruchu

Najprostszą statystyką opisującą zjawisko przeciążania pojazdów jest udział pojazdów przeciążonych w ruchu. Ze względu na sposób przeciążenia pojazdu można wyróżnić:

- udział pojazdów przekraczających dopuszczalną masę pojazdu,
- udział pojazdów przekraczających dopuszczalne obciążenia osi,
- udział pojazdów przeciążonych - przekraczających dopuszczalną masę lub dopuszczalne obciążenie osi składowych.

Należy dodać, że w pojeździe przeciążonym nie zawsze jest jednocześnie przekroczona masa dopuszczalna i dopuszczalne obciążenie osi. Udział pojazdów przeciążonych w ruchu ciężkim obliczono zgodnie z ogólnym wzorem:

$$UP = \frac{N_p}{N} \quad (1)$$

gdzie:

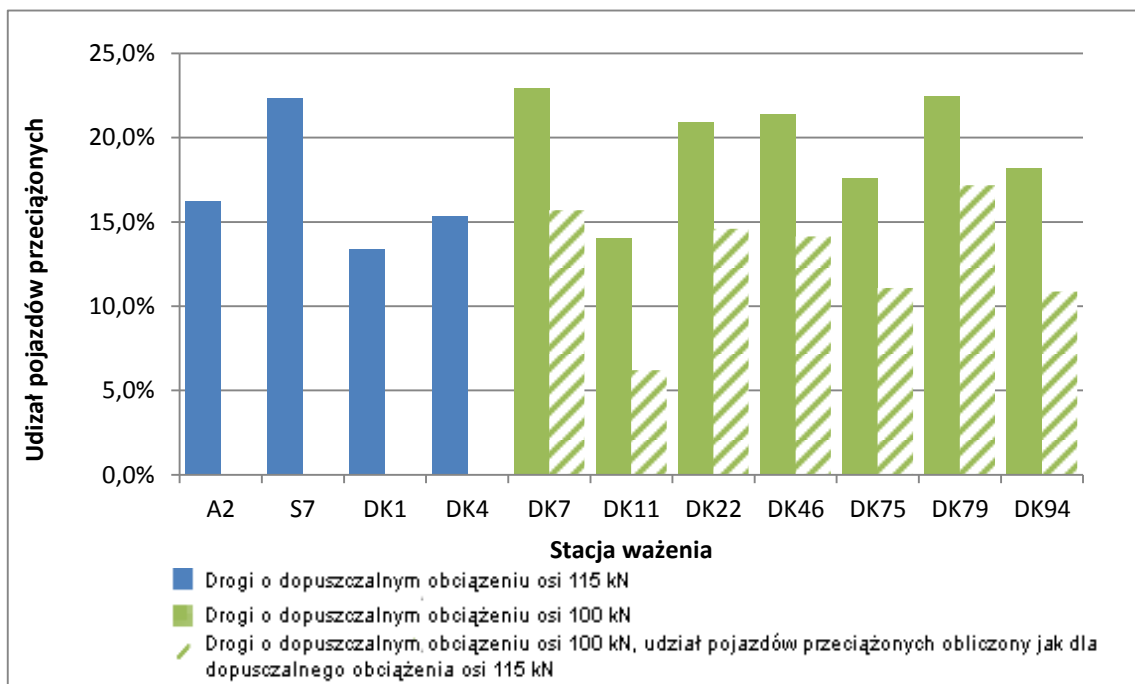
UP – udział pojazdów przeciążonych,

N_p – sumaryczna liczba pojazdów sklasyfikowanych jako przeciążone,

N – sumaryczna liczba wszystkich pojazdów ciężkich.

