

INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW
Zakład Diagnostyki Nawierzchni

SPRAWOZDANIE

z realizacji pracy TD-73 pt.:

*Aktualizacja wartości współczynników przeliczeniowych
na osie 100 kN i 115 kN na podstawie analizy
aktualnej wielkości i struktury ruchu drogowego.*

Zlecniodawca: GDDKiA, umowa nr 1228/2005

Opracowali:

mgr inż. Tomasz MECHOWSKI
inż. Przemysław HARASIM

Kierownik Zakładu
Diagnostyki Nawierzchni

mgr inż. Tomasz MECHOWSKI

Warszawa, wrzesień 2006

Spis treści

1.	Podstawa i zakres pracy.....	5
2.	Wstęp.....	5
3.	Analiza zmian wielkości i struktury ruchu drogowego, które zaszły w Polsce od czasu opracowania KTKNPP z 1997 roku	6
4.	Aktualny ruch drogowy w Polsce.....	9
5.	Struktura ruchu pojazdów ciężkich oraz rozkład obciążeń na osie pojazdów.....	12
5.1	<i>Wprowadzenie</i>	12
5.2	<i>Sposoby ważenia pojazdów</i>	13
5.2.1	Wagi stacjonarne do pomiarów automatycznych	13
5.2.2	Wagi przenośne	15
5.2.3	Ważenie pojazdów w ruchu.....	15
5.3	<i>Charakterystyka przepisów dotyczących dopuszczalnych nacisków na osie i mas pojazdów</i>	17
5.4	<i>Zestawienie sylwetek pojazdów i przypisanych im limitów wagowych</i>	18
6.	Oddziaływanie pojazdu na nawierzchnię drogi	23
6.1	<i>Wprowadzenie</i>	23
6.2	<i>Obciążenie statyczne [5]</i>	25
6.2.1	Masa całkowita pojazdu	25
6.2.2	Konfiguracja osi	27
6.3	<i>Rodzaje uszkodzeń nawierzchni asfaltowej</i>	29
6.4	<i>Trwałość zmęczeniowa nawierzchni</i>	31
6.4.1	Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych.....	31
6.4.2	Kryterium deformacji strukturalnych konstrukcji nawierzchni.....	32
6.4.3	Kryterium spękań zmęczeniowych podbudów związanych spoiwami hydraulicznymi	32
7.	Wpływ dynamiki ruchu na wielkość obciążeń przekazywanych na nawierzchnię drogową ..	33
7.1	<i>Czynniki wpływające na wzajemne oddziaływania dynamiczne pojazdu i nawierzchni</i> 33	
7.1.1	Mikroprofil geometryczny nawierzchni	33
7.1.2	Prędkość ruchu pojazdu.....	34
7.1.3	Konstrukcja pojazdu	35
7.2	<i>Skutki wzajemnego oddziaływania dynamicznego pojazdu i nawierzchni</i>	36
8.	Analiza obciążeń przekazywanych na nawierzchnię drogową.....	39
8.1	<i>Hipoteza Minera [8]</i>	39
8.2	<i>Zastosowanie hipotezy Minera, agresywność obciążenia</i>	40

9.	Wyznaczenie współczynników przeliczeniowych	42
9.1	Algorytm obliczeń	42
9.2	Zebranie danych z ważeń pojazdów.....	42
9.3	Uwzględnienie wpływu dynamiki obciążeń na rzeczywiste naciski wywierane przez koła pojazdów na nawierzchnię drogową.....	44
9.4	Korekta uwzględniająca koła bliźniacze.....	44
9.5	Obliczenie współczynników agresywności pojazdów zważonych	47
9.6	Ustalenie struktury ruchu pojazdów ciężkich	47
9.7	Obliczenie średnich agresywności sylwetek pojazdów ciężkich	49
9.8	Obliczenie współczynników przeliczeniowych.....	50
10.	Wnioski	52
11.	Literatura	54

Spis tablic

Tablica 3.1 Pomierzony i prognozowany rozwój ruchu w poszczególnych kategoriach pojazdów na drogach krajowych w latach 1990 - 2020	7
Tablica 3.2 Pomierzone i prognozowane wskaźniki wzrostu ruchu w poszczególnych kategoriach pojazdów na drogach krajowych w latach 1990 - 2020.....	7
Tablica 4.1 Struktura rodzajowa ruchu na drogach krajowych (GPR 2005)	9
Tablica 4.2 Średni dobowy ruch pojazdów samochodowych w 2005 roku na drogach międzynarodowych E oraz wzrost ruchu w odniesieniu do roku 2000	10
Tablica 4.3 Długości dróg krajowych w podziale funkcjonalnym w przedziałach średniego dobowego ruchu samochodów w 2005 roku	11
Tablica 5.1 Współczynniki przeliczeniowe grup pojazdów na osie obliczeniowe 100 kN	12
Tablica 5.2 Lokalizacja stałych punktów kontroli pojazdów	13
Tablica 5.3 Dopuszczalne naciski osi i zestawów osi dla dróg 8 t, 10 t oraz 11,5 t.....	17
Tablica 5.4 Sylwetki pojazdów samochodowych wraz z konfiguracją obciążenia osi	19
Tablica 8.1 Współczynniki K i α uwzględniające typ konstrukcji nawierzchni i układ obciążenia do obliczenia współczynnika agresywności obciążenia ruchem	41
Tablica 9.1 Zakres danych źródłowych.....	43
Tablica 9.2 Maksymalne naprężenia i odkształcenia w ocenianych konstrukcjach.....	45
Tablica 9.3 Trwałość zmęczeniowa ocenianych konstrukcji	46
Tablica 9.4 Trwałość konstrukcji wyrażona liczbą osi obliczeniowych wg kryterium ciśnienia w oponie	46
Tablica 9.5 Odcinki wytypowane do pomiaru ruchu pojazdów ciężkich	49
Tablica 9.6 Dane przyjęte w obliczeniach współczynników przeliczeniowych autobusów	51
Tablica 9.7 Współczynniki przeliczeniowe na oś obliczeniową 10 t.....	51
Tablica 9.8 Współczynniki przeliczeniowe na oś obliczeniową 11,5 t.....	51
Tablica 9.9 Nowe współczynniki przeliczeniowe grup pojazdów na oś obliczeniową 10 t	53

Spis rysunków

Rysunek 3.1 Pomierzony i prognozowany rozwój ruchu samochodów ciężarowych i autobusów w latach 1990 - 2020	8
Rysunek 5.1 Schemat punktu pomiarowego ważenia pojazdów, (IMEX-Bis Sp. z o.o.)	14
Rysunek 5.2 Obraz z kamery selekcyjnej, (IMEX-Bis Sp. z o.o.)	14
Rysunek 5.3 Przenośny system ważenia, (IMEX-Bis Sp. z o.o.)	15
Rysunek 5.4 Wizualizacja punktu pomiarowego WIM, (Dienst Weg – en Waterbouwkunde)	16
Rysunek 5.5 Obraz danych komputerowych uzyskanych z punktu pomiarowego WIM, (Dienst Weg – en Waterbouwkunde)	16
Rysunek 6.1 Czynniki działające na nawierzchnie asfaltową	23
Rysunek 6.2 Układ sił działających na nawierzchnię od obciążenia kołem	23
Rysunek 6.3 Rozkład nacisku od obciążenia kołem pojazdu na konstrukcje nawierzchni drogowej i na podłoże gruntowe	24
Rysunek 6.4 Względna teoretyczna szkoda zmęczeniowa nawierzchni podatnej spowodowana przejściem osi 80 kN z uwzględnieniem kategorii pojazdów i grubości warstw ścieralnych	26
Rysunek 6.5 Względne teoretyczne powstawanie kolein w nawierzchni podatnej na skutek przejścia osi 80 kN z uwzględnieniem kategorii pojazdów i grubości warstw ścieralnych	26
Rysunek 6.6 Wyniki obciążenia statycznego nawierzchni dla różnych konfiguracji osi na wielkość szkody zmęczeniowej	27
Rysunek 6.7 Funkcja wpływu dla naprężeń podłużnych od statycznie obciążonego koła w nawierzchni sztywnej	28
Rysunek 6.8 Zależność względnej szkody zmęczeniowej od rozstawu osi podwójnej	28
Rysunek 6.9 Typowe uszkodzenia w konstrukcji nawierzchni drogowej	29
Rysunek 6.10 Reakcja nawierzchni na obciążenie kołem samochodowym	30
Rysunek 6.11 Reakcja nawierzchni na działanie wielokrotnych obciążeń od kół samochodowych	30
Rysunek 7.1 Schemat wzajemnego oddziaływania pojazdu i nawierzchni drogi	33
Rysunek 7.2 Sinusoidalny profil drogi: a) jako funkcja drogi; b) jako funkcja czasu	34
Rysunek 7.3 Model pojazdu o dwóch stopniach swobody	35
Rysunek 8.1 Wykres częstotliwości występowania śladów kół samochodów na pasie ruchu	39
Rysunek 8.2 Krzywa zmęczenia	40
Rysunek 9.1 Rozkład procentowego udziału samochodów ciężarowych bez przyczep w grupie pojazdów ciężkich	48
Rysunek 9.2 Rozkład procentowego udziału samochodów ciężarowych z przyczepami w grupie pojazdów ciężkich	48
Rysunek 9.3 Wpływ udziału pojazdów przeciążonych na wielkości współczynników przeliczeniowych	50

1. Podstawa i zakres pracy

Praca wykonana została na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w ramach umowy nr 1228/2005 z dnia 13.09.2005 roku. Celem pracy jest opracowanie nowych współczynników przeliczeniowych grup pojazdów ciężkich, które będą wykorzystywane przy projektowaniu konstrukcji nawierzchni o dopuszczalnych naciskach 100 kN i 115 kN (10 t i 11,5 t).

2. Wstęp

Infrastruktura drogowa jest szczególnie eksponowaną częścią majątku narodowego i w znacznej mierze stanowi o wizerunku i prestiżu państwa. Z drugiej strony ma za zadanie służyć obywatelom w bezpiecznym komunikowaniu się oraz sprzyjać rozwojowi ekonomicznemu kraju, umożliwiając realizowanie zadań przewozowych. Stąd dbałość o jej stan techniczny leży w szeroko pojętym interesie narodowym. Spełnienie takich priorytetów warunkuje racjonalne wykorzystanie zasobów sieci drogowej poprzez odpowiedzialną administrację dostępnych środków, a także świadome wdrażanie celów strategicznych w postaci nowych inwestycji drogowych. U podstaw realizacji w/w celów leży określenie wielkości oddziaływań ruchu na konstrukcje nawierzchni drogowej.

Zmiany natężenia i struktury ruchu jakie zaszły po reformie ustrojowej państwa, a jak pokazują badania ewoluują obecnie, są efektem m. in. popularyzacji transportu indywidualnego oraz przeniesieniem zadań transportowych na pojazdy ciężkie. Analizując wyniki dotychczasowych pomiarów ruchu stwierdzono, że rezultatem wdrożenia optymalizacji przewozów zmieniła się także struktura pojazdów ciężarowych. Dodatkowo Polska wstępując w struktury Unii Europejskiej, zaakceptowała poruszanie się po drogach pojazdów o naciskach zwiększonych do 11,5 t na oś. Całość przytoczonych procesów determinuje konieczność ciągłej weryfikacji wielkości oddziaływań ruchu na nawierzchnię oraz wdrażania wskaźników adekwatnych do aktualnego i prognozowanego obciążenia ruchem.

