

DAWID RYS

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

## Porównanie metod wyznaczania ruchu obliczeniowego do projektowania nawierzchni drogowych w wybranych krajach europejskich

Artykuł opracowano wykorzystując wyniki prac nad weryfikacją Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych z 1997 r. [1]. Celem artykułu jest przybliżenie Czytelnikom metod analizy ruchu drogowego do projektowania nawierzchni podatnych i półsztywnych, stosowanych w wybranych krajach europejskich, a także porównanie współczynników przeliczeniowych ruchu ciężkiego. W artykule opisano i porównano ze sobą metody: niemiecką, austriacką, brytyjską, francuską i polską.

Ruch obliczeniowy jest ważnym parametrem służącym do ustalania wymagań materiałów drogowych oraz stanowiącym kryterium doboru grubości konstrukcji nawierzchni drogowych. We wszystkich opisanych metodach ruch obliczeniowy przedstawiony jest w postaci liczby osi standardowych. Sposób obliczania ruchu jest podobny w każdej z metod i polega na przemnożeniu liczby pojazdów przez odpowiedni współczynnik charakteryzujący oddziaływanie pojazdu na nawierzchnię drogową (w polskim katalogu nazywany współczynnikiem przeliczeniowym). W niektórych metodach uwzględnia się również inne czynniki mogące mieć wpływ na trwałość konstrukcji, jak np. szerokość pasa ruchu. Każdą z metod porównano z polskim katalogiem typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. Ponieważ osie standardowe mogą mieć różne obciążenie, w zależności od kraju – 80, 100 lub 130 kN, współczynniki oddziaływania pojazdów na nawierzchnię zostały przeliczone przez autora, aby uzyskać wartość wyrażoną w osiach 100 kN.

Wszystkie z wymienionych krajów są członkami Wspólnoty Europejskiej, w związku z tym po ich drogach poruszają się podobne typy pojazdów. Zgodnie z dyrektywą UE 96/53/WE obciążenie maksymalne pojedynczej osi napędowej pojazdu poruszającego się w ruchu międzynarodowym wynosi 115 kN. Ograniczenia nacisków osi pojazdów mogą się jednak różnić w ruchu krajowym, np. we Francji obciążenie maksymalne osi wynosi 130 kN, a w Polsce zależy od drogi i wynosi 80, 100 i 115 kN. Porównując ze sobą współczynniki oddziaływania pojazdów na nawierzchnię należy zatem pamiętać, że średnie naciski osi pojazdów ciężarowych mogą różnić się w poszczególnych krajach.

### Katalog niemiecki

W katalogu niemieckim *RSTO 01* [3] przy projektowaniu uwzględnia się pojazdy ciężarowe o masie powyżej 3,5 tony. Podobnie jak w katalogu polskim, trwałość zmęczeniową nawierzchni określa się jako sumę przejazdów osi równoważnych o ciężarze 100 kN (oznaczona jako  $B$  od *Beanspruchung* – obciążenie), w przewidywanym okresie eksploatacji.

Z uwagi na wartość  $B$  ruch klasyfikuje się według 7 kategorii ( $VI$  – ruch najbliższy, do  $SV$  – ruch najcięższy), do których to dobiera się odpowiednią konstrukcję nawierzchni. W katalogu podano dwie metody obliczania obciążenia  $B$ :

- metoda 1 – obciążenie  $B$  wyznaczone jest na podstawie średnio-dobowego natężenia ruchu ciężkiego,
- metoda 2 – obciążenie  $B$  wyznacza się na podstawie danych o obciążeniu osi pojazdów, do zastosowania tej metody należy dysponować danymi z ważenia pojazdów.

Dodatkowo do każdej z metod ruch całkowity można wyznaczyć na dwa sposoby, w zależności od przewidywanego wzrostu ruchu: przy zmiennych w kolejnych latach współczynnikach wzrostu ruchu lub przy stałych współczynnikach wzrostu ruchu. Upraszczając, w dalszych analizach tego artykułu przyjęto wariant obliczania ruchu całkowitego przy stałych współczynnikach wzrostu ruchu ciężkiego. Obciążenie  $B$  wyznacza się, w zależności od metody, zgodnie z następującymi wzorami:

- Metoda 1:

$$B = DTA^{(SV)} \cdot q_{BM} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_z \cdot 365 \quad (1)$$

- Metoda 2:

$$B = N \cdot EDTA^{(SV)} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_z \cdot 365 \quad (2)$$

w których:

