

# Analiza rocznych zmian w ruchu ciężkim na podstawie danych ze stacji ważenia pojazdów (WIM) w Polsce



DAWID RYŚ

Politechnika Gdańska  
dawid.rys@wilis.pg.gda.pl



JÓZEF JUDYCKI

Politechnika Gdańska  
josef.judycki@wilis.pg.gda.pl



PIOTR JASKUŁA

Politechnika Gdańska  
piotr.jaskula@wilis.pg.gda.pl

Ruch drogowy, w tym ruch ciężki, ulega wahaniom w ciągu roku. Rozkład ruchu ciężkiego w roku jest jedną z ważnych charakterystyk opisujących ruch drogowy, która znajduje wiele praktycznych zastosowań. Między innymi rozkład ruchu ciężkiego w roku jest wykorzystywany do projektowania metodami mechanicznymi konstrukcji nawierzchni dróg nowych i remontowanych. Stosowany jest również w różnego rodzaju analizach ruchu drogowego, m.in. do obliczania średniorocznego ruchu dobowego. Potencjalnym zastosowaniem może być również zarządzanie transportem drogowym oraz zarządzanie infrastrukturą drogową, jak np. planowanie remontów drogowych lub planowanie prowadzenia kontroli pojazdów ciężarowych w celu zmniejszenia liczby pojazdów przeciążonych. Rozkład ruchu ciężkiego w roku może mieć również zastosowanie w analizach ekonomicznych, jako jeden ze wskaźników zmian aktywności gospodarczej w kraju.

Obecnie w Polsce do projektowania konstrukcji nawierzchni drogowych

stosowany jest następujący roczny rozkład ruchu ciężkiego:

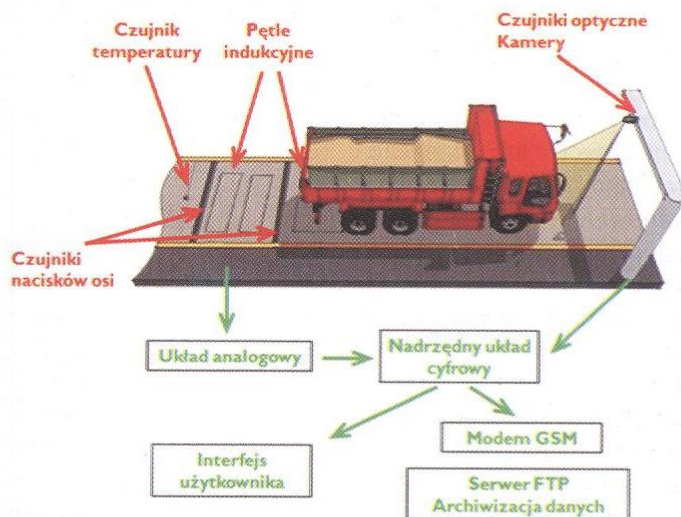
- 20% ruchu projektowego przypada na zimę,
- 50% ruchu projektowego przypada na wiosnę i jesień,
- 30% ruchu projektowego przypada na lato.

Rozkład ten wprowadzono w założeniach projektowych Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych z 1997 r. [3] i przeniesiono do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury [7]. Nie został jednak opublikowany sposób, według którego rozkład ten został określony. W Polsce roczny rozkład ruchu stosowany jest również do oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięć drogowych i mostowych. W instrukcjach [5] i [6] podano współczynniki prze-

liczeniowe średniego dobowego ruchu w danym miesiącu na średni dobowy ruch w roku. Współczynniki te określono tylko dla dróg powiatowych i gminnych i dotyczą one wszystkich pojazdów, czyli oprócz pojazdów ciężkich również samochodów osobowych i dostawczych.

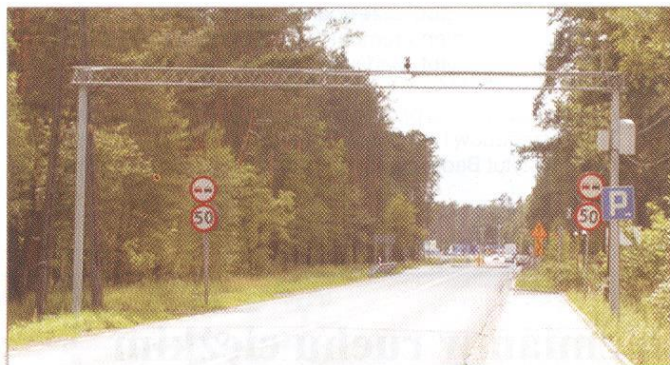
Do określenia rocznych rozkładów ruchu pojazdów ciężarowych potrzebne są dane z ciągłego pomiaru liczby pojazdów i obciążeń ich osi, trwającego minimum rok. Dane te można uzyskać ze stacji ważenia pojazdów w ruchu WIM (ang. *weighing in motion*). Obecnie na sieci dróg w Polsce instalowanych jest coraz więcej stacji ważenia w ruchu, a niektóre z nich działają już kilka lat.