Wyniki obliczeń udziału pojazdów przeciążonych na poszczególnych stacjach przedstawiono na rysunku 4. Aby porównać udział pojazdów przeciążonych ze wszystkich stacji wykonano obliczenia

przy założeniu jednakowego kryterium maksymalnego dopuszczalnego obciążenia osi 115 kN dla wszystkich stacji. Wyniki przedstawiono na rysunku 4 jako kolumnę zakreskowaną. Na podstawie rysunku 4 można stwierdzić, że skala ruchu pojazdów przeciążonych w Polsce jest duża. Średnio udział pojazdów przeciążonych wynosi 18,5%. Należy zaznaczyć, że na rozpatrywanych stacjach ważenia pojazdów (poza A2 i S7) prowadzona jest dość często kontrola Inspekcji Transportu Drogowego. Oznacza to, że na innych drogach w kraju, gdzie kontrole pojazdów prowadzone są rzadko, udział pojazdów przeciążonych w ruchu może być jeszcze wyższy.



Rys. 4. Udział pojazdów przeciążonych w ruchu pojazdów ciężkich

4.3 Współczynnik równoważności obciążenia pojazdu

Współczynnik równoważności obciążenia pojazdu jest to współczynnik uwzględniający stopień oddziaływania pojedynczego pojazdu ciężkiego na nawierzchnię, wyrażony ekwiwalentnym obciążeniem nawierzchni równoważną osią standardową 100 kN przypadającą na dany pojazd ciężki. Współczynniki równoważności obciążenia obliczono dla każdego pojazdu z osobna zgodnie ze wzorem:

$$F_v = \sum_{j=1}^n F_j \quad (2)$$

gdzie:

F_v – współczynnik równoważności obciążenia pojedynczego pojazdu, czyli liczba przejazdów osi standardowej 100 kN równoważna jednemu przejazdowi danego pojazdu,

F_j – współczynnik równoważności obciążenia osi j w pojeździe z uwzględnieniem typu osi (pojedyncza, podwójna, potrójna) obliczony na podstawie wzoru czwartej potęgi,

j – numer kolejnej osi w pojeździe,

n – liczba osi w pojeździe.

Wzór czwartej potęgi jest uproszczeniem wzorów opracowanych jako wynik testu AASHO a jego postać jest następująca:

$$F_j = \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^4 \quad (3)$$

Bardziej ogólny wzór to:

$$F_j = \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^n \quad (4)$$

gdzie:

F_j - współczynnik równoważności obciążenia osi,

Q - ciężar osi w kN dla osi pojedynczej, dla osi podwójnej suma ciężarów dwóch osi składowych, dla osi potrójnej suma ciężarów trzech osi składowych,

Q_0 - ciężar osi równoważnej, dla osi pojedynczej $Q_0 = 100 \text{ kN}$, dla osi podwójnej $Q_0 = 184 \text{ kN}$, dla osi potrójnej $Q_0 = 263 \text{ kN}$.

n - wykładnik potęgi (przyjęto $n = 4$ dla nawierzchni podatnych).

Wartości 184 kN i 263 kN przyjęto według pracy Judyckiego [6]. Szczegółowe informacje dotyczące metody obliczania współczynników równoważności obciążenia pojazdów w warunkach polskich zostały podane w pracy Judyckiego i wsp. [9] oraz Rysia i wsp. [19].

4.4 Udział pojazdów przeciążonych całkowitej szkodzie zmęczeniowej nawierzchni

Aby obliczyć udział pojazdów ciężkich w całkowitej szkodzie zmęczeniowej nawierzchni przyjęto, że trwałość nawierzchni wyrażona jako sumaryczna liczba równoważnych osi standardowych jest równa N_{100} . Przyjęto, że dana nawierzchnia jest w stanie przenieść sumaryczną liczbę pojazdów ciężkich N , których średni współczynnik równoważności obciążenia pojazdu wynosi F . Zgodnie z powyższym założeniem zachodzi następująca równość:

$$N_{100} = N F = N_p F_p + N_{np} F_{np} \quad (5)$$

gdzie:

N_p - sumaryczna liczba pojazdów sklasyfikowanych jako przeciążone,

F_p - średni współczynnik równoważności obciążenia pojazdów przeciążonych,

N_{np} - sumaryczna liczba pojazdów obciążonych prawidłowo,

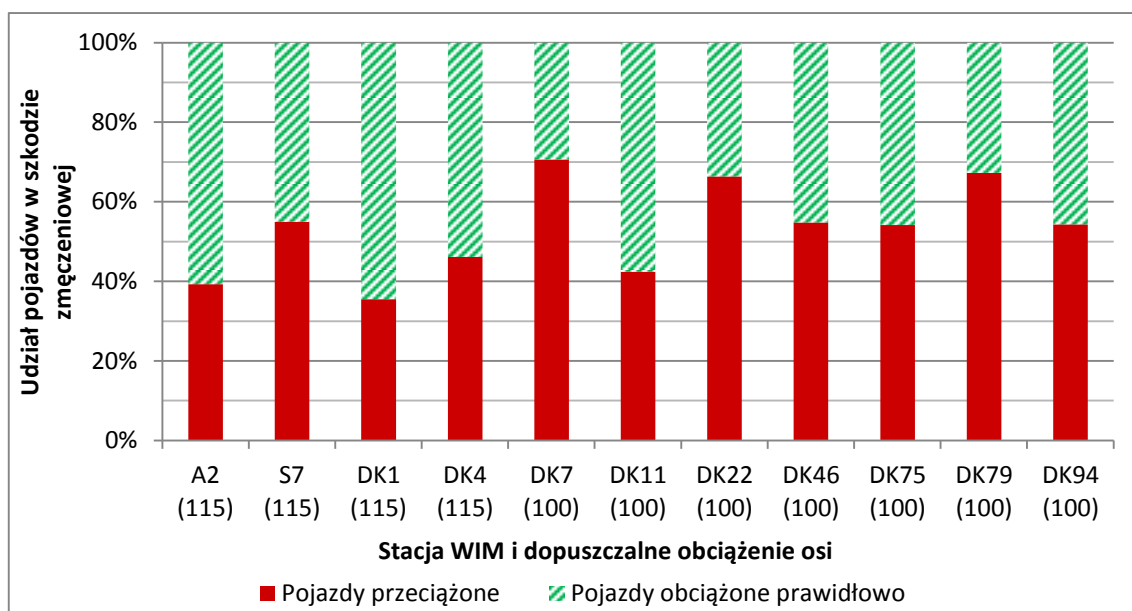
F_{np} - średni współczynnik równoważności obciążenia pojazdów obciążonych prawidłowo,

Udział pojazdów przeciążonych w całkowitej szkodzie zmęczeniowej nawierzchni UPD jest równy:

$$UPD = \frac{N_p F_p}{N F} \quad (6)$$

gdzie oznaczenia jak we wzorze 5.

Wyniki obliczeń udziału pojazdów przeciążonych w całkowitej szkodzie zmęczeniowej nawierzchni przedstawiono na rysunku 5.