- $N$  – zakładany okres eksploatacji, najczęściej 30 lat,
- $f_1$  – wskaźnik liczby pasów ruchu, przyjmuje wartości między 1,0 w odniesieniu do pojedynczego pasa ruchu, a 0,8 przy trzech i więcej pasach ruchu w jednym kierunku
- $f_2$  – wskaźnik szerokości pasa ruchu, przyjmuje wartości od 1,0 (w odniesieniu do pasa o szerokości  $\geq 3,75$  m) do 2,0 (do pasa o szerokości  $< 2,0$  m)
- $f_3$  – wskaźnik pochylenia niwelety, przyjmuje wartości od 1,0 przy pochyleniu  $< 2\%$  do 1,45 przy pochyleniu większym od 10%
- $f_z$  – wskaźnik wzrostu ruchu ciężkiego,
- $q_{BM}$  – współczynnik przeliczeniowy uwzględniający średnie obciążenie osi, współczynnik ten dobierany jest w zależności od klasy drogi,
- $DTA^{(SV)}$  – średnia dobowo liczba osi ruchu ciężkiego; wielkość tą określa się ze wzoru:

$$DTA^{(SV)} = DTV^{(SV)} \cdot f_A \quad (3)$$

w którym:

- $f_A$  – współczynnik liczby osi, czyli średnia liczba osi przypadająca na jeden pojazd ciężarowy,
- $DTV^{(SV)}$  – średniodobowe natężenie ruchu pojazdów ciężkich
- $EDTA^{(SV)}$  – średnia dobowo liczba równoważnych osi ruchu ciężkiego (10 t), wielkość tą określa się ze wzoru:

$$EDTA^{(SV)} = \sum DTA_k^{(SV)} \cdot \left( \frac{I_k}{I_0} \right)^4 \quad (4)$$

w którym:

$I_k$  – średnie obciążenie osi w klasie obciążenia  $k$

$I_0$  – obciążenie osi porównawczej równe 10 t

$DTA_k^{(SV)}$  – średnia dobowa liczba osi ruchu ciężkiego w klasie obciążenia  $k$ .

W metodach 1 i 2 współczynniki  $f_1, f_2, f_3$  i  $f_z$  są identyczne. Metoda 2 wykorzystuje powszechnie stosowany wzór „czwartej potęgi”. W dalszej części rozważono tylko metodę 1, w celu porównania niemieckich współczynników przeliczeniowych obciążenia osi do współczynników polskich. W RSTO 01 współczynniki przeliczeniowe podawane są do wszystkich pojazdów o masie powyżej 3,5 t, nie ma zatem rozróżnienia na poszczególne typy, jak w katalogu polskim czy brytyjskim. Należy również zwrócić uwagę na fakt, że natężenie ruchu ciężkiego przeliczane jest na liczbę osi (współczynnik  $f_A$ ); współczynnik  $q_{BM}$  służy do przeliczania liczby osi ruchu ciężkiego na osie standardowe. Aby wyznaczyć niemiecki współczynnik przeliczeniowy pojazdu należy pomnożyć współczynniki  $f_A$  i  $q_{BM}$  (wyniki przedstawiono w tabeli 1).

W RSTO 01 stosuje się zwiększające współczynniki ze względu na szerokości pasa ruchu oraz pochylenia, które nie występują w katalogu polskim. Okazuje się, że parametry techniczne drogi mogą znacząco wpłynąć na ruch obliczeniowy. W tabeli 1 przedstawiono współczynniki przeliczeniowe pojazdu z uwzględnieniem niekorzystnych, z punktu widzenia ruchu obliczeniowego, parametrów technicznych drogi.

Aby porównać współczynniki  $R$  uzyskiwane według metody niemieckiej i polskiej, wprowadzono pojęcie współczynnika przeliczeniowego pojazdu ciężkiego  $R$  na oś standardową 100 kN. Według metody niemieckiej współczynnik  $R$  można obliczyć ze wzoru:

$$R = f_A \cdot q_{BM} \quad (5)$$

w którym:  $R$  – współczynnik przeliczeniowy pojazdu ciężkiego (o masie ponad 3,5 tony) na oś standardową 100 kN,  $f_A$  i  $q_{BM}$  jak we wzorze (1). Jeżeli uwzględnia się parametry techniczne drogi to współczynnik  $R$  w metodzie niemieckiej określany będzie wzorem:

$$R = f_A \cdot q_{BM} \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (6)$$

w którym oznaczenia jak we wzorze (1). Współczynniki niemieckie  $R$  zostały podane w tabeli 1.

Według metody polskiej współczynnik  $R$  można obliczyć bazując na informacji o strukturze ruchu otrzymanej z generalnego pomiaru ruchu 2010 [2] w odniesieniu do autostrad, dróg krajowych i wojewódzkich można przeliczyć współczynniki podane dla trzech kategorii pojazdów na ogólny współczynnik przeliczeniowy pojazdu  $R$ , zgodnie ze wzorem:

$$R = u_1 \cdot r_1 + u_2 \cdot r_2 + u_3 \cdot r_3 \quad (7)$$

w którym:

$r_1, r_2, r_3$  – współczynniki przeliczeniowe według polskiego katalogu, odpowiednio  $r_1 = 0,109$ ,  $r_2 = 1,245$  lub  $r_2 = 1,950$ ,  $r_3 = 0,594$ .

$u_1, u_2, u_3$  – udział pojazdów danej kategorii w ruchu ciężkim, odpowiednio  $u_1$  – udział samochodów ciężarowych bez przyczep,  $u_2$  – udział samochodów ciężarowych z przyczepami,  $u_3$  – udział autobusów. Wartości  $u$  zostały podane w tabeli 2 na podstawie danych z generalnego pomiaru ruchu 2010 [2].