Praca naukowo – badawcza *Aktualizacja wartości współczynników przeliczeniowych na osie 100 kN i 115 kN na podstawie analizy aktualnej wielkości i struktury ruchu drogowego* jest zbiorem analiz tych czynników, które bezpośrednio wynikają z poruszania się po drogach samochodów ciężarowych i autobusów. Natomiast istotę pracy stanowi określenie szkody zmęczeniowej nawierzchni, wywołanej poszczególnymi sylwetkami pojazdów, mającej reprezentację we współczynnikach przeliczeniowych grup pojazdów ciężkich.

3. Analiza zmian wielkości i struktury ruchu drogowego, które zaszły w Polsce od czasu opracowania KTKNPP z 1997 roku

W ustaleniu rzeczywistego oddziaływania ruchu na konstrukcję nawierzchni konieczne jest zebranie aktualnych danych o ruchu drogowym. Dla dróg krajowych są to wyniki Generalnego Pomiaru Ruchu (GPR). Przeprowadzany cyklicznie pomiar daje nie tylko informacje o aktualnym obciążeniu sieci drogowej, ale pozwala również zauważyć tendencje zmian ilościowych i strukturalnych ruchu. Jest też materiałem wyjściowym do formułowania prognoz oraz weryfikacji wcześniej postawionych. W pracy posłużono się wynikami GPR [19, 22, 23, 24] oraz prognozą ruchu drogowego z 2000 roku [21].

W analizach zmian ruchu na sieci dróg krajowych skupiono się głównie na samochodach ciężarowych i autobusach, jako że one stanowią istotę rozpatrywanego zagadnienia. Niemniej jednak jako uzupełnienie obrazu pewnych tendencji zmian ruchu, w Tablicach 3.1 i 3.2 znalazły się wszystkie kategorie pojazdów.

W Tablicach 3.1 i 3.2 oraz na Rysunku 3.1 przedstawiono zmiany średniego dobowego ruchu od 1990 roku. Wynika z nich zdecydowany spadek intensywności rozwoju ruchu samochodów ciężarowych bez przyczep. Ich wskaźnik wzrostu ruchu zmalał z 1,43 do 1,03 i był niższy niż prognozowany. Taką tendencję obserwuje się także wśród samochodów dostawczych, co sugeruje przeniesienie zadań przewozowych na pojazdy ciężarowe z przyczepami. W ciągu ostatnich dwudziestu lat nastąpił pięciokrotny wzrost natężenia ruchu samochodów ciężarowych z przyczepami, a prezentowane wyniki badań potwierdziły utrzymującą się wysoką tendencję wzrostową. Wskaźnik wzrostu ruchu samochodów ciężarowych z przyczepami w latach 2000 – 2005 wyniósł 1,49. Ma to istotne znaczenie w ocenie trwałości konstrukcji nawierzchni istniejących i projektowanych. Porównując dane pomiarowe i prognozowane nie stwierdzono wystarczająco dokładnych korelacji do określenia tendencji w dłuższym wymiarze czasowym.

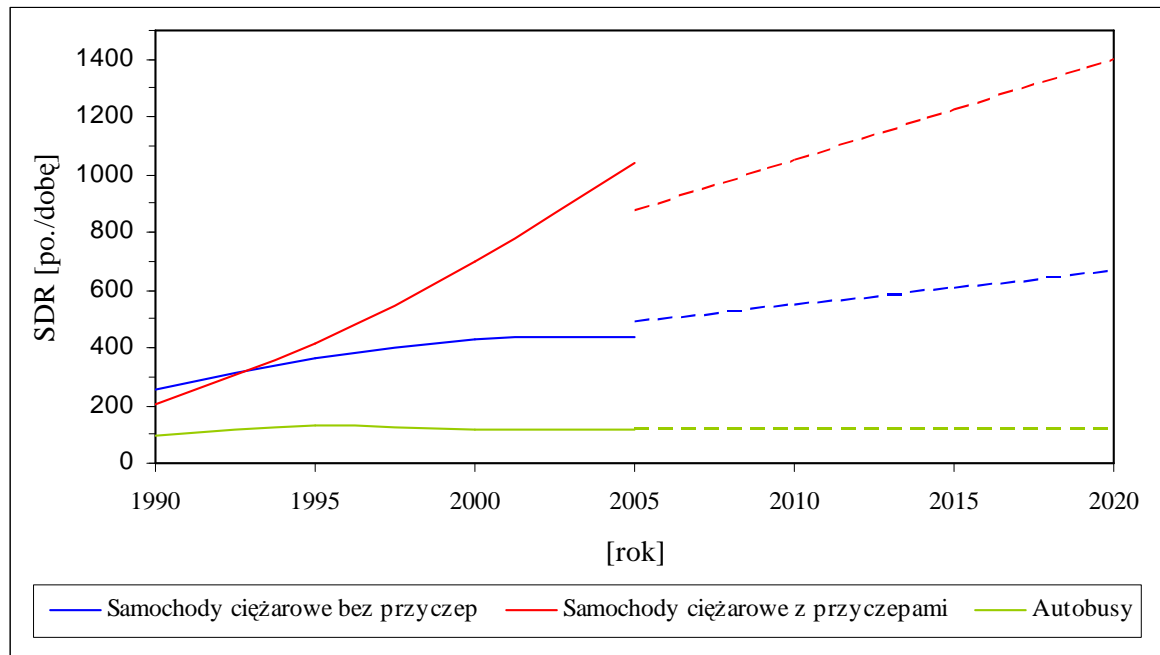
Z drugiej strony obserwuje się brak wzrostu natężenia ruchu autobusów na zamiejskiej sieci dróg krajowych. Pozwala to przypuszczać, iż prezentowane wartości nie będą ulegały w przyszłości znaczącym zmianom, a oddziaływanie tej kategorii ruchu na konstrukcje nawierzchni będzie dość dokładnie określone.

Tablica 3.1 Pomierzony i prognozowany rozwój ruchu w poszczególnych kategoriach pojazdów na drogach krajowych w latach 1990 - 2020

Kategorie pojazdów	SDR poszczególnych kategorii pojazdów w latach, poj./dobę				Prognoza SDR z 2000 [poj./dobę]			
	1990	1995	2000	2005	2005	2010	2015	2020
Motocykle	66	29	15	19	15	15	15	15
Samochody osobowe	1273	3811	4931	5792	5945	7447	9021	11011
Samochody dostawcze	326	562	801	822	961	1121	1282	1442
Samochody ciężarowe bez przyczep	256	367	428	440	488	548	603	663
Samochody ciężarowe z przyczepami	202	417	699	1040	874	1048	1223	1398
Autobusy	98	134	116	117	116	116	116	116
Ciągniki rolnicze	59	30	19	14	12	8	6	4
Ogółem	2280	5350	7009	8244	8411	10303	12266	14649

Tablica 3.2 Pomierzone i prognozowane wskaźniki wzrostu ruchu w poszczególnych kategoriach pojazdów na drogach krajowych w latach 1990 - 2020

Kategorie pojazdów	Wskaźniki			Prognozowane wskaźniki			
	1990/1995	1995/2000	2000/2005	2000/2005	2005/2010	2010/2015	2015/2020
Motocykle	0,44	0,52	1,27	1,00	1,00	1,00	1,00
Samochody osobowe	2,99	1,29	1,17	1,21	1,25	1,21	1,22
Samochody dostawcze	1,72	1,43	1,03	1,20	1,17	1,14	1,12
Samochody ciężarowe bez przyczep	1,43	1,17	1,03	1,14	1,12	1,10	1,10
Samochody ciężarowe z przyczepami	2,06	1,68	1,49	1,25	1,20	1,17	1,14
Autobusy	1,37	0,87	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00
Ciągniki rolnicze	0,51	0,63	0,74	0,63	0,67	0,75	0,67



Rysunek 3.1 Pomierzony i prognozowany rozwój ruchu samochodów ciężarowych i autobusów w latach 1990 - 2020

4. Aktualny ruch drogowy w Polsce.

W 2005 roku został przeprowadzony Generalny Pomiar Ruchu (GPR 2005) [19]. Objął on swoim zasięgiem aktualną sieć dróg krajowych administrowaną przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad. Rejestracja ruchu odbywała się sposobem ręcznym przez przeszkolonych obserwatorów. Liczono wszystkie pojazdy samochodowe, w podziale na 7 kategorii oraz rowery. W odróżnieniu od wszystkich poprzednich pomiarów generalnych, w pomiarze wykonywanym w 2005 roku nie rejestrowano pojazdów zaprzęgowych. Na podstawie danych uzyskanych z pomiarów określono następujące podstawowe charakterystyki:

- średni dobowy ruch (SDR) w 2005 roku,
- strukturę rodzajową ruchu,
- obciążenie ruchem sieci drogowej w kraju i województwach z uwzględnieniem podziału funkcjonalnego dróg,
- rozkład ruchu samochodowego na sieci drogowej,
- rozwój ruchu w latach 2000-2005,
- kategorie ruchu.

Analizując wyniki GPR 2005 należy stwierdzić, że udział poszczególnych kategorii pojazdów zależy od znaczenia funkcjonalnego dróg. Na drogach międzynarodowych większy jest procentowy udział samochodów ciężarowych, gdy na pozostałych drogach przeważają pojazdy innych kategorii, Tablica 4.1. Zanotowano też duże różnice w obciążeniu sieci dróg krajowych w poszczególnych województwach. Największe natężenie ruchu drogowego zaobserwowano w województwie śląskim – ponad 13000 poj./dobę. Duże obciążenie (powyżej 9000 poj./dobę) wykazują również województwa: małopolskie, łódzkie, wielkopolskie i mazowieckie.

Tablica 4.1 Struktura rodzajowa ruchu na drogach krajowych (GPR 2005)

Kategorie pojazdów	Procentowy udział poszczególnych kategorii pojazdów (%)		
	Drogi		
	międzynarodowe	pozostałe krajowe	krajowe ogółem
Motocykle	0,2	0,3	0,2
Samochody osobowe	67	73,2	70,3
Samochody dostawcze	9,7	10,2	10
Samochody ciężarowe bez przyczep	5,6	5,1	5,3
Samochody ciężarowe z przyczepami	16,1	9,3	12,6
Autobusy	1,3	1,6	1,4
Ciągniki rolnicze	0,1	0,3	0,2

Zdecydowanie największe obciążenie nawierzchni obserwuje się na drogach międzynarodowych, Tablica 4.2. Drogi te przenoszą naciski od pojazdów ciężkich zarówno w ruchu wewnętrznym jak i tranzytowym. Dodatkowo wstąpienie kraju do struktur Unii Europejskiej implikuje dalszy wzrost obciążenia nawierzchni. Dlatego też wielkość i struktura ruchu pojazdów ciężkich na tych drogach stanowić będzie główne źródło informacji potrzebnych do wyznaczenia współczynników przeliczeniowych.