Poglądowy schemat budowy i działania stacji ważenia pojazdów w ruchu przedstawiono na rys. 1. Na rozpatrywanych stacjach stosowano jako czujniki nacisków osi profile aluminiowe z kwarcowym czujnikiem nacisku lub kompozytową płytę zginaną z tensometrycznym czujnikiem odkształcenia (stacje na autostradzie A2 w m. Emilia i drodze krajowej nr 11 w m. Buczyna). Więcej informacji dotyczących budowy i działania stacji WIM znaleźć można m.in. w publikacjach [1, 2, 16]. Na fot. nr 1 przedstawiono jedną ze stacji (droga krajowa nr 46 w m. Grodzcu), z której uzyskano dane pomiarowe.



Rys. 1. Schemat poglądowy budowy i działania stacji WIM [19]





Fot. 1. Widok ogólny stacji ważenia pojazdów w ruchu na drodze krajowej nr 46 w m. Grodzcu

Dane ze stacji ważenia pojazdów w ruchu są wykorzystywane do wyznaczania rozkładów obciążenia osi pojazdów, co zostało opisane m.in. w publikacjach R. Wardęgi [18] oraz J. Judyckiego i wsp. [9]. Rozkłady obciążenia osi wykorzystano również do określenia współczynników przeliczeniowych pojazdów ciężkich na równoważne osie standardowe w ramach prac nad aktualizacją polskiego Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych z 2013 r., zleconych Politechnice Gdańskiej przez GDDKiA [8, 9, 14]. Zastosowanie danych z ważenia pojazdów w ruchu umożliwia bardziej precyzyjne określenie rzeczywistego oddziaływania pojazdów na nawierzchnie oraz bardziej dokładne projektowanie konstrukcji nawierzchni drogowych [9, 14, 16].

Celem przedstawionych w niniejszym artykule analiz jest określenie zmian w rocznym ruchu pojazdów ciężkich w warunkach polskich na podstawie danych z ciągłego ważenia pojazdów w ruchu.

## Dane pomiarowe

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, oraz na odrzuceniu danych niekompletnych lub oznaczonych jako błędne przez oprogramowanie stacji WIM. W analizach przyjęto że podstawą do rozpoznania błędnych danych pomiarowych będą: przewodnik Federalnej Agencji Autostrad FHWA (USA) [11] oraz studia parametrów technicznych pojazdów poruszających się po polskich drogach, przeprowadzone na podstawie literatury [10] i przepisów dotyczą-

Tabela 1. Przyjęte przedziały prawidłowych wartości pomiarów pojazdów ciężkich na stacjach WIM

Wielkość mierzona	Wartość minimalna	Wartość maksymalna
Nacisk osi	5 kN	200 kN
Masa całkowita	3,5 t	–
Długość pojazdu	3 m	20 m
Odległość między osiami	0,5 m	20 m
Prędkość	5 km/h	180 km/h

cych wymagań wymiarów i obciążenia pojazdów drogowych [3, 12]. Uwzględniono również specyfikacje techniczne czujników nacisków osi i systemów ważenia, podane przez producentów systemów WIM. Zestawienie przedziałów prawidłowych wartości wielkości zawartych w danych ze stacji WIM podano w tabeli 1.

W przeprowadzonych badaniach uwzględniono jedynie pojazdy ciężkie. Zgodnie z nową terminologią wprowadzoną w katalogach typowych konstrukcji [8, 17] pojazdy ciężkie to takie pojazdy, których masa całkowita przekracza 3,5 tony i zalicza się do nich samochody ciężarowe, samochody ciężarowe z przyczepą lub z naczepą oraz autobusy. Po zweryfikowaniu analizowane dane zawierają pomiary 10 mln pojazdów ciężkich na 10 stacjach WIM, na których okres pomiaru był nie krótszy niż pełen rok. Dokładne informacje dotyczące wykazu stacji pomiarowych i liczby pojazdów zważonych na poszczególnych stacjach zamieszczono w tabeli 2. Informacje zawarte w tabeli 2 wskazują, że dostęp do danych może być okresowo ograniczony. Na przykład na stacjach – droga

Tabela 2. Wykaz stacji pomiarowych, okresu pomiaru i liczby pojazdów uwzględnionych w analizie

Droga krajowa nr/ stacja ważenia	Kierunek	Liczba pojazdów ciężkich (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
DK 4 Wola Dębińska*	Tarnów	1 256 080	687	I 2012 – XII 2013
	Kraków	1 948 661	984	I 2011 – XII 2013
DK 7 Antolka / Miechów	Kraków	458 663	542	I 2012 – XII 2013
	Kielce	614 297	714	I 2012 – XII 2013
DK 11 Byczyna / Gołkowice*	Opole	554 536	711	I 2010 – XII 2011
DK 22 Nieżywiec	Chojnice	314 207	354	I 2013 – XII 2013
	Człuchów	317 831	355	I 2013 – XII 2013
DK 46 Grodziec	Częstochowa	529 051	692	I 2011 – XII 2012
	Opole	517 551	711	I 2011 – XII 2012
DK 75 Tęgoborze / Kurów	Brzesko	391 773	526	I 2012 – XII 2013
	Nowy Sącz	505 205	642	I 2012 – XII 2013
DK 79 Rudawa	Kraków	254 237	352	I 2013 – XII 2013
DK 94 Sucha	Opole	222 719	322	I 2013 – XII 2013
	Katowice	243 587	359	I 2013 – XII 2013
Suma		9 965 430	8 878	

\* – ograniczony dostęp do danych na jednym z kierunków ruchu



krajowa nr 11 w m. Byczyna i droga ekspresowa nr S7 w m. Przejazdowo w rozpatrywanym czasie dostępne były dane z tylko jednego kierunku ruchu.