Z tabeli 2 wynika, że współczynnik przeliczeniowy pojazdów  $R$  obliczony według KTKN PiP przy przyjęciu  $r_2 = 1,950$  jest wyższy niż współczynnik wynikający z katalogu niemieckiego, w odniesieniu do autostrad i dróg krajowych nawet przy przyjęciu niekorzystnych parametrów technicznych drogi. W przypadku przyjęcia współczynnika  $r_2 = 1,245$  otrzymuje się zbliżone wartości  $R$  według metod polskiej i niemieckiej, natomiast w odniesieniu do dróg krajowych i wojewódzkich współczynnik  $R$  jest wyraźnie wyższy w metodzie polskiej.

Tabela 1. Współczynniki przeliczeniowe pojazdów obliczone według katalogu niemieckiego [3]

Klasa drogi	Współczynnik liczby osi $f_A$	Współczynnik przeliczeniowy osi $q_{BM}$	Współczynnik przeliczeniowy pojazdu $f_A \cdot q_{BM}$	Przyjęty współczynnik szerokości pasa $f_2$	Przyjęty współczynnik pochylenia niwelety $f_3$	Maksymalny współczynnik przeliczeniowy pojazdu $f_A \cdot q_{BM} \cdot f_2 \cdot f_3$
Autostrady	4,2	0,26	<b>1,092</b>	$f_2(3,75 \text{ m}) = 1,0$	$f_3(2\%) = 1,02$	<b>1,114</b>
Drogi krajowe	3,7	0,2	<b>0,740</b>	$f_2(3,5 \text{ m}) = 1,1$	$f_3(4\%) = 1,05$	<b>0,855</b>
Pozostałe drogi	3,1	0,18	<b>0,558</b>	$f_2(2,75 \text{ m}) = 1,4$	$f_3(5\%) = 1,09$	<b>0,851</b>

Tabela 2. Zestawienie współczynników przeliczeniowych według KTKN PiP oraz RSTO 01

Droga	Autostrady			Drogi krajowe			Drogi wojewódzkie		
	C	C+P	A	C	C+P	A	C	C+P	A
Kategoria pojazdu	C	C+P	A	C	C+P	A	C	C+P	A
Udział kategorii pojazdu w ruchu ciężkim (wg GPR'10)	15%	83%	2%	21%	74%	5%	36%	51%	13%
Współczynnik przeliczeniowy kategorii pojazdu wg KTKN PiP	0,109	1,245 <sup>(1)</sup> 1,950 <sup>(2)</sup>	0,594	0,109	1,245 <sup>(1)</sup> 1,950 <sup>(2)</sup>	0,594	0,109	1,245 <sup>(1)</sup> 1,950 <sup>(2)</sup>	0,594
Współczynnik przeliczeniowy pojazdów wg KTKN PiP	1,062 <sup>(1)</sup>			0,975 <sup>(1)</sup>			0,751 <sup>(1)</sup>		
	1,647 <sup>(2)</sup>			1,497 <sup>(2)</sup>			1,111 <sup>(2)</sup>		
Współczynnik przeliczeniowy pojazdów wg RSTO 01	1,092			0,740			0,558		
Max współczynnik przeliczeniowy pojazdów wg RSTO 01 <sup>(3)</sup>	1,114			0,855			0,851		

<sup>(1)</sup> Przy założeniu, że udział pojazdów o nacisku 115 kN/oś nie przekracza 8%

<sup>(2)</sup> Przy założeniu, że udział pojazdów o nacisku 115 kN/oś zawiera się w przedziale 8% do 20%

<sup>(3)</sup> Z uwzględnieniem niekorzystnych parametrów technicznych drogi (wg tabeli 1)

## Metoda brytyjska

Ruch obliczeniowy według metody brytyjskiej [5] wyrażony jest za pomocą liczby osi równoważnych 80 kN ( $T$ ), podawanej w milionach (ang. *msa* = *million standard axles*). Nie wprowadzono kategorii ruchu, tak więc grubość konstrukcji nawierzchni dobiera się na podstawie nomogramów. Roczne obciążenie ruchem ( $T_i$ ) wylicza się osobno dla pojazdów i-tej klasy lub opcjonalnie i-tej kategorii za pomocą wzoru:

$$T_i = 365 \cdot F \cdot G \cdot W \cdot 10^{-6} \text{ msa} \quad (8)$$

Następnie całkowity ruch obliczeniowy  $T$  podaje się jako:

$$T = Y \cdot P \cdot \sum T_i \text{ msa} \quad (9)$$

w których:

$F$  – średnioroczny ruch dobowy pojazdów ciężkich na początku okresu eksploatacji,

$G$  – wskaźnik wzrostu ruchu,

$W$  – współczynnik zużycia nawierzchni (ang. *wear factor*) danej klasy lub kategorii pojazdu, odpowiadający współczynnikowi przeliczeniowemu,

$P$  – procent pojazdów na najbardziej obciążonym pasie drogi,

$Y$  – okres obliczeniowy w latach.