Tablica 4.2 Średni dobowy ruch pojazdów samochodowych w 2005 roku na drogach międzynarodowych E oraz wzrost ruchu w odniesieniu do roku 2000

Numer drogi	SDR, poj./dobę	Wskaźnik wzrostu ruchu 2000/2005
E-28	11402	1,18
E-30	13439	1,05
E-36	6940	1,53
E-40	17192	1,28
E-65	10343	1,20
E-67	14092	1,23
E-75	18365	1,14
E-77	15077	1,17
E-261	11374	1,29
E-371	7652	1,23
E-372	11024	1,15
E-373	5927	1,14
Ogółem drogi E	13561	1,18

Z przedstawionych w Tablicy 4.3 danych wnioskuje się, że ok. 9300 km dróg krajowych (55%) obciążonych jest ruchem powyżej 6000 poj./dobę, z czego 1960 km dróg (12%) – ruchem powyżej 15000 poj./dobę. Ruch poniżej 2000 poj./dobę występuje tylko na ok. 850 km dróg krajowych, co stanowi 5% łącznej długości dróg krajowych objętych pomiarem. Około 92% sieci dróg międzynarodowych obciążonych jest ruchem powyżej 6000 poj./dobę, z czego ponad 32% - ruchem powyżej 15000 poj./dobę. Na drogach tych wystąpiły tylko nieliczne odcinki obciążone ruchem poniżej 4000 poj./dobę, stanowiące 1,7% długości sieci dróg.

Tablica 4.3 Długości dróg krajowych w podziale funkcjonalnym w przedziałach średniego dobowego ruchu samochodów w 2005 roku

Przedział SDR, poj./dobę	Długość dróg					
	Międzynarodowe		Pozostałe krajowe		Krajowe ogółem	
	km	%	km	%	km	%
< 2000	9	0,2	850	7,2	859	5,1
2000–3999	77	1,5	3485	29,7	3562	21,3
4000–5999	314	6,3	2731	23,3	3045	18,2
6000–9999	1308	26,3	3147	26,8	4455	26,7
10000–14999	1665	33,5	1175	10,0	2840	17,0
15000–19999	400	8,0	73	0,6	473	2,8
20000–24999	827	16,6	228	2,0	1055	6,3
25000–29999	209	4,2	27	0,2	236	1,4
≥ 30000	170	3,4	26	0,2	196	1,2
Suma	4979	100,0	11742	100,0	16721	100,0

5. Struktura ruchu pojazdów ciężkich oraz rozkład obciążeń na osie pojazdów


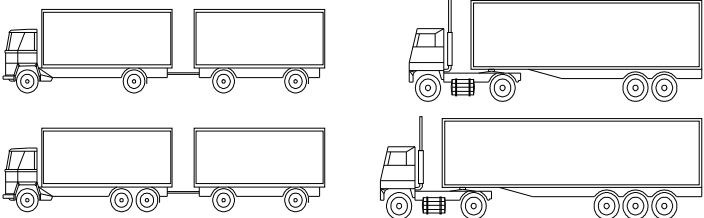

5.1 Wprowadzenie

Obowiązująca metodyka wyznaczania liczby osi obliczeniowych wraz z aktualnymi wielkościami współczynników przeliczeniowych zawarta jest w „Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych” (opracowanie IBDiM na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych, 1997r.) [4] (Tablica 5.1) oraz w „Rozporządzeniu 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. Nr 43 z 1999r., poz. 430) [13].

Jako kryterium obciążenia ruchem w Katalogu przyjęto prognozowany Średni Dobowy Ruch (SDR) pojazdów ciężkich w przekroju drogi, w dziesiątym roku po oddaniu drogi do eksploatacji. Wyróżniono trzy grupy pojazdów:

- samochody ciężarowe bez przyczep,
- samochody ciężarowe z przyczepami,
- autobusy.

Tablica 5.1 Współczynniki przeliczeniowe grup pojazdów na osie obliczeniowe 100 kN

Rodzaj pojazdu	Współczynnik przeliczeniowy na osie 100 kN
<p>Samochody ciężarowe bez przyczep</p> 	$r_1 = 0,109$
<p>Samochody ciężarowe z przyczepami</p> 	$r_2 = 1,245^{1)}$ $r_2 = 1,950^{2)}$
<p>Autobusy</p> 	$r_3 = 0,594$

¹⁾ Wartość współczynnika przy mniejszym niż 8% udziale pojazdów o nacisku osi na jezdnię 115 kN.

²⁾ Wartość współczynnika przy od 8% do 20% udziale pojazdów o nacisku osi na jezdnię 115 kN.

Prezentowany sposób segregacji samochodów ciężarowych, wynikający z przeprowadzanych cyklicznie pomiarów GPR, nie pozwala niestety na analizę struktury ruchu pod względem liczby występujących sylwetek pojazdów. Dodatkowo niezbędnymi do wyznaczenia współczynników przeliczeniowych sylwetek pojazdów ciężkich są informacje o naciskach wywołanych przez poszczególne osie zawieszenia.

Dane tego typu można uzyskać m.in. ze stacji ważenia pojazdów, w których rejestrowane są jednocześnie:

- sylwetka pojazdu,
- liczba osi rejestrowanego pojazdu,
- naciski poszczególnych osi,
- masa całkowita.

5.2 Sposoby ważenia pojazdów

5.2.1 Wagi stacjonarne do pomiarów automatycznych

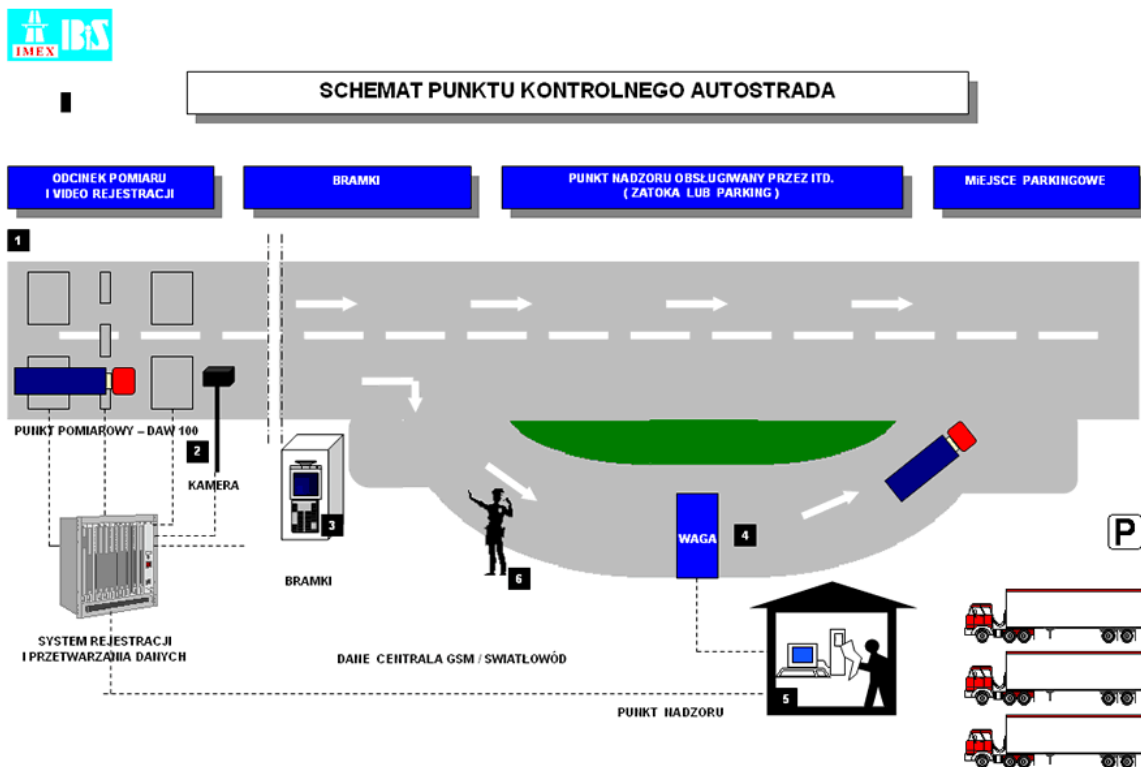
W Polsce istnieje sześć stacji tego typu, pięć administrowanych przez Inspekcję Transportu Drogowego oraz jedna będąca własnością Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad.

Tablica 5.2 Lokalizacja stałych punktów kontroli pojazdów

Lp.	Miejscowość	Województwo	Nr drogi	Km
1	Wola Dębińska	małopolskie	4	483+100
2	Kaszewy	łódzkie	2	472+400
3	Byczyna	opolskie	11	105+000
4	Siedlec	wielkopolskie	2	210+000
5	Niepiekła	mazowieckie	7	295+500
6	Adamowice	mazowieckie	8	36+500

Stacje służą głównie do kontroli pojazdów o nienormatywnych naciskach osi lub przekroczonych dopuszczalnych masach całkowitych. Kontrola odbywa się według następującego schematu (Rysunek 5.1):

- umiejscowiona przed stanowiskiem kontrolnym (ok. 1 km) waga selekcyjna rejestruje poszczególne naciski osi składowych pojazdów ciężkich,
- kamera umieszczona w pobliżu wagi selekcyjnej (Rysunek 5.2) rejestruje obraz przejeżdżających przez wagę samochodów,
- informacje z wagi i kamery przekazywane są do monitora kontrolnego,
- na podstawie obserwacji obrazu na monitorze osoba kontrolująca przekazuje informacje o ewentualnych przekroczeniach przepisów do osoby uprawnionej do zatrzymania pojazdów (Inspekcja Transportu Drogowego, Policja lub organy celne),
- pojazdy zatrzymane kierowane są na wagę dynamiczną, gdzie kontroluje się naciski osi i ciężar łączny samochodów z ładunkiem.



Rysunek 5.1 Schemat punktu pomiarowego ważenia pojazdów, (IMEX-Bis Sp. z o.o.)

Wagi wstępne mogą również służyć do zbierania informacji statystycznych o typach sylwetek pojazdów lub rozkładach prędkości samochodów osobowych i ciężarowych. Pozwalają także grupować pojazdy w określone przedziały wartości obciążeń osi i mas całkowitych, co z kolei pomocne jest w ustaleniu faktycznego wykorzystania możliwości załadunku pojazdów.



Rysunek 5.2 Obraz z kamery selekcyjnej, (IMEX-Bis Sp. z o.o.)

5.2.2 Wagi przenośne

Wagi przenośne wykorzystywane są z reguły do wrywkowych kontroli pojazdów podejrzanych o przeciążenia lub weryfikacji obciążeń pojazdów ciężarowych wjeżdżających na teren budowy. Produkowane obecnie systemy ważenia umożliwiają zarówno pomiar statyczny jak i dynamiczny z maksymalną prędkością pomiarową 6 km/h.



Rysunek 5.3 Przenośny system ważenia, (IMEX-Bis Sp. z o.o.)