Stacje ważenia w ruchu mogą być czasowo wyłączane ze względu na konieczność konserwacji i okresowej kalibracji, zdarzają się również awarie. W obliczeniach uwzględniono wyłącznie miarodajne dni pomiarowe, z ciągłym 24-godzinnym pomiarem. Do analiz wybrano tylko te stacje, dla których w każdym miesiącu danego roku dostępny był ciągły pomiar trwający minimum 7 kolejnych, miarodajnych dni. W tabeli 2 dla każdej ze stacji podano liczbę miarodajnych dni w rozpatrywanym całym okresie pomiaru.

## Zmiany średniego dobowego ruchu pojazdów ciężkich w kolejnych miesiącach roku

Średni dobowy ruch pojazdów ciężkich ( $SDR$ ) w danym miesiącu można obliczyć stosując następujący wzór:

$$SDR_i = \frac{N_i}{n_i} \quad (1)$$

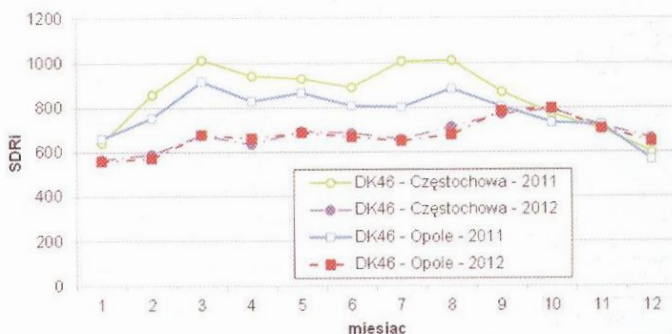
w którym :

$SDR_i$  – średni dobowy ruch pojazdów ciężkich w danym miesiącu  $i$  w danym kierunku ruchu lub w obu kierunkach ruchu [pojazdów/dobę],

$N_i$  – suma liczby pojazdów ciężkich zważonych we wszystkich dniach miarodajnych w danym miesiącu i w danym kierunku ruchu lub w obu kierunkach ruchu,

$n_i$  – łączna liczba dni miarodajnych objętych pomiarem w danym miesiącu i dla danego kierunku ruchu lub suma dni miarodajnych z obu kierunków ruchu.

Na rysunku 2 pokazano przykładowy wykres średniego dobowego ruchu pojazdów ciężkich zarejestrowany na stacji pomiarowej (droga krajowa nr 46 w m. Grodziec) z rozróżnieniem kierunków jazdy i lat. Średni dobowy ruch pojazdów ciężkich  $SDR$  na wszystkich stacjach ulega wahaniom. Można zauważyć tendencję do spadku ruchu w miesiącach zimowych i jego wzrostu w pozostałych okresach roku. Na każdej ze stacji, zmiany ruchu pojazdów w kolejnych miesiącach roku mogą mieć nieco inny przebieg, co wynika z lokalnych uwarunkowań i charakterystyki ruchu ciężkiego. Na autostradzie A2 zaobserwowano stale rosnącą w kolejnych miesiącach liczbę pojazdów, jednak zjawisko to może być uwarunkowane innymi czynnikami niż sezonowe wahania ruchu.



Rys. 2. Przykładowy wykres średniego dobowego ruchu pojazdów ciężkich w kolejnych miesiącach roku w latach 2011–2012 zarejestrowany na stacji w m. Grodziec (droga krajowa nr 46)

Z rysunku 2, przedstawiającego zmiany średniego dobowego ruchu w kolejnych miesiącach 2011 i 2012 roku, wynika jeszcze dodatkowe spostrzeżenia. Na drodze krajowej nr 46 średni dobowy ruch pojazdów w roku 2011 był wyższy niż w kolejnym roku 2012. Oznacza to, że ruch ciężki może w kolejnych latach eksploatacji drogi ulegać wahaniom i niekoniecznie jest stale rosnący. Inną obserwacją wartą poświęcenia uwagi jest podział ruchu na kierunki. Przykładowo na stacji w m. Grodziec (droga krajowa nr 46) w miesiącach od lutego do października 2011 roku zaobserwowano większą nierównomierność średniego dobowego ruchu na poszczególnych kierunkach (55% pojazdów na kierunku w stronę Opola), podczas gdy w 2012 roku ruch ciężki rozkładał się równomiernie w obu kierunkach. Przyczyny nierównomiernego rozkładu ruchu na poszczególne kierunki mogą być różne i trudno jest je zidentyfikować wyłącznie na podstawie danych z ważenia pojazdów w ruchu. Podczas projektowania drogi i konstrukcji jej nawierzchni warto mieć świadomość, że przyjmując równomierny rozkład kierunkowy ruchu można popełniać pewien błąd.