Zgodnie z procedurą brytyjską (*HD24/06*) [5] pojazdy klasyfikuje się według 3 kategorii:

- PSV – pojazdy użytku publicznego (ang. *public service vehicle*),
- OGV1 – pojazdy do przewozu towarów lekkich (ang. *other goods vehicle*),
- OGV2 – pojazdy do przewozu towarów ciężkich. Dodatkowo w obrębie kategorii wyszczególnionych zostało 8 klas pojazdów.

Współczynniki  $W$  – zużycia nawierzchni (odpowiedniki polskich współczynników przeliczeniowych) zostały wyznaczone w odniesieniu do każdej klasy pojazdu i podano je w 2 wariantach: do projektowania dróg nowych oraz do utrzymania dróg istniejących. Ponieważ współczynniki  $W_m$  podane są do obciążenia osią standardową 80 kN, przeliczono je na oś 100 kN stosując wzór 4-tej potęgi. Warto zwrócić uwagę na fakt, że brytyjski podział pojazdów na kategorie jest bardzo podobny do podziału stosowanego w Polsce; kategoria OGV1 odpowiadałaby polskiej kategorii samochodów ciężarowych bez przyczep, OGV2 – samochodom ciężarowym z przyczepami, PSV – autobusom. Różnica polega na przypisaniu 4-osiowego pojazdu ciężarowego bez przyczepy do kategorii OGV2. Sposób wyznaczenia brytyjskich współczynników zużycia nawierzchni został obszernie opisany w raporcie *TRL PPR 066* [6]. Do wyznaczenia współczynników wykorzystano dane z ważenia pojazdów w ruchu (*WIM*) na różnych drogach. W tabeli 3 przedstawiono wyniki analizy danych z *WIM* na drogach brytyjskich w postaci średnich współczynników równoważności obciążenia osi obliczonych ze wzoru 4-tej potęgi, przeprowadzonej przez *TRL* [6]. Współczynniki zużycia nawierzchni do dróg istniejących są 1,35 razy większe, a do dróg nowych 2 razy większe od średnich współczynników równoważności obciążenia osi obliczonych na podstawie danych z *WIM*. Brytyjczycy argumentują zastosowanie takich współczynników bezpieczeństwa przede wszystkim możliwością wzrostu ciężarów pojazdów w przyszłości (w Wielkiej Brytanii zaleca się projektowanie nawierzchni na 40 lat!).

Okazuje się, że średnie współczynniki równoważności otrzymane z ważenia pojazdów w ruchu wyznaczone w Wielkiej Brytanii mają zbliżone wartości do współczynników obli-

Tabela 3. Brytyjskie współczynniki zużycia oraz pomiary ze stacji ważenia *WIM* według [6]

Pojazd	Klasa pojazdu	Kategoria pojazdu	Współczynniki zużycia nawierzchni oś 80 kN			Współczynniki zużycia nawierzchni oś 100 kN		
			W drogi istniejące	W drogi nowe	Średnia z WIM*	W drogi istniejące	W drogi nowe	Średnia z WIM*
	autobusy	PSV	2,6	3,6	1,97	1,1	1,5	0,81
	bez przyczepy 2-osiowe	OGV1	0,4	0,6	0,28	0,2	0,2	0,11
	bez przyczepy 3-osiowe		2,3	3,4	1,72	0,9	1,4	0,70
	przegubowe 3-osiowe	OGV2	1,7	2,5	1,24	0,7	1,0	0,51
	bez przyczepy 4-osiowe		3,0	4,6	2,28	1,2	1,9	0,93
	przegubowe 4-osiowe		1,7	2,5	1,24	0,7	1,0	0,51
	przegubowe 5-osiowe		2,9	4,4	2,18	1,2	1,8	0,89
	przegubowe 6-osiowe		3,7	5,6	2,79	1,5	2,3	1,14
			OGV1 + PSV	0,6	1,0	0,48	0,2	0,4
		OGV2	3,0	4,4	2,22	1,2	1,8	0,91

\* Średni współczynnik równoważności obciążenia pojazdu obliczony z metody 4-tej potęgi według danych z ważenia pojazdów w ruchu (*WIM*) na 12 punktach pomiarowych w okresie od stycznia do października 2003 r. [6]

czonych dla danych z dróg polskich, przedstawionych przez autora w publikacji [10].