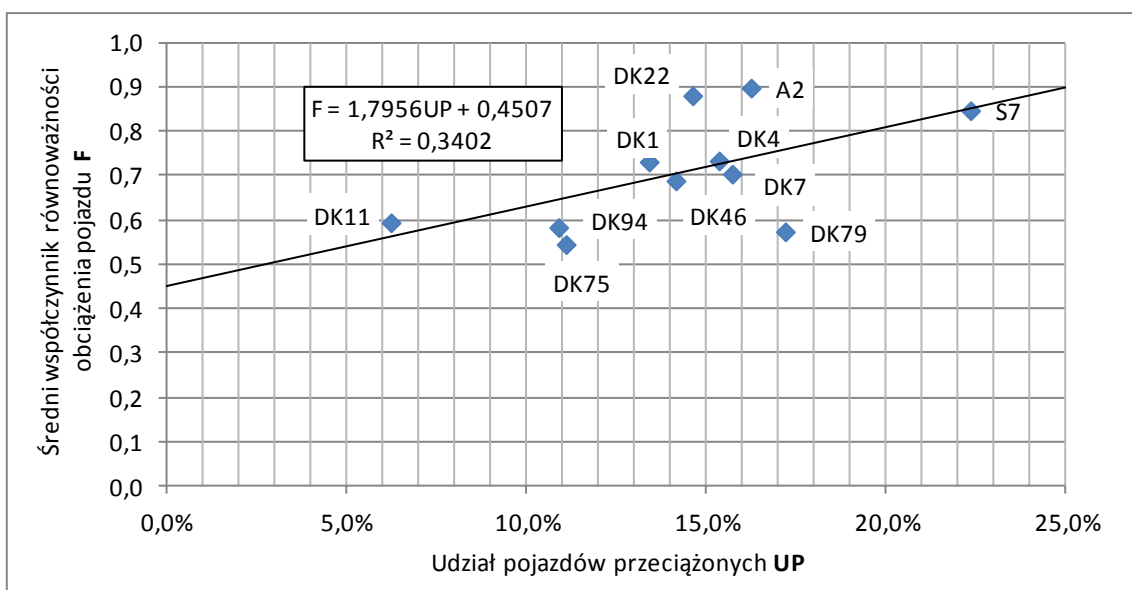


Rys. 5. Udział pojazdów przeciążonych w całkowitej szkodzie zmęczeniowej nawierzchni

Jak wynika z rysunku 5 udział pojazdów przeciążonych w całkowitej szkodzie zmęczeniowej nawierzchni jest znaczny i wynosi od 35% do 70%. Można powiedzieć, że pojazdy przeciążone, które stanowią średnio 18,5% liczby wszystkich pojazdów wywołują 53% całkowitej szkody zmęczeniowej nawierzchni. Wskazuje to na istotny problem związany z ruchem pojazdów przeciążonych oraz na konieczność przeciwdziałania zjawisku przeciążania pojazdów.

4.5 Zależność współczynnika równoważności obciążenia pojazdu od udziału pojazdów przeciążonych

Udział pojazdów przeciążonych, jak również średni współczynnik równoważności obciążenia osi jest różny na poszczególnych stacjach. Ponieważ na rozpatrywanych drogach występują dwa różne limity dopuszczalnego obciążenia osi 100 kN i 115 kN, które mają wpływ na udział pojazdów przeciążonych, zależność pomiędzy współczynnikiem równoważności obciążenia osi a udziałem pojazdów przeciążonych rozpatrywano przy założeniu jednakowego dopuszczalnego obciążenia osi 115 kN na wszystkich stacjach. Na rysunku 6 przedstawiono wynik regresji liniowej średniego współczynnika równoważności obciążenia pojazdu od udziału pojazdów przeciążonych. Etykiety punktów oznaczają numer drogi, na której znajduje się dana stacja.



Rys. 6. Zależność pomiędzy średnim współczynnikiem równoważności obciążenia pojazdu a udziałem

pojazdów przeciążonych w ruchu przy założeniu jednakowego dopuszczalnego obciążenia osi 115 kN na wszystkich stacjach

Z rysunku 6 można odczytać wyraźny trend wzrostu średniego współczynnika równoważności obciążenia pojazdów wraz ze wzrostem udziału pojazdów przeciążonych. Na podstawie równania regresji można przeanalizować następujący przykład. Rozważmy drogę, której trwałość nawierzchnia wynosi N_{100} osi standardowych 100 kN. Przyjmijmy, że w wyniku zwiększenia kontroli pojazdów na rozpatrywanej drodze udział pojazdów przeciążonych UP zmniejszy się z poziomu UP=15% do poziomu UP=5%. Spowoduje to zmniejszenie średniego współczynnika równoważności obciążenia pojazdów z $F_{(UP=15\%)}=0,72$ do $F_{(UP=5\%)}=0,54$ (por. rysunek 6). Dla wyznaczonych współczynników $F_{(UP=15\%)}$ i $F_{(UP=5\%)}$ oraz przy założeniu, że trwałość nawierzchni wynosi N_{100} , nawierzchnia będzie w stanie przenieść odpowiednio liczbę pojazdów $N_{(UP=15\%)}$, wśród których udział pojazdów przeciążonych będzie wynosić UP=15% lub $N_{(UP=5\%)}$ wśród których pojazdów przeciążonych będzie UP=5%. Prawdziwa jest równość:

$$N_{100} = N_{(UP=15\%)} F_{(UP=15\%)} = N_{(UP=5\%)} F_{(UP=5\%)} \quad (7)$$

Na podstawie równania 7 oraz równania regresji (rysunek 6) można stwierdzić, że spadek udziału pojazdów przeciążonych z 15% do 5% umożliwi przeprowadzenie przez drogę o 33% większej liczby pojazdów, co wpłynie na wydłużenie okresu eksploatacji nawierzchni o ok. 1/3.

Z rysunku 6 można odczytać, że niektóre punkty (np. DK22, A2, DK79) znacząco odbiegają od określonej linii trendu. Bardziej wnikliwe analizy wykazały, że na wielkość współczynników równoważności oprócz udziału pojazdów przeciążonych wpływają inne czynniki, takie jak: rozkłady obciążenia osi pojazdów obciążonych prawidłowo, struktura ruchu, czy dopuszczalne obciążenie osi (100 kN lub 115 kN). Poznanie problemu wpływu pojazdów przeciążonych na trwałość nawierzchni jest zatem wciąż tematem otwartym i wymaga prowadzenia dalszych badań.

5 PODSUMOWANIE

- 1) Na podstawie przeprowadzonych studiów literatury i analiz obliczeniowych można stwierdzić, że pojazdy przeciążone istotnie wpływają na trwałość konstrukcji nawierzchni, a zjawisko przeciążania pojazdów nasila się, gdy kontrola ruchu ciężkiego jest słaba.
- 2) Jednym z narzędzi pozwalającym zredukować liczbę pojazdów przeciążonych jest system preselekcyjnego ważenia pojazdów w ruchu (WIM). Ważenie pojazdów w ruchu umożliwia prowadzenie ciągłego pomiaru obciążenia pojazdów ciężkich.
- 3) W przedstawionej analizie wykorzystano pomiary z 11 stacji ważenia pojazdów w ruchu w Polsce, które zawierały dane z ważenia ponad 10 mln pojazdów ciężkich. Opisano metodykę weryfikacji i analizy danych.
- 4) Badania wykazały, że udział pojazdów przeciążonych na rozpatrywanych stacjach wynosi od 13% do 23%, średnio 18,5%. Oznacza to, że skala przeciążania pojazdów w Polsce jest duża. Należy podkreślić, że udział pojazdów przeciążonych na drogach, gdzie nie są prowadzone stałe kontrole może być jeszcze wyższy.
- 5) Stwierdzono, że pojazdy przeciążone wywołują od 35% do 70% całkowitej szkody zmęczeniowej nawierzchni. Średnio połowa całkowitej szkody zmęczeniowej nawierzchni jest wywołana ruchem pojazdów przeciążonych. Wskazuje to na konieczność przeciwdziałania zjawisku przeciążania pojazdów.
- 6) Na podstawie wyznaczonej zależności współczynnika równoważności obciążenia pojazdu od udziału pojazdów przeciążonych stwierdzono, że w wyniku zmniejszenia udziału pojazdów przeciążonych np. z poziomu 15% do poziomu 5% współczynnik równoważności obciążenia pojazdu zmniejszy się o 25%, a okres eksploatacji nawierzchni wydłuży się o ok 1/3.