## Miesięczne współczynniki korygujące dla średniego dobowego ruchu pojazdów ciężkich

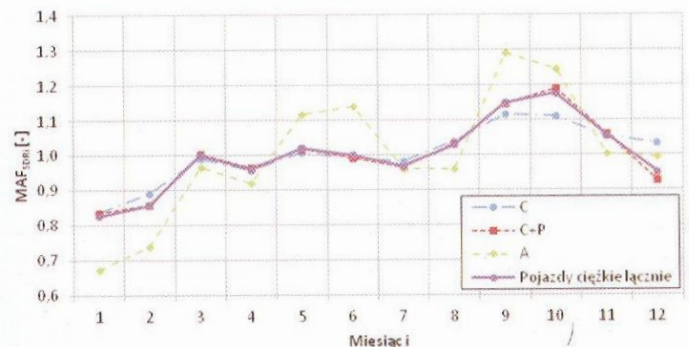
Miarą opisującą rozkład ruchu ciężkiego w poszczególnych miesiącach w roku może być udział procentowy sumarycznej liczby pojazdów ciężkich w każdym miesiącu. Alternatywną miarą są miesięczne współczynniki korygujące  $MAF$  (ang. *monthly adjustment factors*) wprowadzone w metodzie MEPDG 2004 [4]. Miesięczne współczynniki korygujące zaadoptowane do warunków polskich można obliczać na podstawie średniego dobowego ruchu pojazdów ciężkich  $SDR$  w kolejnych miesiącach zgodnie ze wzorem:

$$MAF_{SDR_i} = \frac{SDR_i}{\sum_{i=1}^{12} SDR_i} \cdot 12 \quad (2)$$

w którym:

$MAF_{SDR_i}$  – miesięczny współczynnik korygujący średni dobowy ruch pojazdów ciężkich [-],

$SDR_i$  – średni dobowy ruch pojazdów ciężkich w miesiącu  $i$  [pojazdów/dobę].



Rys. 3. Miesięczne współczynniki korygujące  $MAF_{SDR_i}$  na stacji – droga krajowa nr 46 w poszczególnych kategoriach pojazdów w obu kierunkach ruchu w roku 2012



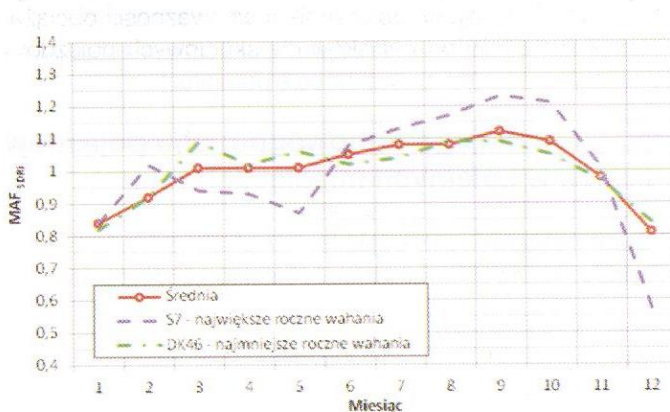
Suma współczynników  $MAF_{SDRi}$  z wszystkich kolejnych miesięcy jest równa 12. W metodzie MEPDG  $MAF$  określany jest dla poszczególnych klas pojazdów. Oryginalnie  $MAF$  wyznaczany jest dla całego przekroju drogi, natomiast rozkład ruchu na poszczególne pasy uwzględnia się współczynnikiem  $DDF$  (ang. *directional distribution factor*). Przykład współczynników  $MAF_{SDRi}$  określonych w trzech polskich kategoriach pojazdów przedstawiono na rysunku 3 ze stacji zlokalizowanej na drodze krajowej nr 46 w m. Grodziec w obu kierunkach ruchu w roku 2012. Z rysunku 3 wynika, że zmiany ruchu pojazdów kategorii C i C+P są bardzo podobne, największe wahania sezonowe zaobserwowano w kategorii autobusów, ale ich udział w ruchu ciężkim jest niewielki (ok. 5%). Na pozostałych stacjach spostrzeżenia co do współczynników  $MAF_{SDRi}$  obliczonych w poszczególnych kategoriach pojazdów były podobne, dlatego zdecydowano się przedstawić uproszczoną analizę przeprowadzoną dla wszystkich pojazdów ciężkich łącznie, bez rozróżniania poszczególnych kategorii pojazdów.

Jako wartość domyślną  $MAF$  w metodzie MEPDG stosuje się w każdym miesiącu i w każdej klasie pojazdu wartość 1, co oznacza przyjęcie równomiernego ruchu w całym roku. W tabeli 3 przedstawiono wyniki obliczeń współczynników korygujących  $MAF_{SDRi}$  na analizowanych stacjach pomiarowych. W pierwszym kroku współczynniki obliczono dla każdej stacji osobno z rozróżnieniem kierunków i lat pomiaru. Następnie obliczono średnie arytmetyczne otrzymanych współczynników dla poszczególnych stacji  $WIM$ , które zestawiono w tabeli 3. Na podstawie tabeli 3 można stwierdzić, że przebieg zmian współczynników  $MAF_{SDRi}$  w kolejnych miesiącach jest dość podobny na wszystkich stacjach. Generalnie współczynniki  $MAF_{SDRi}$  w miesiącach zimowych są niższe niż w miesiącach letnich. W tabeli 3 podano również średnie arytmetyczne współczynników  $MAF_{SDRi}$  dla wszystkich stacji. Należy zaznaczyć, że podana średnia dotyczy wybranych 10 stacji pomiarowych i dość krótkiego czasu pomiaru, który wnosi od roku do trzech lat. Niemniej jednak obecnie nie jest dostępna większa ilość danych, dzięki którym możliwe byłoby bardziej dokładne obliczenie średnich zmian ruchu ciężkiego na drogach w Polsce.