5.2.3 Ważenie pojazdów w ruchu

Stosowana w Polsce procedura kontroli pojazdów wydaje się być nieefektywna z kilku powodów:

- średni czas ważenia jednego pojazdu wynosi około 20 min, stąd możliwa jest do przeprowadzenia stosunkowo niewielka liczba kontroli,
- przeprowadzane kontrole mogą powodować utrudnienia w ruchu i powstanie zagrożeń na drodze zwłaszcza przy dużym natężeniu ruchu,
- komunikowanie się kierowców między sobą sprawia, iż w chwilę po pojawieniu się kontrolerów, ruch pojazdów ponadnormatywnych ustaje.

Alternatywą tej sytuacji jest zastosowanie systemów ważenia pojazdów w ruchu – WIM (Weigh In Motion). Pojęcie to należy rozumieć jako rejestrację ciężaru całego pojazdu oraz obciążeń składowych przypadających na jego osie podczas jego przejazdu z dowolną prędkością w danym przekroju drogi. Wśród zalet takich systemów należy wymienić:

- brak konieczności zatrzymania pojazdów,
- możliwy pomiar w niemal pełnym zakresie prędkości,
- rejestracja wideo,
- kontrola na każdym pasie drogi,
- możliwość centralnego monitoringu i zbierania danych.

Poniżej przedstawiono wizualizację schematu punktu pomiarowego WIM (Rysunek 5.4) oraz komputerową prezentację informacji uzyskanych z pomiaru (Rysunek 5.5).



Rysunek 5.4 Wizualizacja punktu pomiarowego WIM, (Dienst Weg – en Waterbouwkunde)



Rysunek 5.5 Obraz danych komputerowych uzyskanych z punktu pomiarowego WIM, (Dienst Weg – en Waterbouwkunde)

5.3 Charakterystyka przepisów dotyczących dopuszczalnych nacisków na osie i mas pojazdów

Szczegółowe przepisy dotyczące dopuszczalnych nacisków na osie oraz mas całkowitych pojazdów opisuje „Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. o zmianie ustawy o drogach publicznych oraz o zmianie niektórych innych ustaw” (Dz. U. nr 179 z 2005 r., poz. 1486) [17]. Czytamy w niej:

4. Minister właściwy do spraw transportu ustala, w drodze rozporządzenia, wykaz dróg krajowych, po których mogą poruszać się pojazdy o dopuszczalnym nacisku pojedynczej osi napędowej do 11,5 t, mając na uwadze stan techniczny dróg oraz ochronę dróg przed zniszczeniem.

5. Minister właściwy do spraw transportu ustala, w drodze rozporządzenia, wykaz dróg krajowych oraz dróg wojewódzkich, po których mogą poruszać się pojazdy o dopuszczalnym nacisku pojedynczej osi do 10 t, mając na uwadze potrzebę zapewnienia ruchu tranzytowego.

6. Drogi inne niż określone na podstawie ust. 4 i 5 stanowią sieć dróg, po których mogą poruszać się pojazdy o dopuszczalnym nacisku pojedynczej osi do 8 t.

Zawarte w ustawie ograniczenia dotyczące nacisków na osie zestawiono w Tablicy 5.3.

Tablica 5.3 Dopuszczalne naciski osi i zestawów osi dla dróg 8 t, 10 t oraz 11,5 t

Lp.	Konfiguracja osi	Dopuszczalne naciski osi i zestawów osi, t		
		droga 8,0 t	droga 10,0 t	Droga 11,5 t
1	Pojedyncza oś nienapędowa	8,0	10,0	10,0
2	Podwójna oś przyczep i naczep, przy odległości między osiami do 1,0 m	8,8	11,0	11,0
3	Podwójna oś przyczep i naczep, przy odległości pomiędzy osiami 1,0 – 1,3 m	13,0	14,4	16,0
4	Podwójna oś przyczep i naczep, przy odległości pomiędzy osiami 1,3 – 1,8 m	14,5	16,0	18,0
5	Potrójna oś przyczep i naczep, przy odległości pomiędzy osiami do 1,3 m	19,5	21,0	21,0
6	Potrójna oś przyczep i naczep, przy odległości pomiędzy osiami 1,3 – 1,4 m	21,8	24,0	24,0
7	Pojedyncza oś napędowa pojazdów samochodowych	8,0	10,0	11,5
8	Podwójna oś napędowa pojazdów samochodowych, przy odległości pomiędzy osiami 1,0 – 1,3 m	13,0	14,4	16,0
9	Podwójna oś napędowa pojazdów samochodowych, przy odległości pomiędzy osiami 1,3 – 1,8 m	14,5	16,0	18,0
10	Podwójna oś napędowa pojazdów samochodowych, przy odległości pomiędzy osiami 1,0 – 1,3 m wyposażona w koła bliźniacze i zawieszenie pneumatyczne	15,2	17,0	19,0

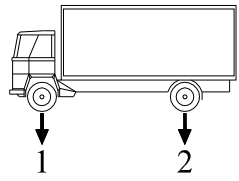
Dopuszczalna masa całkowita pojazdu nie może przekraczać w przypadku:

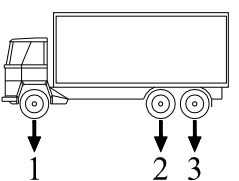
- 1) pojazdu składowego zespołu pojazdów:
 - a) przyczepy dwuosiove - 18 ton,
 - b) przyczepy trzyosiowe - 24 tony;
- 2) zespołu pojazdów mających 5 lub 6 osi:
 - a) dwuosiovy pojazd samochodowy i trzyosiowa przyczepa - 40 ton,
 - b) trzyosiowy pojazd samochodowy i dwuosiova przyczepa - 40 ton;
- 3) pojazdów członowych mających 5 lub 6 osi:
 - a) dwuosiovy ciągnik siodłowy i trzyosiowa naczepa - 40 ton,
 - b) trzyosiowy ciągnik siodłowy i trzyosiowa naczepa - 40 ton,
 - c) trzyosiowy ciągnik siodłowy i trzyosiowa naczepa przewożąca 40-stopowy kontener ISO w transporcie kombinowanym - 44 tony;
- 4) zespołu pojazdów mających 4 osie, składających się z dwuosiovego pojazdu samochodowego i dwuosiovej przyczepy - 36 ton;
- 5) pojazdu członowego mającego 4 osie, składającego się z dwuosiovego ciągnika siodłowego i dwuosiovej naczepy, jeżeli odległość pomiędzy osiami naczepy:
 - a) wynosi co najmniej 1,3 m, ale nie więcej niż 1,8 m - 36 ton,
 - b) jest większa niż 1,8 m - 36 ton + 2 tony tolerancji, jeżeli oś napędowa jest wyposażona w opony bliźniacze i zawieszenie pneumatyczne lub równoważne;
- 6) dwuosiovego pojazdu samochodowego - 18 ton;
- 7) trzyosiowego pojazdu samochodowego - 25 ton albo 26 ton, jeżeli oś napędowa jest wyposażona w opony bliźniacze i zawieszenie pneumatyczne lub równoważne, albo jeżeli każda z osi napędowych jest wyposażona w opony bliźniacze, a maksymalny nacisk każdej z tych osi nie przekracza 9,5 tony;
- 8) czteroosiowego pojazdu samochodowego z dwoma osiami kierowanymi - 32 tony, jeżeli oś napędowa jest wyposażona w opony bliźniacze i zawieszenie pneumatyczne lub równoważne, albo jeżeli każda z osi napędowych jest wyposażona w opony bliźniacze, a maksymalny nacisk każdej z tych osi nie przekracza 9,5 tony;
- 9) trzyosiowego autobusu przegubowego - 28 ton.

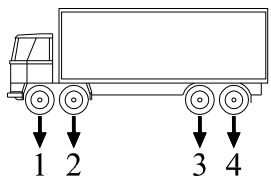
5.4 Zestawienie sylwetek pojazdów i przypisanych im limitów wagowych

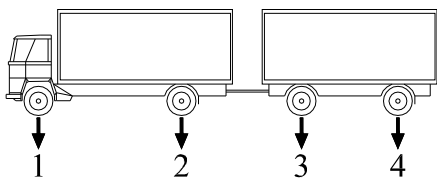
Poniżej zaprezentowano różnorodność sylwetek pojazdów poruszających się po drogach. Każdej z nich przypisano obciążenia wynikające z maksymalnych dopuszczalnych mas całkowitych oraz dopuszczalnych obciążeń osi, przyjmując najniekorzystniejszą pod względem oddziaływania na nawierzchnie konfigurację obciążenia. Jako kryterium rozważań przyjęto ustawę [17] z uwzględnieniem podziału na drogi o dopuszczalnych naciskach na osie wynoszącymi 10 i 11,5 tony (drogi krajowe).

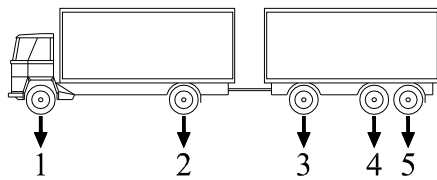
Tablica 5.4 Sylwetki pojazdów samochodowych wraz z konfiguracją obciążenia osi

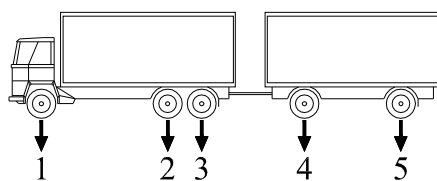
2 P (11)			
	Numer osi	1	2
	Droga 10t, t	8,0	10,0
	Droga 11,5t, t	6,5	11,5
	Masa całk., t	18,0	

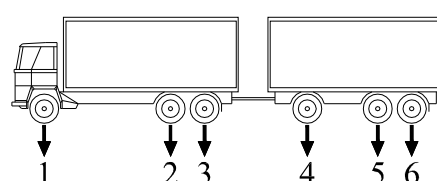
3 P (12)				
	Numer osi	1	2	3
	Droga 10t, t	10,0	7,5	7,5
	Droga 11,5t, t	10,0	7,5	7,5
	Masa całk., t	25,0		

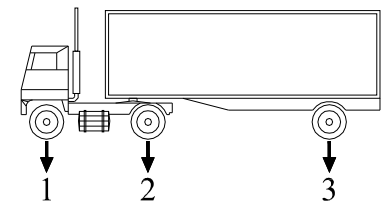
4 P (22)					
	Numer osi	1	2	3	4
	Droga 10t, t	7,5	7,5	8,5	8,5
	Droga 11,5t, t	6,5	6,5	9,5	9,5
	Masa całk., t	32,0			

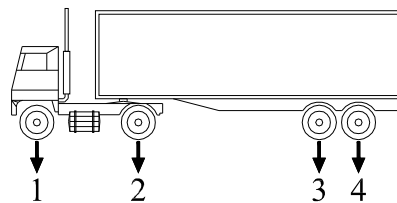
2 P + 2 P (111)					
	Numer osi	1	2	3	4
	Droga 10t, t	8,0	10,0	8,0	10,0
	Droga 11,5t, t	6,5	11,5	8,0	10,0
	Masa całk., t	36,0			