W celu porównania brytyjskich współczynników zużycia nawierzchni ze współczynnikami otrzymanymi z metod niemieckiej i polskiej, przeliczono je stosując wzór:

$$R = W \cdot \left(\frac{80}{100}\right)^4 = (W_{OGV1+PSV} \cdot u_{OGV1+PSV} + W_{OGV2} \cdot u_{OGV2}) \cdot \left(\frac{80}{100}\right)^4 \quad (10)$$

w którym:

$R$  – współczynnik przeliczeniowy pojazdu wyrażony w osiach 100 kN,

$W$  – współczynnik przeliczeniowy pojazdu (współczynnik zużycia nawierzchni) wyrażony w osiach 80 kN [5],

$W_{OGV1+PSV}$ ,  $W_{OGV2}$  – współczynniki zużycia nawierzchni do odpowiednich kategorii pojazdów, wyrażone w osiach 80 kN, wartości współczynników podano w tabeli 3,

$u$  – średni udział pojazdów danej kategorii na drogach brytyjskich, podany w HD24/06 [5],  $u_{OGV1+PSV} = 35\%$ ,  $u_{OGV2} = 65\%$  w odniesieniu do autostrad i dróg ekspresowych oraz  $u_{OGV1+PSV} = 62\%$ ,  $u_{OGV2} = 38\%$  w odniesieniu do dróg krajowych.

Tabela 4. Zestawienie średniego obciążenia równoważnego pojazdów ruchu ciężkiego wg metod brytyjskiej, niemieckiej i polskiej

Metoda	Autostrady		Drogi krajowe	
	istniejące	nowe	istniejące	nowe
Brytyjska [5]	0,885	1,315	0,619	0,939
Niemiecka [3]	1,092		0,740	
Polska [1]	1,062 <sup>(1)</sup> 1,647 <sup>(2)</sup>		0,975 <sup>(1)</sup> 1,497 <sup>(2)</sup>	

<sup>(1)</sup> Przy założeniu, że udział pojazdów o nacisku 115 kN/os nie przekracza 8%

<sup>(2)</sup> Przy założeniu, że udział pojazdów o nacisku 115 kN/os zawiera się w przedziale 8% do 20%

Obliczenia wykonane według metody brytyjskiej dają mniejszą wartość ruchu obliczeniowego niż gdyby były wykonane metodą polską lub niemiecką, jeżeli projektuje się konstrukcję drogi sieci istniejącej. Ruch obliczeniowy wyznaczony według metody polskiej jest największy w przypadku, gdy udział pojazdów o nacisku 115 kN zawiera się w przedziale 8% do 20%.

## Metoda austriacka

Konstrukcję nawierzchni drogowej według katalogu austriackiego [4] dobiera się w zależności od obciążenia ruchem równoważnym. Wyróżnia się siedem klas obciążenia od VI – ruch najłżejszy do S – ruch najcięższy. Aby ustalić odpowiednią klasę należy obliczyć miarodajne obciążenie ruchem  $BNLW$ , które wyrażone jest liczbą przejazdów osi o standardowym ciężarze 100 kN według wzoru:

$$BNLW = NLW_{dziennie} \cdot R \cdot V \cdot S \cdot 365 \cdot n \cdot z \quad (11)$$

w którym:

$NLW_{dziennie}$  – dobową liczbę przejazdów osi standardowych 100 kN w całym przekroju drogi w chwili oddania drogi do ruchu,

$R$  – współczynnik podziału ruchu ciężkiego ze względu na kierunek ruchu (0,5 przy równomiernym podziale ruchu ciężkiego w obu kierunkach jazdy),

$V$  – współczynnik uwzględniający rozkład ruchu ciężkiego na większą liczbę pasów ruchu w danym kierunku ( $V = 1$  przy jednym, względnie dwóch pasach ruchu,  $V = 0,9$  przy trzech i więcej pasach ruchu w danym kierunku),

$S$  – współczynnik uwzględniający rozkład śladu koła w obrębie pasa ruchu, przy typowych szerokościach pasa ruchu przyjmuje wartości: przy 3,75 m  $S = 0,75$ , przy 3,5 m  $S = 0,80$ , przy 3,0 m  $S = 0,9$ , przy 2,75 m  $S = 1,0$ ,

$n$  – okres na który projektuje się nawierzchnię w latach (najczęściej 20 lat do nawierzchni asfaltowych lub z kostki brukowej, 30 lat do nawierzchni z betonu cementowego),

$z$  – współczynnik wzrostu ruchu w kolejnych latach, przy uwzględnieniu rocznego wskaźnika przyrostu  $p$ [%] wyrażonego wzorem:

$$z = \frac{q^n - 1}{n(q - 1)} \quad (12)$$

w którym:  $q = 1 + \frac{p}{100}$ .

Dobową liczbę przejazdów osi 100 kN –  $NLW_{dziennie}$  oblicza się w zależności od znajomości struktury rodzajowej pojazdów:

• gdy znane jest średnie, roczne natężenie ruchu  $JDTV_i$  kategorii pojazdów w chwili oddania do ruchu według wzoru:

$$NLW_{dziennie} = \sum_i JDTV_i \cdot \ddot{A}_i \quad (13)$$

w którym:

$\ddot{A}_i$  – średnia wartość współczynnika równoważności obciążenia danej kategorii pojazdów, zgodnie z tabelą 5,

$JDTV_i$  – roczne, średnie natężenie ruchu pojazdów danej kategorii.