Tabela 3. Miesięczne współczynniki korygujące  $MAF_{SDRi}$  na poszczególnych stacjach

Miesiąc	Stacja WIM zlokalizowana na drodze krajowej nr										Średnia
	46	4	7	75	79	94	22	11	A2	S7	
1	0,82	0,85	0,83	0,87	0,87	0,88	0,89	0,77	0,78	0,84	0,84
2	0,92	0,89	0,86	0,81	0,95	0,91	0,96	0,92	0,90	1,02	0,92
3	1,09	1,05	0,98	0,97	1,07	1,05	1,00	1,06	0,93	0,94	1,01
4	1,02	1,00	0,96	1,07	1,02	1,08	1,03	0,99	0,92	0,93	1,01
5	1,06	1,04	1,08	1,09	1,05	1,02	0,97	0,96	0,90	0,87	1,01
6	1,02	1,10	1,11	1,06	0,98	1,09	1,09	1,01	0,93	1,08	1,05
7	1,04	1,02	1,11	1,11	1,12	1,09	1,06	1,07	0,95	1,13	1,08
8	1,09	1,04	1,10	1,07	1,11	0,98	1,05	1,07	1,00	1,17	1,08
9	1,09	1,11	1,11	1,07	1,09	1,04	1,10	1,23	1,08	1,23	1,12
10	1,05	1,07	1,10	1,09	1,12	1,12	1,07	0,98	1,18	1,21	1,09
11	0,97	1,03	0,98	0,99	0,88	0,96	0,97	1,05	1,18	1,01	0,98
12	0,84	0,80	0,78	0,79	0,73	0,77	0,80	0,89	1,26	0,57	0,81

Wykres zmian średniego współczynnika  $MAF_{SDRi}$  przedstawiono na rysunku 4, na którym zaznaczono również współczynniki  $MAF_{SDRi}$  ze stacji, na których stwierdzono największe i najmniejsze wahania miesięcznego średniego dobowego ruchu  $SDR_i$ . Ustalono, że stacja z najmniejszymi rocznymi wahaniami ruchu będzie mieć najmniejszą różnicę maksymalnego i minimalnego współczynnika  $MAF$  i analogicznie różnica ta będzie największa dla stacji z największymi rocznymi wahaniami.



Rys. 4. Wykres miesięcznych współczynników korygujących  $MAF_{SDRi}$  średni oraz dla stacji z największymi (droga krajowa S7) i najmniejszymi (droga krajowa nr 46) wahaniami średniego dobowego ruchu

### Miesięczne współczynniki korygujące dla średniej dobowej liczby równoważnych osi standardowych L

Podczas przeprowadzania analizy danych okazało się, że oprócz liczby pojazdów rocznym zmianom ulega również obciążenie nawierzchni drogi pojazdami. Obciążenie pojazdów można wyrazić poprzez rozkłady obciążenia osi pojazdów, rozkłady masy całkowitej pojazdów lub poprzez liczbę równoważnych osi standardowych. Zdecydowano, że zmiany obciążenia najlepiej jest wyrażać poprzez zmiany liczby równoważnych osi standardowych, ponieważ miara ta wyraża oddziaływanie pojazdów na nawierzchnię.

Ponadto analiza zmian rozkładów obciążenia osi lub rozkładów masy całkowitej jest dużo bardziej skomplikowana i należałoby rozpatrywać osobno rodzaje osi i typy pojazdów. Liczbę równoważnych osi standardowych można podać dla całego potoku ruchu ciężkiego, dzięki czemu obciążenie nawierzchni jest wyrażone poprzez jeden parametr. Średnią dobową liczbę równoważnych osi standardowych przypadającą na dany miesiąc obliczono zgodnie ze wzorem:

$$L_i = F_i \cdot SDR_i \quad (3)$$

w którym:

$L_i$  – średnia dobowa liczba równoważnych osi standardowych w danym miesiącu  $i$  [osi 100 kN/pojazd/dobę],



$F_i$  – średni współczynnik równoważności obciążenia pojazdów ciężkich w danym miesiącu  $i$  [osi 100 kN/pojazd],

$SDR_i$  – średni dobowy ruch pojazdów ciężkich w miesiącu  $i$  [pojazdów/dobę].

Do obliczenia współczynników równoważności obciążenia pojazdów ciężkich  $F_i$  zastosowano wzór 4-tej potęgi. Wzór 4-tej potęgi i metodę obliczania średnich współczynników równoważności obciążenia pojazdu  $F_i$  szerzej opisano w publikacjach [7, 9, 14]. Współczynnik równoważności obciążenia pojazdu zależy od nacisków osi składowych pojazdów. Jeżeli naciski osi pojazdów będą w danym okresie rosły bądź maleć, to w konsekwencji również średni współczynnik równoważności obciążenia pojazdów będzie w tym okresie odpowiednio rósł lub maleł.