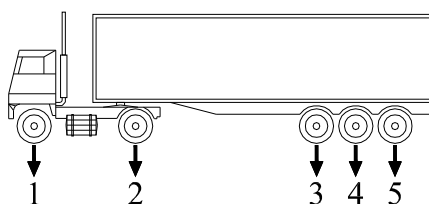
2 P + 3 P (112)						
	Numer osi	1	2	3	4	5
	Droga 10t, t	8,0	10,0	10,0	6,0	6,0
	Droga 11,5t, t	6,5	11,5	10,0	6,0	6,0
	Masa całk., t	40,0				

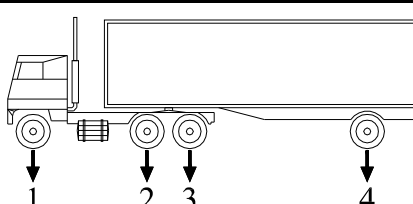
3 P + 2 P (121)						
	Numer osi	1	2	3	4	5
	Droga 10t, t	10,0	7,5	7,5	5,0	10,0
	Droga 11,5t, t	10,0	7,5	7,5	5,0	10,0
	Masa całk., t	40,0				

3 P + 3 P (1212)							
	Numer osi	1	2	3	4	5	6
	Droga 10t, t	10,0	7,5	7,5	10,0	2,5	2,5
	Droga 11,5t, t	10,0	7,5	7,5	10,0	2,5	2,5
	Masa całk., t	40,0					

2 C + 1 N (111)				
	Numer osi	1	2	3
	Droga 10t, t	10,0	10,0	10,0
	Droga 11,5t, t	10,0	11,5	10,0
	Masa całk., t	Brak przepisów		

2 C + 2 N (112)					
	Numer osi	1	2	3	4
	Droga 10t, t	10,0	10,0	8,0	8,0
	Droga 11,5t, t	10,0	11,5	7,25	7,25
	Masa całk., t	36,0			

2 C + 3 N (113)						
	Numer osi	1	2	3	4	5
	Droga 10t, t	10,0	10,0	6,66	6,66	6,66
	Droga 11,5t, t	10,0	11,5	6,16	6,16	6,16
	Masa całk., t	40,0				

3 C + 1 N (121)					
	Numer osi	1	2	3	4
	Droga 10t, t	10,0	8,0	8,0	10,0
	Droga 11,5t, t	10,0	9,0	9,0	10,0
	Masa całk., t	Brak przepisów			

3 C + 2 N (122)						
	Numer osi	1	2	3	4	5
	Droga 10t, t	10,0	7,0	7,0	8,0	8,0
	Droga 11,5t, t	10,0	6,0	6,0	9,0	9,0
	Masa całk., t	40,0				

3 C + 3 N (123)							
	Numer osi	1	2	3	4	5	6
	Droga 10t, t	10,0	5,0	5,0	8,0	8,0	8,0
	Droga 11,5t, t	10,0	5,0	5,0	8,0	8,0	8,0
	Masa całk., t	44,0					

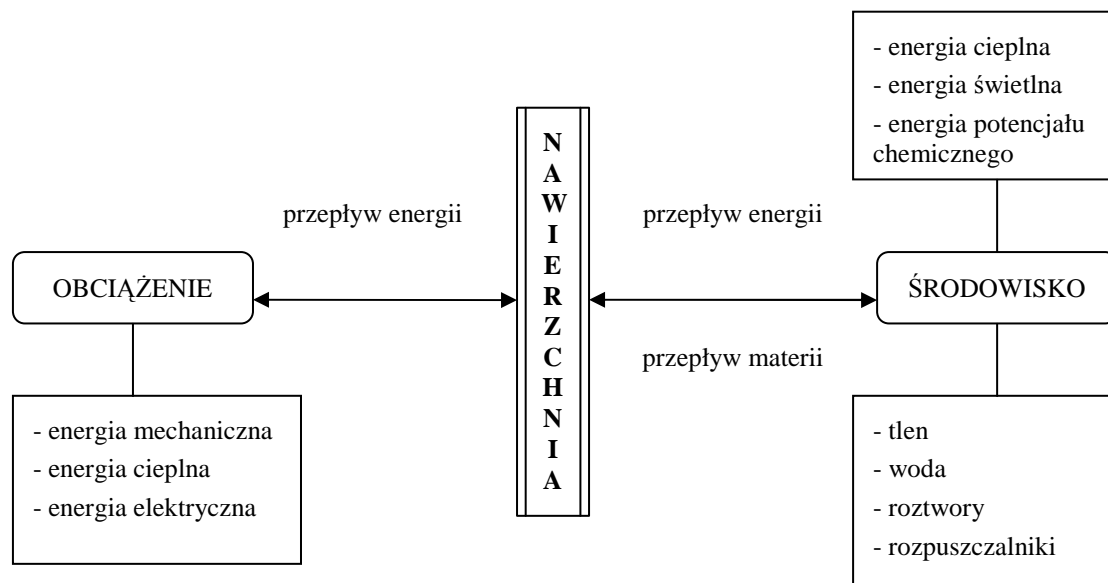
2 A			
	Numer osi	1	2
	Droga 10t, t	6,5	11,5
	Droga 11,5t, t	6,5	11,5
	Masa całk., t	18,0	

3 A				
	Numer osi	1	2	3
	Droga 10t, t	6,5	11,5	10,0
	Droga 11,5t, t	6,5	11,5	10,0
	Masa całk., t	28,0		

6. Oddziaływanie pojazdu na nawierzchnię drogi

6.1 Wprowadzenie

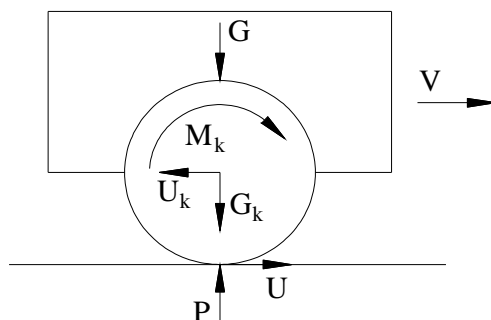
Nawierzchnie drogowe w trakcie eksploatacji podlegają ciągłym oddziaływaniom od obciążeń ruchu kołowego oraz czynników środowiska, Rysunek 6.1.



Rysunek 6.1 Czynniki działające na nawierzchnie asfaltową

Obciążenie nawierzchni zmienia się w szerokim zakresie – od statycznych długotrwałych, wielokrotnie powtarzających się do krótkotrwałych obciążeń dynamicznych przekazywanych przez koła przejeżdżających pojazdów. Również wartość tych obciążeń jest zróżnicowana i zależy od kategorii pojazdów poruszających się po drodze. Największe obciążenie pochodzi od pojazdów ciężarowych i autobusów. Obciążenie od motocykli, samochodów osobowych oraz ciągników rolniczych jest nieznaczne i nieistotnie wpływa na nośność konstrukcji nawierzchni drogowej.

Główne siły obciążające nawierzchnię to prostopadła do nawierzchni siła P pochodząca od ciężaru G pojazdu samochodowego oraz siła U działająca równoległe do nawierzchni, Rysunek 6.2. Głównym zadaniem nawierzchni jest przekazanie w/w sił na podłoże gruntowe.



Rysunek 6.2 Układ sił działających na nawierzchnię od obciążenia kołem

Oznaczenia użyte na Rysunku 6.2:

V – prędkość ruchu pojazdu,

G – ciężar pojazdu,

M_k – moment siły na kole,

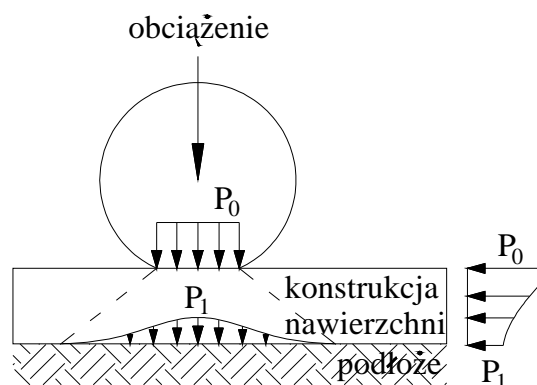
U_k – siła pozioma na kole,

G_k – ciężar koła,

P – reakcja podłoża,

U – siły styczne.

Uproszczone wyjaśnienie rozkładu nacisku koła przez konstrukcję nawierzchni na podłoże gruntowe przedstawiono na Rysunku 6.3. Obciążenie od koła w postaci pionowego ciśnienia opony P_0 przejmowane jest przez warstwy konstrukcji nawierzchni i rozkładane na większą powierzchnię tak, że maksymalne naprężenie przekazywane na podłoże gruntowe wynosi P_1 . Przez dobór materiałów i grubości warstw konstrukcji można zmniejszyć na tyle ciśnienie, że z łatwością zostanie ono przeniesione przez podłoże gruntowe.



Rysunek 6.3 Rozkład nacisku od obciążenia kołem pojazdu na konstrukcje nawierzchni drogowej i na podłoże gruntowe

Wymagania stawiane nawierzchni drogowej to:

- nośność czyli zdolność do przeniesienia obciążenia od ruchu bez nadmiernego i zbyt szybkiego zniszczenia,
- równość jako cecha nawierzchni odpowiadająca za komfort i bezpieczeństwo podróżowania,
- szorstkość będąca elementem związanym z bezpieczeństwem,
- trwałość czyli niezmienność wymienionych cech w założonym okresie eksploatacji nawierzchni.

Wymaganiem ważnym zawsze, ale ostatnio szczególnie podnoszonym, jest minimalizacja uciążliwości dla środowiska, a głównie zmniejszenie emisji spalin i hałasu. W znacznym stopniu zmniejszenie wpływu na środowisko jest związane ze spełnieniem trzech pierwszych, podstawowych wymagań. Jeśli bowiem droga ma równą, szorstką nawierzchnię, zapewniającą komfort i odpowiednią płynność jazdy, to uciążliwość dla środowiska jest znacznie mniejsza. Hałaśliwość i emisja spalin są znacznie mniejsze na autostradzie niż na miejskiej, zatłoczonej ulicy.

Na niszczenie nawierzchni wpływają dwa czynniki:

- środowisko
- ruch pojazdów.