• gdy brak jest wyników z obliczeń ruchu z podziałem na kategorie pojazdów według wzoru:

$$NLW_{dziennie} = JDTV_{cat} \cdot \ddot{A}_{JDTV} \quad (14)$$

w którym:

$\ddot{A}_{JDTV}$  – średnia wartość współczynnika równoważności obciążenia odpowiedniej kategorii drogi zgodnie z tabelą 6.

$JDTV_{cat}$  – roczne, średnie dobowe natężenie ruchu ciężkiego.

Kategorie pojazdów ruchu ciężkiego wyszczególnione w katalogu austriackim [4] są niemal identyczne jak w katalogu polskim, odstępstwo stanowią autobusy, które w katalogu austriackim podzielono dodatkowo na 3 kategorie. Można zatem porównać polskie współczynniki przeliczeniowe  $r$ , ze współczynnikami austriackimi  $\ddot{A}_i$  (tabela 5). Należy jednak pamiętać, że w Austrii stosuje się współczynnik szerokości pasa ruchu  $S \leq 1$ , w związku z tym przy drogach o wyższych klasach technicznych końcowa wartość ruchu obliczeniowego będzie niższa, niż gdyby była liczona wg współczynników podanych w tabelach 5 i 6 (zależnie od szerokości pasa ruchu).

Zgodnie z porównaniem przedstawionym w tabeli 5 można stwierdzić, że polski współczynnik przeliczeniowy w odniesieniu do samochodów ciężarowych bez przyczep  $r_1$  jest aż

Tabela 5. Wartości współczynnika równoważności obciążenia pojazdów różnych kategorii podane w katalogu austriackim [4], oraz w polskim [1]

Kategoria pojazdu	Katalog austriacki [4] $\ddot{A}$	Katalog polski [1] $r$
Samochód ciężarowy bez przyczepy	0,7	0,109
Samochód ciężarowy z przyczepą względnie ciągnik siodłowy z naczepą	1,2	1,245 <sup>1)</sup> 1,950 <sup>2)</sup>
Autobus	0,6	0,594
Autobus miejski (transport publiczny)	0,8	
Autobus miejski przegubowy	1,4	

<sup>1)</sup> Przy założeniu, że udział pojazdów o nacisku 115 kN/os nie przekracza 8%

<sup>2)</sup> Przy założeniu, że udział pojazdów o nacisku 115 kN/os zawiera się w przedziale 8% do 20%

Tabela 6. Współczynnik równoważności obciążenia pojazdu wg katalogu austriackiego  $\ddot{A}_{JDTV}$  oraz według katalogu polskiego  $R$  w odniesieniu do różnych kategorii dróg

Kategoria drogi	$\ddot{A}_{JDTV}$	$R$
Autostrady	1,0	1,062
		1,647
Pozostałe drogi	0,9	0,975
		1,437

7-krotnie niższy niż odpowiadający mu współczynnik austriacki  $\ddot{A}_1$ . Z kolei wielkość polskiego współczynnika do samochodów ciężarowych z przyczepą  $r_2$  jest większa od odpowiadającego mu austriackiego współczynnika  $\ddot{A}_2 = 1,2$ . Współczynniki  $\ddot{A}_{JDTV}$  podane w tabeli 6 są odpowiednikami współczynników polskich, niemieckich i brytyjskich zestawionych w tabeli 4. Z porównania przedstawionego w tabeli 6 wynika, że metoda austriacka daje mniejszy ruch obliczeniowy niż metoda polska przy tych samych warunkach.

## Metoda francuska

Pojazdy ciężarowe definiuje się jako te, których masa przekracza 3,5 tony (dawniej było to 5 ton) i nie dzieli się ich na kategorie. Sposób określenia ruchu do projektowania opisano w normie francuskiej *NF P 98-082* [9].

Okres eksploatacji nawierzchni dobierany jest w zależności od klasy drogi:

- klasa *VRS* (*fr. voies du réseau structurant*) – drogi sieci strukturalnej (autostrady i drogi ekspresowe), które są projektowane na okres eksploatacji 30 lat,
- klasa *VRNS* (*fr. voies du réseau non structurant*) – drogi sieci nie strukturalnej (pozostałe drogi), które są projektowane na okres eksploatacji 20 lat.

Tabela 6. Klasyfikacja ruchu pojazdów ciężarowych we Francji [8]

Klasa ruchu	T5	T4	T3		T2		T1		T0		TS		TEX
			T3-	T3+	T2-	T2+	T1-	T1+	T0-	T0+	TS-	TS+	
<i>MJA</i>	0	25	50	85	150	200	300	500	750	1200	2000	3000	5000

Ruch pojazdów ciężarowych wyrażony jest jako średnioroczna dobowo liczba pojazdów ciężarowych (*MJA*) na najbardziej obciążonym pasie ruchu. Jeżeli nie jest znany rozkład ruchu pojazdów ciężarowych na pasy, całkowity obliczeniowy ruch pojazdów ciężarowych można opisać wzorem:

$$TC = 365 \cdot T \cdot C \quad (15)$$

w którym:

*T* – średnioroczny dobowy ruch pojazdów ciężarowych z uwzględnieniem liczby pasów ruchu, a także szerokości pasów ruchu w przypadku drogi jednojezdniowej, dwupasowej

*C* – skumulowany współczynnik zależny od okresu eksploatacji *D* i geometrycznego, rocznego wzrostu ruchu *r*:

$$C = \frac{(1+r)^D - 1}{r}$$

Z uwagi na liczbę pojazdów ciężarowych wyszczególnione zostały klasy ruchu (tabela 6). Na podstawie klas ruchu *T<sub>i</sub>* wyznacza się m.in. współczynnik agresywności pojazdów *CAM*.