W sposób analogiczny, jak w przypadku średniego dobowego ruchu, określono miesięczne współczynniki korygujące dla średniej dobowej liczby równoważnych osi standardowych  $MAF_{Li}$ . Współczynniki  $MAF_{Li}$  obliczono zgodnie ze wzorem:

$$MAF_{Li} = \frac{L_i}{\sum_{i=1}^{12} L_i} \cdot 12 \quad (4)$$

w którym:

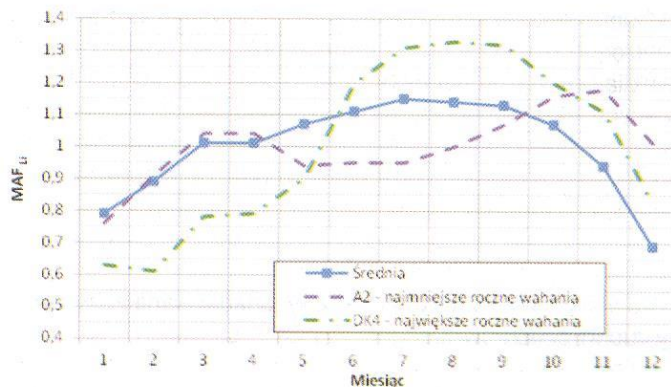
$MAF_{Li}$  – miesięczny współczynnik korygujący średnią dobową liczbę równoważnych osi standardowych,

$L_i$  – średnia dobowa liczba równoważnych osi standardowych w danym miesiącu  $i$ .

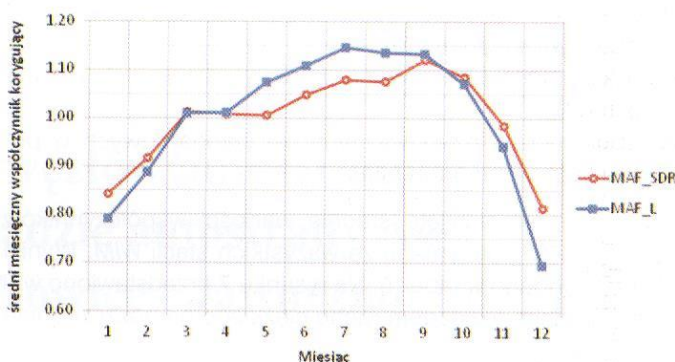
W tabeli 4 przedstawiono wyniki obliczeń współczynników  $MAF_{Li}$  przeprowadzonych dla poszczególnych stacji, oraz przedstawiono obliczoną średnią arytmetyczną współczynników  $MAF_{Li}$  dla wszystkich stacji. Wykres zmian średniego współczynnika  $MAF_{Li}$  przedstawiono na rysunku 5, na którym zaznaczono również współczynniki  $MAF_{Li}$  dla stacji z stwierdzonymi największymi i najmniejszymi wahaniami miesięcznej średniej dobowej liczby równoważnych osi standardowych  $L_i$ . Warto zwrócić uwagę, że na poszczególnych stacjach zmiany średniego dobowego ruchu pojazdów ciężkich  $SDR_i$  (tabela 3 i rysunek 4) nie są takie same, jak zmiany średniej dobowej liczby równoważnych osi standardowych  $L_i$  (tabela 4 i rysunek 5).

Tabela 4. Miesięczne współczynniki korygujące  $MAF_{Li}$  na poszczególnych stacjach

Miesiąc	Stacja WIM zlokalizowane na drogach krajowych										Średnia
	46	4	7	75	79	94	22	11	A2	S7	
1	0,78	0,63	0,79	0,76	0,80	0,78	1,02	0,52	0,76	0,95	0,79
2	0,91	0,61	0,79	0,71	0,93	0,87	1,13	0,67	0,91	1,18	0,89
3	1,07	0,78	0,98	0,94	1,09	1,00	1,06	1,01	1,04	1,01	1,01
4	1,02	0,79	1,01	1,10	0,98	1,11	0,98	1,06	1,04	0,81	1,01
5	1,12	0,90	1,18	1,35	1,15	1,07	0,99	1,02	0,94	0,82	1,07
6	1,11	1,20	1,18	1,13	0,94	1,18	1,25	1,07	0,95	1,04	1,11
7	1,11	1,31	1,19	1,20	1,17	1,13	1,13	1,13	0,95	1,16	1,15
8	1,23	1,33	1,19	1,16	1,26	0,98	0,94	1,17	1,00	1,16	1,14
9	1,10	1,32	1,08	1,03	1,14	1,05	0,98	1,37	1,07	1,24	1,13
10	0,91	1,20	1,06	1,04	1,15	1,11	0,97	1,11	1,16	1,24	1,07
11	0,89	1,11	0,89	0,91	0,81	1,01	0,86	1,12	1,18	0,91	0,94
12	0,76	0,82	0,67	0,66	0,58	0,72	0,69	0,76	1,01	0,46	0,69



Rys. 5. Wykres miesięcznych współczynników korygujących  $MAF_{Li}$  średni oraz dla stacji z największymi (droga krajowa nr 4) i najmniejszymi (droga krajowa A2) rocznymi wahaniami średniej dobowej liczby równoważnych osi standardowych  $L_i$



Rys. 6. Porównanie średnich miesięcznych współczynników korygujących  $MAF_{SDRi}$  – wyznaczonych dla średniego dobowego ruchu i  $MAF_{Li}$  – wyznaczonych dla średniej dobowej liczby równoważnych osi standardowych

Porównanie średnich współczynników  $MAF_{SDRi}$  i  $MAF_{Li}$  zilustrowano na rysunku 6. Wynika z niego, że w okresie zimowym mniejszy jest  $SDR$  i mniejsze jest obciążenie nawierzchni, które wyraża się poprzez liczbę równoważnych osi standardowych  $L$ . W okresie od maja do sierpnia współczynniki średnie  $MAF_{Li}$  są wyższe niż średnie współczynniki  $MAF_{SDRi}$ . Oznacza to, że w tym okresie wzrósł średni współczynnik równoważności obciążenia pojazdów  $F_p$ , co jest wynikiem wzrostu obciążeń osi pojazdów w tym okresie. Podobnie w okresie od listopada do lutego stwierdza się spadek obciążeń osi pojazdów.