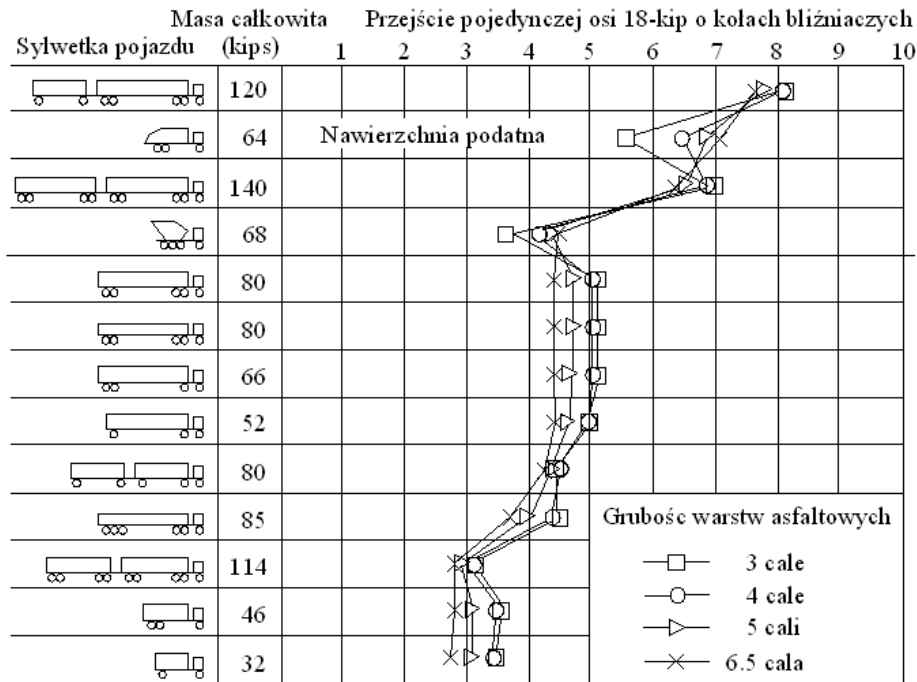
Czynniki środowiskowe oddziałują na nawierzchnię niezależnie od obciążenia ruchem pojazdów, a niektóre z nich powodują też samoistne niszczenie materiałów nawierzchni, także bez oddziaływania pojazdów. Wśród nich wyróżnia się czynniki klimatyczne jak np. niska temperatura, powodująca skurcz termiczny nawierzchni i jej spękania niskotemperaturowe, czy też rozsadzanie nawierzchni w wyniku zwiększającej się objętości zamarzającej wody. Innym przykładem nieuniknionej destrukcji nawierzchni jest oddziaływanie środków chemicznych stosowanych w zimowym utrzymaniu dróg.

Jednocześnie główną przyczynę pewnych rodzajów uszkodzeń nawierzchni stanowią przejazdy pojazdów. Im większa masa pojazdu, tym większe oddziaływanie niszczące na nawierzchnię. Pod uwagę bierze się zatem nie tylko natężenie ruchu, lecz także, a niekiedy przede wszystkim, ciężar wyrażany obciążeniem osi. Stąd istotnym jest respektowanie limitów dopuszczalnych nacisków na osie. W wielu krajach, także i w Polsce, część pojazdów ciężarowych jest przeciążona, co powoduje dodatkowo ponadnormatywne, zwiększone oddziaływanie na nawierzchnię. Jeśli stan nawierzchni sieci drogowej jest dobry, to zwiększenie zniszczeń wskutek przeciążenia pojazdów jest mniejsze niż wtedy, gdy nawierzchnia jest w złym stanie technicznym i nierówna. W tym wypadku dochodzi bowiem zwiększenie agresywności obciążenia pojazdem wskutek efektu oddziaływania dynamicznego.

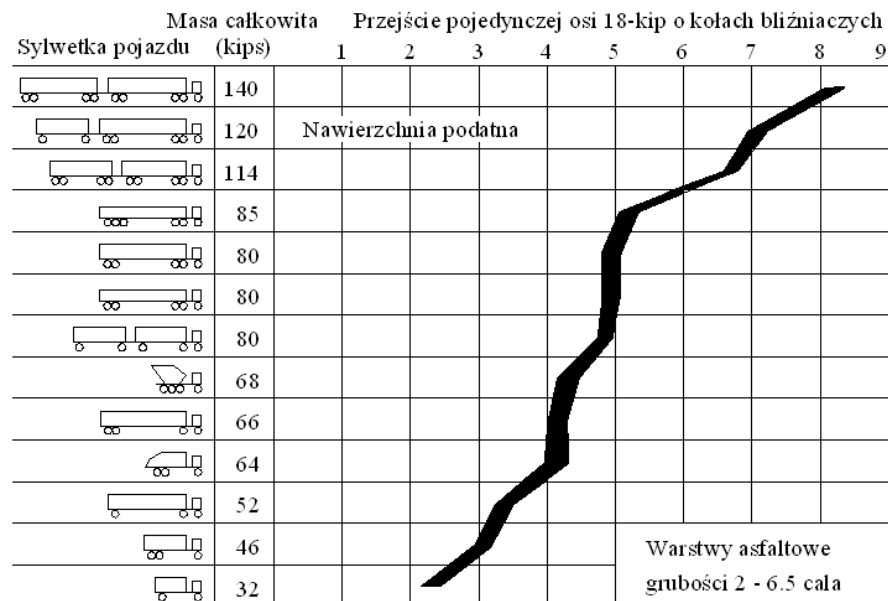
6.2 Obciążenie statyczne [5]

6.2.1 Masa całkowita pojazdu

Szeroki zakres studiów na temat oddziaływań pojazdu i nawierzchni przeprowadzony został w programie NCHRP *Effects of heavy vehicle characteristics on pavement response and performance* [7]. W badaniach posłużono się sylwetkami pojazdów ciężarowych występującymi powszechnie na terenie Stanów Zjednoczonych, których wielkości oddziaływań na nawierzchnie zilustrowano na Rysunkach 6.4, 6.5. Jako poziom odniesienia przyjęto przejście osi 80 kN (18 kip, 1 kip = 4448,22 N, jednostka siły USA) o kołach bliźniaczych.



Rysunek 6.4 Względna teoretyczna szkoda zmęczeniowa nawierzchni podatnej spowodowana przejściem osi 80 kN z uwzględnieniem kategorii pojazdów i grubości warstw ściernych



Rysunek 6.5 Względne teoretyczne powstawanie kolein w nawierzchni podatnej na skutek przejścia osi 80 kN z uwzględnieniem kategorii pojazdów i grubości warstw ściernych

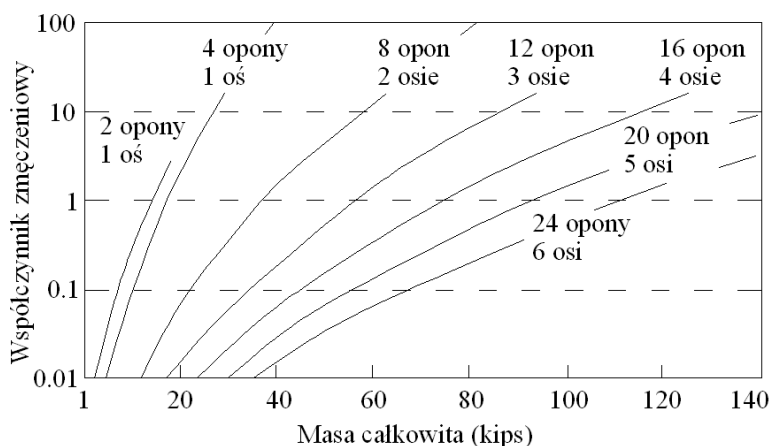
Analiza wykresów prowadzi do następujących wniosków:

- w ocenie szkody zmęczeniowej nawierzchni zasadniczą rolę odgrywa obciążenie pojedynczej osi, a nie całkowita masa pojazdu. Przykładem może być 3 - osiowy samochód ciężarowy o masie całkowitej 64 kips, który powoduje 2 – krotnie większą szkodę zmęczeniową niż 9 – osiowy zespół pojazdów o łącznej masie 114 kips o relatywnie mniej obciążonych osiach;

- masa całkowita pojazdów jest dominującym czynnikiem w procesie powstawania kolein, a obciążenie pojedynczych osi nie ma tu znaczenia; wynika to z analiz opartych na przyjętym liniowym lepkosprężystym modelu powstawania kolein;
- zatem w formułowaniu zasad wytrzymałości zmęczeniowej kluczowym staje się obciążenie pojedynczych osi, a marginalnym całkowita masa pojazdu;
- ocena szkodliwości poszczególnych typów sylwetek pojazdów pozostaje niezależna od nośności konstrukcji nawierzchni; dla różnych grubości warstw ścieralnych obserwuje się zbliżony charakter krzywych agresywności sylwetek pojazdów.

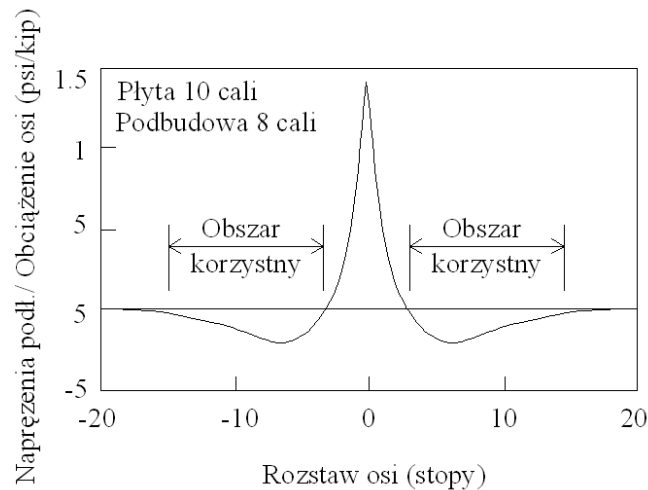
6.2.2 Konfiguracja osi

Wykonano wiele badań na temat wpływu konfiguracji osi (oś pojedyncza, podwójna, potrójna) na wielkość naprężeń i odkształceń powstających w konstrukcji nawierzchni. Wyniki jednego z takich badań przedstawia Rysunek 6.6, na którym zilustrowano zależność pomiędzy sposobem przekazywania obciążeń na nawierzchnię a jej trwałością zmęczeniową.



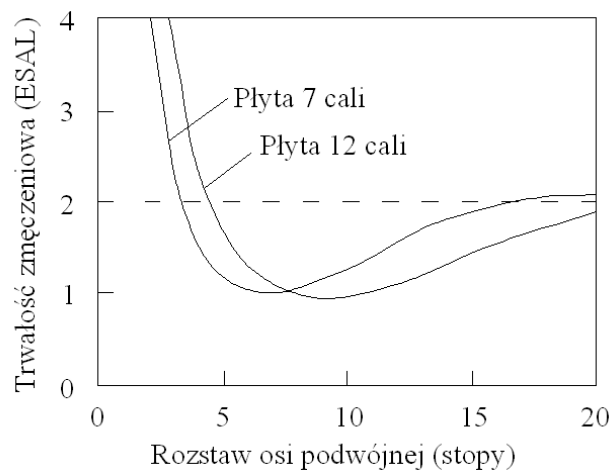
Rysunek 6.6 Wyniki obciążenia statycznego nawierzchni dla różnych konfiguracji osi na wielkość szkody zmęczeniowej

Generalnie wykazano mniejszą agresywność osi podwójnych i potrójnych przy tym samym obciążeniu osi oraz większe możliwości przewozowe pojazdów wyposażonych w takie osie. Efekt ten wytłumaczyć można analizując funkcję wpływu dla naprężeń podłużnych od statycznie obciążonego koła w nawierzchni sztywnej, Rysunek 6.7.