Konstrukcja nawierzchni drogowej wymiarowana jest na liczbę osi obliczeniowych *NE*. Oś obliczeniowa składa się z dwóch par kół bliźniaczych o ciśnieniu kontaktowym 0,662 MPa i rozstawie 37,5 cm, która jest obciążona ciężarem 130 kN [8]. Liczba *NE* opisana jest wzorem:

$$NE = TC_i \cdot CAM \quad (16)$$

w którym:

*TC<sub>i</sub>* – całkowity, obliczeniowy ruch pojazdów ciężarowych, *CAM* – współczynnik skumulowany agresywności ruchu pojazdów, będący funkcją:

- wielkości początkowej ruchu
- rozkładu typów i nacisków osi w pojazdach,
- rodzaju konstrukcji nawierzchni.

Tabela 7. Klasyfikacja obciążenia drogi w zależności od klasy drogi (miliony osi standardowych) [8]

<i>VRS</i>	<i>TC1<sub>30</sub></i>	<i>TC2<sub>30</sub></i>	<i>TC3<sub>30</sub></i>	<i>TC4<sub>30</sub></i>	<i>TC5<sub>30</sub></i>	<i>TC6<sub>30</sub></i>	<i>TC7<sub>30</sub></i>	<i>TC8<sub>30</sub></i>
mln osi 130 kN	0,5	1	3	6	14	38	94	
<i>VRNS</i>	<i>TC1<sub>20</sub></i>	<i>TC2<sub>20</sub></i>	<i>TC3<sub>20</sub></i>	<i>TC4<sub>20</sub></i>	<i>TC5<sub>20</sub></i>	<i>TC6<sub>20</sub></i>	<i>TC7<sub>20</sub></i>	<i>TC8<sub>20</sub></i>
mln osi 130 kN	0,2	0,5	1,5	2,5	6,5	17,5	43,5	

Współczynnik *CAM* definiowany jest przez stosunek zsumowanej agresywności osi pojazdów do liczby pojazdów ciężarowych. Szczegółowy opis metody obliczania *CAM* podany jest w załączniku 5 opracowania [7]. Aby obliczyć współczynnik *CAM* konieczna jest znajomość rozkładu nacisków osi pojazdów na drodze np. ze stacji ważenia pojazdów w ruchu *WIM*. W przypadku braku takich informacji *CAM* można przyjąć według tabeli 8. Dobór współczynnika zależy od klasy drogi oraz od konstrukcji nawierzchni przy klasach ruchu od T2 do TS.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że współczynnik *CAM* może przyjmować różne wartości przy różnych warstwach nawierzchni, i tak na przykład w odniesieniu do nawierzchni kompozytowej (polski odpowiednik nawierzchni półsztywnej) *CAM* = 1,3 w odniesieniu do podbudowy związanej cementem, natomiast

Tabela 8. Współczynnik CAM w zależności od klasy ruchu oraz typu nawierzchni [7]

Drogi o małym ruchu od T5 do T3	CAM	0,4	0,5	0,7	0,8
	Klasa ruchu	T5	T4	T3-	T3+
Warstwy i nawierzchnie ruchu średniego i wysokiego od T2 do T5	CAM	0,8		1	1,3
		Warstwy bitumiczne nawierzchni kompozytowych lub odwróconych Nawierzchnie w których grubość warstw bitumicznych przekracza 20 cm	Nawierzchnie asfaltowe na pełną głębokość o grubości ponad 20 cm Warstwy niezwiązane oraz podłoże gruntowe	Warstwy z materiałów związanych spoiwem hydraulicznym oraz z betonu cementowego	

CAM = 0,8 do warstw bitumicznych. Oznacza to, że każdą z tych warstw projektuje się na inny ruch obliczeniowy. Współczynnik CAM wyznaczony jest do osi standardowej 130 kN. W niniejszym artykule nie przedstawiono porównania francuskich współczynników przeliczeniowych CAM z ich odpowiednikami podanymi w innych katalogach, gdyż ruch ciężki we Francji ma inną charakterystykę niż w pozostałych krajach. Dopuszczalny limit obciążenia osi we Francji wynosi 130 kN/oś, podczas gdy w pozostałych krajach 115 kN/oś, w związku z tym francuskie współczynniki CAM będą miały wyższą wartość. Oprócz większych ograniczeń nacisków osi znaczenie ma również metoda, według której je obliczono. Metoda Francuska prowadzi do otrzymania większych współczynników równoważności obciążenia osi niż metoda AASHTO oraz jej uproszczenie – metoda 4-tej potęgi, które to były wykorzystywane do obliczenia współczynników przeliczeniowych w Wielkiej Brytanii i Niemczech.