Współczynniki korygujące  $MAF$  mają praktyczne zastosowania. Podane w tabeli 3 średnie współczynniki  $MAF_{SDRi}$  można zastosować do przeliczania wyników pomiarów  $SDR$  otrzymanych dla jednego miesiąca do wartości uśrednionych dla całego roku. Średnie współczynniki  $MAF_{Li}$  (tabela 4) mogą być stosowane, gdy znany jest średni roczny ruch pojazdów, a obliczenia konstrukcji nawierzchni mają



być prowadzone z uwzględnieniem miesięcznych bądź sezonowych zmian ruchu. W ramach prac nad nowym Katalogiem typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych z 2013 roku [8], roczny rozkład ruchu ciężkiego został wykorzystany do określenia współczynników przeliczeniowych pojazdów ciężkich oraz do określenia temperatury ekwiwalentnej [9].

## Rozkład ruchu ciężkiego w poszczególnych porach roku

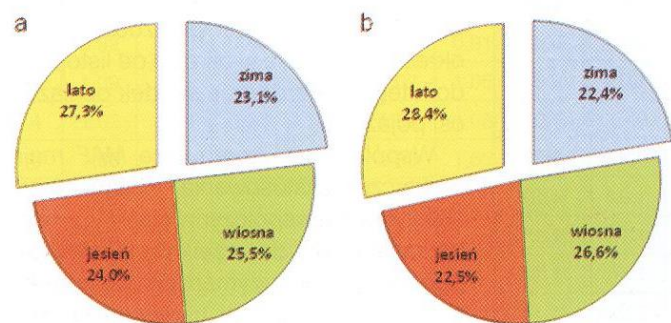
Wyniki przeprowadzonych obliczeń porównano z rozkładem ruchu ciężkiego w poszczególnych porach roku podanym w Katalogu z 1997 r. [15]. Aby obliczyć rozkład ruchu w poszczególnych porach roku należy zsumować miesięczne współczynniki korygujące z odpowiednich miesięcy przypadających na daną porę roku i podzielić przez liczbę miesięcy w roku. Obliczenia sezonowego rozkładu ruchu wykonano w dwóch wariantach:

- rozkład liczby pojazdów ciężkich w poszczególnych porach roku,
- rozkład liczby równoważnych osi standardowych w poszczególnych porach roku.

Do obliczeń przyjęto średnie wartości współczynników  $MAF_{SDR}$  i  $MAF_{Lr}$  otrzymane ze wszystkich stacji WIM. Wyniki obliczeń podano w tabeli 5. Na rysunku 7 przedstawiono wykres z średnim rozkładem ruchu ciężkiego na poszczególne pory roku.

Tabela 5. Rozkład liczby pojazdów ciężkich i liczby równoważnych osi standardowych w poszczególnych porach roku

Okres	Miesiące	Średni rozkład liczby pojazdów ciężkich na podstawie WIM	Średni rozkład liczby równoważnych osi standardowych na podstawie WIM	Katalog 1997 r.
Zima	I, II, III	23,1%	22,4%	20%
Wiosna	IV, V, VI	25,5%	26,6%	50%
Jesień	X, XI, XII	24,0%	22,5%	
Lato	VII, VIII, IX	27,3%	28,4%	30%
		Razem: 49,6%	Razem: 49,2%	



Rys. 7. Rozkład ruchu ciężkiego na poszczególne pory roku na podstawie danych ze stacji WIM a) średni rozkład liczby pojazdów ciężkich b) średni rozkład liczby równoważnych osi standardowych

Przyjęty w Katalogu z 1997 r, rozkład ruchu w przybliżeniu pokrywa się z wynikami pomiarów ze stacji WIM. Na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 5 i na rysunku 6 można stwierdzić, że średnio największe obciążenie drogi przypada na miesiące od maja do października, najmniejsze w grudniu i w styczniu.

## Wnioski

1. Dane ze stacji ważenia pojazdów w ruchu WIM dostarczają wystarczających informacji do przeprowadzenia analizy zmian ruchu pojazdów ciężkich w ciągu roku, o ile dane te obejmują okres co najmniej jednego, pełnego roku.

2. W przedstawionych analizach wykorzystano dane z 10 polskich stacji ważenia pojazdów w ruchu, obejmujące okres od roku do trzech lat. Dane obejmowały ważenie blisko 10 mln pojazdów ciężkich.

3. Jako wynik przeprowadzonej analizy danych ze stacji ważenia pojazdów w ruchu podano miesięczne współczynniki korygujące  $MAF_{SDR}$ , określające zmiany średniego dobowego ruchu pojazdów ciężkich na poszczególnych stacjach oraz współczynniki korygujące  $MAF_{Lr}$ , określające zmiany obciążenia nawierzchni.