Rysunek 6.7 Funkcja wpływu dla naprężeń podłużnych od statycznie obciążonego koła w nawierzchni sztywnej

Dla osi położonych relatywnie blisko siebie zachodzi zjawisko superpozycji tj. nakładania się funkcji wpływu. Jeżeli odległości między osiami znajdują się w obszarze korzystnym (Beneficial Range, Rysunek 6.7) to naprężenia rozciągające w spodzie warstw asfaltowych pod osią rozpatrywaną, są częściowo kompensowane przez naprężenia ściskające powstałe od osi sąsiedniej. Wyznaczenie zakresu odległości pomiędzy osiami, w granicach którego oddziałują korzystnie, warunkowane jest znajomością konstrukcji nawierzchni. Działanie to pozwala na dopuszczenie do ruchu pojazdów o zwiększonych naciskach osi, przy założeniu zachowania wyznaczonych rozstawów osi wielokrotnych. Na Rysunku 6.8 przedstawiono zależność wielkości szkody zmęczeniowej od odległości osi podwójnych. Dla przedstawionych nawierzchni sztywnych rozstaw osi w odległość 7 ft (2.1m) redukuje oddziaływanie niszczące o połowę.

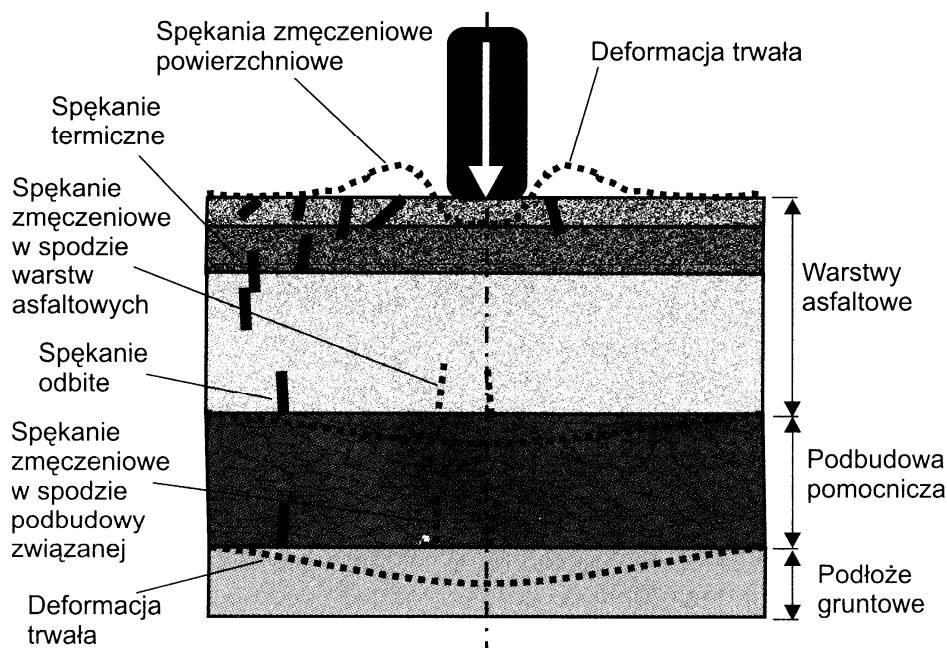


Rysunek 6.8 Zależność względnej szkody zmęczeniowej od rozstawu osi podwójnej

6.3 Rodzaje uszkodzeń nawierzchni asfaltowej

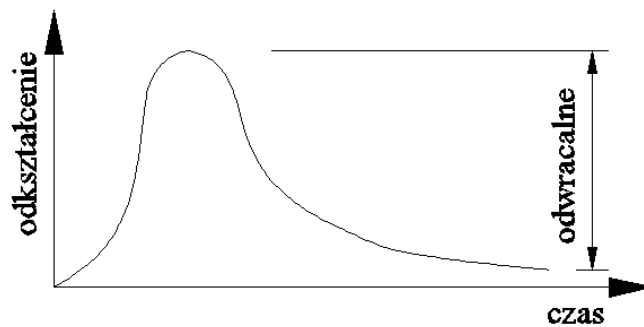
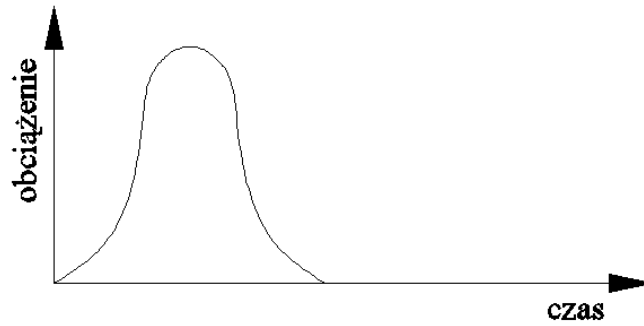
Wyróżnia się następujące rodzaje uszkodzeń nawierzchni asfaltowej (Rysunek 6.9):

- deformacje trwałe
 - lepkoplastyczne warstw asfaltowych (koleiny lub tarki),
 - strukturalne – odkształcenie podłoża;
- spękania
 - zmęczeniowe (ruch pojazdów),
 - zmęczeniowe termiczne (cykle termiczne),
 - termiczne (niska temperatura),
 - odbite (z niższych warstw);
- uszkodzenia powierzchniowe.

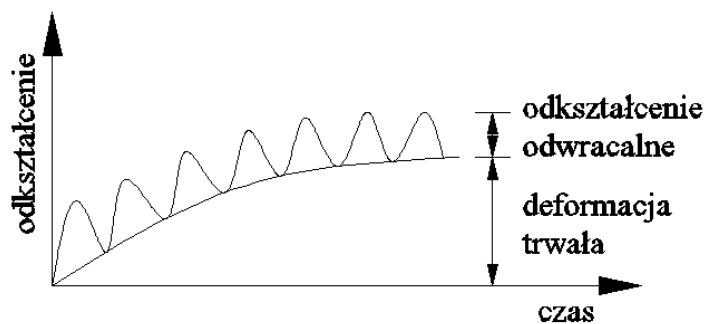


Rysunek 6.9 Typowe uszkodzenia w konstrukcji nawierzchni drogowej

Głównymi uszkodzeniami z punktu widzenia oddziaływań ruchu na konstrukcje nawierzchni są odkształcenia strukturalne i spękania zmęczeniowe. Zjawisko tworzenia się kolein strukturalnych związane jest z procesem akumulacji deformacji trwałych w różnych warstwach konstrukcji nawierzchni pod wpływem obciążeń dynamicznych od kół pojazdów samochodowych, Rysunek 6.10, 6.11.



Rysunek 6.10 Reakcja nawierzchni na obciążenie kołem samochodowym



Rysunek 6.11 Reakcja nawierzchni na działanie wielokrotnych obciążeń od kół samochodowych

Z powyższych rysunków wynika, że deformacja nawierzchni od impulsu pojedynczego obciążenia jest prawie w całości odwracalna. Jednak rozpatrując efekt wielokrotnego obciążenia dużą liczbą impulsów sumaryczna deformacja trwała jest już znacząca. Deformacje strukturalne dotyczą deformacji trwałych całej konstrukcji nawierzchni, wszystkich jej warstw wraz z podłożem gruntowym.

Warstwy nawierzchni drogowych wykonane z mieszanek mineralno – asfaltowych mogą również ulegać zniszczeniu wskutek zmęczenia, gdy zostaną poddane działaniu powtarzającego się wielokrotnie naprężenia (odkształcenia), mniejszego od ich wytrzymałości. Wielokrotnie powtarzające się ugięcia nawierzchni asfaltowej na skutek przejeżdżających kół pojazdów samochodowych powodują cykliczne powstawanie naprężeń rozciągających w dolnej strefie warstw asfaltowych (odkształceń rozciągających) i zniszczenie nawierzchni przez pęknięcia na skutek wyczerpania się jej trwałości zmęczeniowej.

6.4 Trwałość zmęczeniowa nawierzchni

6.4.1 Kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych

Nawierzchnia jezdni powinna być tak projektowana, aby stan graniczny nośności i przydatności do użytkowania nie był przekraczany w projektowanym okresie eksploatacji. Liczba obciążeń jaką może przenieść konstrukcja nawierzchni do wystąpienia stanu granicznego nazywa się trwałością zmęczeniową. Kryteria oceny trwałości zmęczeniowej dotyczą zmęczenia warstw konstrukcji nawierzchni.

Kryteria zmęczeniowe warstw konstrukcyjnych opisuje się zazwyczaj:

$$N_f = a \left(\frac{1}{\varepsilon_f} \right)^m, \quad (6.1)$$

gdzie:

- N_f – trwałość zmęczeniowa określana liczbą obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych w warstwie asfaltowej,
- ε_f – odkształcenie rozciągające w dole warstwy asfaltowej wywołane obciążeniem od koła samochodowego
- a, m – współczynniki materiałowe.

Określenie trwałości zmęczeniowej warstw bitumicznych można dokonywać stosując wiele metod. Do najbardziej znanych zalicza się metody Shella, Instytutu Asfaltowego, Uniwersytetu w Nottingham i Centrum Badań Drogowych w Belgii.

Jako przykładem posłużono się kryterium zmęczeniowym warstw asfaltowych według Instytutu Asfaltowego:

$$N_f^{asf} = 18,4C(6,167 \cdot 10^{-5} \varepsilon_{ha}^{-3,291} |E|^{-0,854}), \quad (6.2)$$

gdzie:

- ε_{ha} – odkształcenie rozciągające w spodzie dolnej warstwy asfaltowej,
- $|E|$ – moduł sztywności mieszanki mineralno – asfaltowej, MPa,

$$C = 10^M \quad (6.3)$$

$$M = 4,84 \left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0,69 \right), \quad (6.4)$$

- V_b – zawartość objętościowa asfaltu, %,
- V_a – zawartość objętościowa wolnej przestrzeni, %.

W równaniu 6.2 występuje mnożnik o wartości 18,4, który wprowadzony został w celu uwzględnienia przeniesienia wyznaczonej w laboratorium trwałości zmęczeniowej mieszanki mineralno – asfaltowej do warunków „in situ” w nawierzchni drogowej. Mnożnik ten, zwany współczynnikiem przeniesienia oznacza stosunek trwałości zmęczeniowej mieszanki mineralno – asfaltowej osiąganey w nawierzchni drogowej przy 20% spękaney powierzchni do trwałości zmęczeniowej tej mieszanki wyznaczonej w badaniach laboratoryjnych. Różnice w trwałości zmęczeniowej spowodowane są między innymi zjawiskiem samonaprawy spękań w nawierzchni asfaltowej pod ruchem pojazdów samochodowych.

6.4.2 Kryterium deformacji strukturalnych konstrukcji nawierzchni

Kryterium deformacji trwałych stosuje się w liczeniu konstrukcji nawierzchni, których warstwy asfaltowe są odporne na koleinowanie lepkoplastyczne.

Zależność pomiędzy dopuszczalną liczbą powtarzalnych obciążeń N_k do powstania krytycznej deformacji strukturalnej równej 12,5 mm a odkształceniem pionowym na powierzchni podłoża gruntowego ε_p jest następująca:

$$\varepsilon_p = k \left(\frac{1}{N_k} \right)^m, \quad (6.5)$$

gdzie:

- N_k – trwałość zmęczeniowa określona liczbą dopuszczalnych obciążeń do wystąpienia krytycznych deformacji trwałych,
- ε_p – pionowe odkształcenie ściskające na poziomie podłoża gruntowego,
- k, m – współczynniki materiałowe,
 $k = 1,05 \cdot 20^{-2}$
 $m = 0,223$.