## Podsumowanie

Jak wynika z analizy metod projektowania nawierzchni wpływ na wielkość ruchu obliczeniowego oprócz ciężarów pojazdów i ich klasyfikacji może mieć szereg innych czynników, takich jak:

- klasa i znaczenie drogi (autostrady, drogi główne – krajowe, pozostałe drogi),
- szerokość jezdni,
- liczba pasów ruchu i podział ruchu ciężkiego na poszczególne pasy,
- konstrukcja nawierzchni drogowej,
- zwiększenie ciężarów pojazdów w przyszłości.

Obserwuje się tendencję do zwiększania współczynników przeliczeniowych wraz ze wzrostem obciążenia drogi. Jedną z jej przyczyn może być struktura ruchu ciężkiego. Jak można zauważyć z danych generalnego pomiaru ruchu w 2010 lub w brytyjskiej instrukcji do projektowania nawierzchni na autostradach obserwowany jest większy udział pojazdów ciężkich (w Polsce kategorii C+P, w Wielkiej Brytanii OGV2). Podobnie w katalogu francuskim przyjmuje się wyższy współczynnik przeliczeniowy CAM wraz ze wzrostem liczby pojazdów T na drodze, ale tylko przy niższych klasach natężenia ruchu.

W metodach niemieckiej, austriackiej i częściowo we francuskiej uwzględniono powtarzalność obciążenia w śladzie koła, wprowadzając współczynnik uzależniony od szerokości pasa ruchu.

W katalogu niemieckim wprowadzono również współczynnik pochylenia niwelety, jednak nie podano sposobu w jaki należałoby przyjmować spadek drogi, który na odcinku drogi może znacznie się zmieniać.

W każdym z krajów występują różne współczynniki charakteryzujące obciążenie pojazdu. W wyniku porównania można stwierdzić, że naj-

większą wartość współczynników oddziaływania pojazdów na nawierzchnię przyjmuje się we Francji, co może być spowodowane większymi dopuszczalnymi naciskami osi niż w pozostałych krajach. Najniższe współczynniki przeliczeniowe pojazdów przyjmuje się w Austrii.

Średnia wartość współczynników równoważności obciążenia osi obliczonych metodą 4-tej potęgi według danych brytyjskich jest zbliżona do średnich wartości obliczonych według danych polskich, podanych w publikacji [10]. Brytyjskie współczynniki przeliczeniowe podano jako średnią wartość współczynników równoważności obciążenia osi przemnożoną przez współczynnik bezpieczeństwa, wprowadzony przede wszystkim z uwagi na możliwy wzrost ciężarów pojazdów w przyszłości.

Wpływ konstrukcji nawierzchni na ruch obliczeniowy uwzględniono jedynie w metodzie francuskiej. Wprowadzenie różnych współczynników CAM do konstrukcji podatnych (CAM = 0,8 lub 1,0) i półsztywnych (CAM = 1,3) wynika z wprowadzenia innych parametrów we wzorzec na agresywność ruchu. W pozostałych krajach do obliczenia średniego współczynnika równoważności obciążenia nawierzchni stosuje się wzór 4-tej potęgi zarówno przy nawierzchniach podatnych, jak i półsztywnych.

Ruch projektowy obliczony na podstawie polskiego katalogu jest większy niż ruch obliczony według katalogu niemieckiego i austriackiego, a także brytyjskiego w odniesieniu do wariantu projektowania konstrukcji dróg istniejących.

## Bibliografia

- [1] Sybilski D. i wsp.: Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych (KTKNPIP). GDDKiA, IBDiM, Warszawa 1997
- [2] Opoczyński K.: *Synteza wyników generalnego pomiaru ruchu 2010*. Transprojekt, Warszawa 2010
- [3] *Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen RSTO 01*. FGSV, Kolonia, Niemcy 2001
- [4] *Oberbaubemessung RVS 03.08.63*. FSV, Austria 2008
- [5] *Design manual for roads and bridges, Volume 7, Pavement design and maintenance, Section 2 Pavement design and construction*. Highways Agency, Wielka Brytania 2006
- [6] Atkinson V.M., Merrill D., Thom N.: *Pavement wear factors, TRL Published Project Report PPR066*. Wielka Brytania 2006
- [7] Corte J.F. i wsp.: *Conception et dimensionnement des structures de chaussées*. LCPC, Francja 1994
- [8] *Catalogue des structures types de chaussées neuves*. LCPC Setra, Francja 1998
- [9] Ruffier-Meray M. i wsp.: *NF P 98-082 Dimensionnement des chaussées routières, Détermination des trafics routiers pour le dimensionnement des structures de chaussées*. Francja 1994
- [10] Ryś D., Judycki J., Jaskuła P.: *Aktualizacja współczynników równoważności pojazdów ciężarowych i autobusów*. Drogownictwo nr 7-8/2011 ■