4. Stwierdzono, że średni dobowy ruch pojazdów ciężkich SDR i średnia dobowa liczba równoważnych osi standardowych  $L_r$ , która jest miarą obciążenia konstrukcji nawierzchni przez pojazdy ciężkie, są wyraźnie niższe w miesiącach zimowych i wyższe latem.

5. Rozkład ruchu w poszczególnych porach roku, przyjęty w katalogu z 1997 r., w przybliżeniu pokrywa się z rozkładami liczby pojazdów ciężkich i liczby równoważnych osi standardowych, otrzymanymi z dziesięciu stacji ważenia pojazdów w ruchu.

6. Do dokładnego wyznaczenia zmian obciążenia drogi ruchem ciężkim w ciągu roku najlepiej jest dysponować danymi z ciągłego ważenia pojazdów w ruchu. W przypadku braku takich danych lub gdy dane te są niepełne, można wykorzystać przedstawione w niniejszym artykule średnie współczynniki  $MAF_{SDR}$  i  $MAF_{Lr}$ .

7. Wyniki przedstawionej analizy mają praktyczne zastosowanie, m. in. do: projektowania i analiz konstrukcji nawierzchni, analiz ruchu i obliczania ruchu średniorocznego na podstawie ruchu miesięcznego, oraz do zarządzania transportem drogowym i infrastrukturą drogową.

## Bibliografia

- [1] P. Burnos, *Ważenie pojazdów samochodowych w ruchu. Część 2: Podział i charakterystyka systemów Weight in Motion (WIM)*, Drogownictwo 7-8/2014, s. 240-245, 2014
- [2] P. Burnos, *Ważenie pojazdów samochodowych w ruchu. Część 3: Czujniki nacisku stosowane w systemach Weight in Motion (WIM)*, 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, s. 59
- [4] *Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavements structures, Part 2 Design inputs, Chapter 4 Traffic*. NCHRP, AASHTO, Illinois, USA, 2004.



- [5] *Instrukcja oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięć drogowych i mostowych dla dróg powiatowych*. IBDiM, Warszawa, 2008. Dostępny w Internecie: [www.mir.gov.pl/aktualnosci/fundusze\\_europejskie/documents/8b33e0e1378449118b73308fe8f-f78d5instrukcjapow.pdf](http://www.mir.gov.pl/aktualnosci/fundusze_europejskie/documents/8b33e0e1378449118b73308fe8f-f78d5instrukcjapow.pdf)
- [6] *Instrukcja oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięć drogowych i mostowych dla dróg powiatowych*. IBDiM, Warszawa, 2008. Dostępny w Internecie: [www.dolnyslask.pl/upload/RPO/03\\_dokumenty\\_i\\_wytyczne/dokumenty\\_IZ\\_RPO\\_WD/ocena\\_efektywnosci\\_ekonomicznej\\_drogi\\_gminne.pdf](http://www.dolnyslask.pl/upload/RPO/03_dokumenty_i_wytyczne/dokumenty_IZ_RPO_WD/ocena_efektywnosci_ekonomicznej_drogi_gminne.pdf)
- [7] J. Judycki, *Podstawy określania współczynników równoważności obciążenia osi*, *Drogi i Mosty* 6/2006, s. 55-93, 2006
- [8] J. Judycki i wsp., *Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych*, Politechnika Gdańska, GDDKiA, Gdańsk 2013. Dostępny w Internecie: [https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/z/zarządzenia-generalnego-dyrektor\\_13901/zarządzenie%2031%20załącznik.pdf](https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/z/zarządzenia-generalnego-dyrektor_13901/zarządzenie%2031%20załącznik.pdf)
- [9] J. Judycki, P. Jaskuła, M. Pszczoła, D. Ryś, M. Jaczewski, J. Alenowicz, B. Dotzycki, M. Stienss, *Analizy i projektowanie konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2014
- [10] L. Prochowski, A. Żuchowski, *Samochody ciężarowe i autobusy*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2011
- [11] R. Quinley, *WIM Data Analyst's Manual*, Federalna Agencja Autostrad FHWA, USA, 2010
- [12] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia*. Dz.U. 2003 nr 32 poz. 262
- [13] *Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie*. Dz. U. 43, poz. 430
- [14] D. Ryś, J. Judycki, P. Jaskuła, *Aktualizacja współczynników przeliczeniowych*, *Drogownictwo* 7-8/2011, s. 245-249, 2011
- [15] D. Sybilski i wsp., *Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych*, GDDP, IBDiM, Warszawa 1997
- [16] A. Szydło, R. Wardęga, P. Mackiewicz, K.J. Kowalski, *Wykorzystanie wag HS-WIM na polskich drogach*, *Drogownictwo* 4/2007, s. 117-121, 2007
- [17] A. Szydło, P. Mackiewicz, R. Wardęga, B. Krawczyk, *Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych*, Politechnika Wrocławska, GDDKiA, Wrocław 2014. Dostępny w Internecie: [www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/z/zarządzenia-generalnego-dyrektor\\_13901/zarządzenie%2030%20załącznik.pdf](http://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/z/zarządzenia-generalnego-dyrektor_13901/zarządzenie%2030%20załącznik.pdf)
- [18] R. Wardęga, *Analiza nacisków osi pojazdów ciężarowych na nawierzchnie drogowe*, *Drogownictwo* 11/2010, s. 400-408, 2010
- [19] [www.judico.co.kr/en/pro/pro02.html](http://www.judico.co.kr/en/pro/pro02.html)