BIBLIOGRAFIA

1. Burnos P.: Ważenie pojazdów samochodowych w ruchu. Część 2: Rodzaje i charakterystyka systemów Weigh In Motion. *Drogownictwo* 7-8/2014 s. 240-245, 2014.
2. Burnos P.: Ważenie pojazdów samochodowych w ruchu. Część 2: Czujniki nacisku stosowane w systemach Weigh In Motion. *Drogownictwo* 9/2014 s. 275-280, 2014.
3. Dyrektywa Rady 96/53/WE z dnia 25 lipca 1996 r. ustanawiająca dla niektórych pojazdów drogowych poruszających się na terytorium Wspólnoty maksymalne dopuszczalne wymiary w ruchu krajowym i międzynarodowym oraz maksymalne dopuszczalne obciążenia w ruchu międzynarodowym. *Dz.U. L 235 z 17.9.1996, str. 59*).
4. Jacob B., Labry D.: Evaluation of the effects of heavy vehicles on bridges fatigue. *Proceedings of the 7th International Symposium on Heavy Vehicles Weights and Dimensions, Delft, Holandia, 2002*.
5. Jessup E. L.: An economic analysis of trucker's incentive to overload as affected by the judicial system. *Research in Transportation Economic*, vol. 4, s. 131–159, 1996.
6. Judycki J.: Podstawy określania współczynników równoważności obciążenia osi. *Drogi i Mosty* 6/2006, 2006.
7. Judycki J.: Przepisy dotyczące dopuszczalnych wymiarów i ciężarów samochodów ciężarowych w Unii Europejskiej i w Polsce. *Drogownictwo* 6/2003, 2003.
8. Judycki J. i wsp.: Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. Politechnika Gdańska, Gdańsk, Wersja 11.03.2013, 2013.
9. Judycki J., Jaskuła P., Pszczoła M., Ryś D., Jaczewski M., Alenowicz J., Dołżycki B., Stienss M.: Analizy i projektowanie konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2014.
10. Mohammadi J., Shah N.: Statistical evaluation of truck overloads. *Journal of Transportation Engineering*, 118, 651-665. ASCE, 1992.
11. Mulyono A.T., Antameng M.: Analysis of loss cost of road pavement distress due to overloading freight transportation. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.8, 2010.
12. Pais J.C., Amorim S.I.R., Minhoto M.J.C.: Impact of traffic overload on road pavement performance. *Journal of transportation Engineering*, 139(9),873-879. ASCE, 2013.
13. Prochowski L., Żuchowski A.: Samochody ciężarowe i autobusy. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2011.
14. Quinley R.: WIM Data Analyst's Manual. Federalna Agencja Autostrad FHWA, USA, 2010.
15. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia.
16. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 lipca 2010 r. w sprawie wykazu dróg krajowych, po których mogą poruszać się pojazdy o dopuszczalnym nacisku pojedynczej osi napędowej do 11,5 t.
17. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 lipca 2010 r. w sprawie wykazu dróg krajowych oraz dróg wojewódzkich, po których mogą poruszać się pojazdy o dopuszczalnym nacisku pojedynczej osi do 10 t.
18. Ryś D.: Pojazdy przeciążone na polskich drogach. *Drogownictwo* 12/2012, 2012.
19. Ryś D., Judycki J., Jaskuła P.: Aktualizacja współczynników równoważności pojazdów ciężarowych i autobusów. *Drogownictwo* 7-8/2011 s. 245–249, 2011.
20. Sadeghi J. M., Fathli M.: Deterioration analysis of flexible pavements under overweight vehicles. *Journal of Transportation Engineering*, 133, s. 625-633. ASCE, 2007.
21. Stephens J., Carson J., Hult D.A., Bisom D.: Preservation of infrastructure by using weight-in-motion coordinated weight enforcement. *Transportation Research Record* 1855, 143-150. TRB, 2003.
22. Szydło A., Wardęga R.: Porównanie współczynników agresywności pojazdów w Polsce i Unii Europejskiej. *Drogownictwo* 5/2003, 2003.

23. Tailor B., Bergan A., Lindgren N., Berthelot C., The importance of commercial vehicle weight enforcement in safety and road asset management. Traffic Technology International, Annual Review, s. 234-237, 2000.
24. Turner D, Nicholson L A, Agent K.: Oversize/overweight commercial vehicle safety. Paper presented at the HVTT10 International Conference Heavy Vehicles, Paryż, 2008.
25. Ustawa o drogach publicznych z dnia 21 marca 1985 r. Dz.U. 1985 Nr 14 poz. 60 (z późniejszymi nowelizacjami).