6.4.3 Kryterium spękań zmęczeniowych podbudów związanych spoiwami hydraulicznymi

W projektowaniu konstrukcji nawierzchni półsztywnej uwzględnia się oprócz sprawdzenia kryteriów trwałości zmęczeniowej warstw asfaltowych i odkształceń pionowych w podłożu gruntowym również kryterium uszkodzeń zmęczeniowych warstwy związanej spoiwem hydraulicznym. Przyjmuje się dwuetapowość pracy podbudowy związanej. W pierwszym etapie rozpatruje się podbudowę przed spękaniem zmęczeniowym i traktuje się konstrukcję nawierzchni jako konstrukcję półsztywną. Etap drugi pracy nawierzchni występuje, gdy warstwa podbudowy jest spękana i w analizach taką konstrukcję charakteryzuje się jako konstrukcję podatną. W obliczeniach mechanistycznych etapy pracy konstrukcji nawierzchni półsztywnej rozróżnia się przyjęciem różnych modułów sprężystości oraz współczynników Poissona.

W większości stosowanych obecnie metod mechanistycznych projektowania nawierzchni drogowych z warstwą podbudowy półsztywnej (stabilizacja cementem, chudy beton, itp.) kryteria uszkodzeń zmęczeniowych określane są w zależności od wytrzymałości materiału podbudowy na rozciąganie przy zginaniu, naprężeń wywołanych w tej warstwie przy powtarzalnych obciążeniach, początkowego i granicznego odkształcenia rozciągającego przy pojedynczym obciążeniu. Jednym z najczęściej stosowanych kryteriów zmęczeniowych podbudów związanych spoiwami hydraulicznymi jest kryterium podane przez Uniwersytet w Illinois (USA), kryterium zmęczeniowe Dempsey'a:

$$\lg N_k = 11,784 - 12,121 \left(\frac{\sigma}{R_{zgin}} \right), \quad (6.6)$$

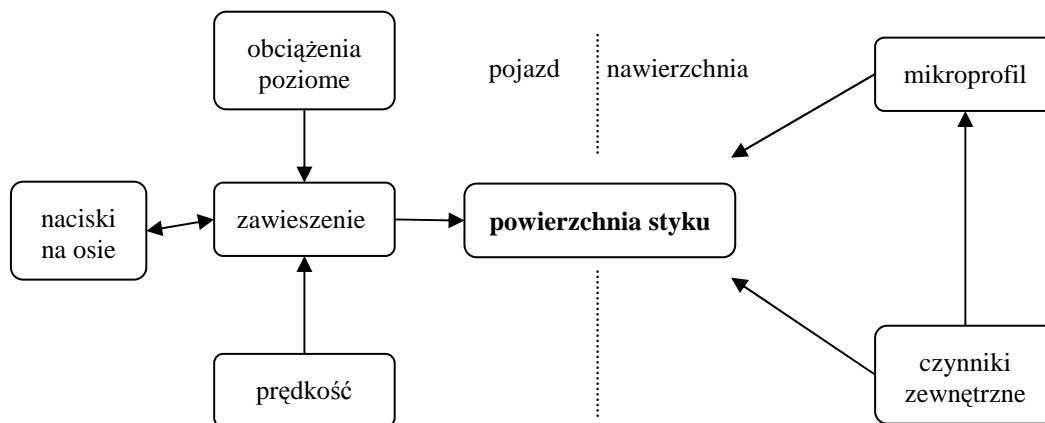
gdzie:

- N_k – liczba obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych w podbudowie związanej spoiwem hydraulicznym,
- σ – naprężenia rozciągające w warstwie podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym wywołane przez obciążenie ruchem drogowym,
- R_{zgin} – wytrzymałość materiału podbudowy na rozciąganie przy zginaniu.

7. Wpływ dynamiki ruchu na wielkość obciążeń przekazywanych na nawierzchnię drogową

7.1 Czynniki wpływające na wzajemne oddziaływania dynamiczne pojazdu i nawierzchni

Istnieje szereg czynników stanowiących o wzajemnym oddziaływaniu pojazdu i nawierzchni. Wśród nich należy wyróżnić te, które decydują o pojawieniu się sił o charakterze dynamicznym. I tak po stronie pojazdu znajdują się czynniki związane z jego konstrukcją czyli wielkość i układ mas resorowanych pojazdu i ładunku oraz rodzaj zawieszenia, a także czynniki wynikające z ruchu pojazdu czyli prędkość oraz siły poziome powstałe w wyniku hamowania, przyspieszania czy też jazdy na łuku. Z drugiej strony obserwuje się wpływ własności dynamicznych konstrukcji nawierzchni, czynników zewnętrznych takich jak pora roku i związanych z nią warunków atmosferycznych, a także struktury ruchu drogowego. Najistotniejsze oddziaływanie wynika jednak ze stanu geometrycznego mikroprofilu jezdni, który najczęściej ulega znacznej degradacji w stosunku do stanu pierwotnego. Oddziaływanie obu grup czynników skupia się na powierzchni styku koła z nawierzchnią, Rysunek 7.1.



Rysunek 7.1 Schemat wzajemnego oddziaływania pojazdu i nawierzchni drogi

Z uwagi na trudności w sprecyzowaniu jakościowym i ilościowym relacji wszystkich czynników, rozpatrywane będą tylko najważniejsze z nich, tj.: mikroprofil geometryczny nawierzchni, prędkość ruchu i konstrukcja pojazdu.

7.1.1 Mikroprofil geometryczny nawierzchni

W analizie współpracy pojazdu z nawierzchnią konieczna jest znajomość funkcji wymuszenia, która opisuje mikroprofil drogi. Interpretowany jest on jako suma fal nierówności o różnych długościach i amplitudach oraz losowo zmiennych fazach. Ogólnie uważa się, że istotny zakres wymuszeń drgań obejmuje nierówności o długości fal zawartych w przedziale 0,1 – 100,0 m.

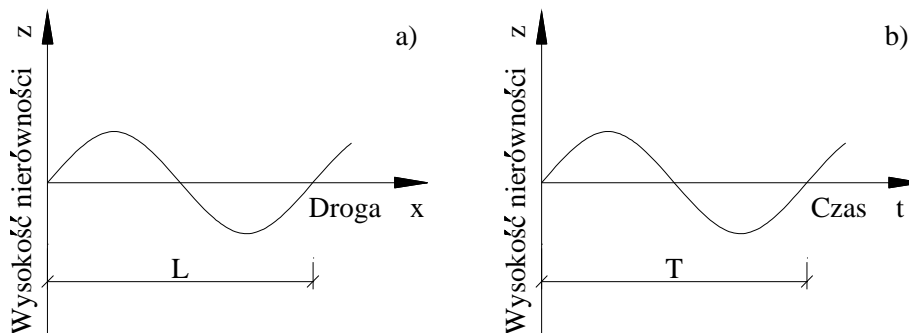
Wyróżnia się dwa sposoby interpretacji nierówności drogi:

- geometryczny – określający różnicę pomiędzy istniejącym i teoretycznym profilem drogi,
- fizyczny – opisujący zespół czynników powodujący fizyczne efekty wywołane nierównościami np. drgania pojazdu.

Przy badaniu występujących zjawisk w układzie pojazd – droga, mikroprofil opisywany jest pojedynczą funkcją sinusoidalną o ustalonych parametrach, a pojazd modelowany jest za pomocą układu mas połączonych więzami charakteryzowanymi sztywnością oraz zdolnością tłumienia drgań. Zależność między obciążeniem dynamicznym nawierzchni od kół pojazdu i wielkością amplitud nierówności jest liniowa dla określonej częstotliwości wymuszenia i modeli liniowych. Wynika stąd, że wzrost amplitud nierówności drogi powoduje wzrost sił dynamicznych działających na nawierzchnię drogową. Oprócz amplitudy istotna jest również długość fali nierówności. Od tej długości zależy częstotliwość wymuszenia drgań związana również z prędkością ruchu pojazdu.

7.1.2 Prędkość ruchu pojazdu

Mikroprofil geometryczny nawierzchni ilustruje się sinusoidalną funkcją położenia koła na jezdni lub też przy założeniu wartości prędkości ruchu funkcją czasu, rys. 7.2.



Rysunek 7.2 Sinusoidalny profil drogi: a) jako funkcja drogi; b) jako funkcja czasu

Wysokość nierówności rozpatrzono zatem w dwóch dziedzinach:

- w funkcji drogi x :

$$z = b \cdot \sin \Omega x \quad (7.1)$$

- w funkcji czasu t :

$$z = b \cdot \sin \omega t \quad (7.2)$$

gdzie:

- b – amplituda nierówności,
- $\Omega = \frac{2\pi}{L}$ – częstość nierówności drogi, (7.3)
- $\omega = \frac{2\pi}{T}$ – częstość wymuszeń drgań, (7.4)
- L – długość fali nierówności
- T – czas odpowiadający długości fali L .

Dla danych wartości spełniony jest warunek:

$$\begin{aligned} z &= z \\ b \cdot \sin \Omega x &= b \cdot \sin \omega t \\ \Omega \cdot x &= \omega \cdot t \end{aligned} \quad (7.5)$$

W ruchu jednostajnym:

$$x = v \cdot t \quad (7.6)$$

Stąd spełnione jest:

$$\begin{aligned} \Omega \cdot v \cdot t &= \omega \cdot t \\ \frac{2\pi}{L} \cdot v &= \omega \end{aligned} \quad (7.7)$$

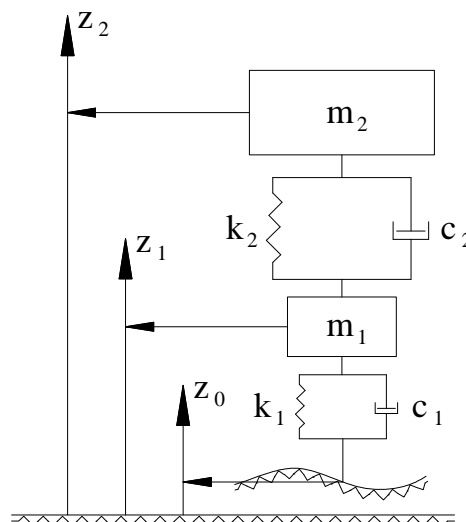
Rozpatrując powyższe zmienne w częstotliwości wymuszenia f , otrzymano:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{v}{L} \quad (7.8)$$

Przy stałej długości fali L wartość częstotliwości wymuszenia jest wprost proporcjonalna do prędkości ruchu pojazdu. Celem rozważań teoretycznych można też przyjąć zależność odwrotnie proporcjonalną między częstotliwością wymuszenia a długością fali nierówności przy założeniu stałej prędkości ruchu. Wynika stąd, że przy określonym mikroprofilu nawierzchni o wielkości reakcji między pojazdem a nawierzchnią decyduje głównie prędkość ruchu.

7.1.3 Konstrukcja pojazdu

W omawianym zagadnieniu z wystarczającą dokładnością pojazd można rozpatrzeć jako układ drgający o dwóch stopniach swobody, Rysunek 7.3. Warunkuje to symetria sił i mas względem podłużnej osi pojazdu oraz wskaźnik rozkładu mas resorowanych ch w wartościach w przedziale 0,8 – 1,2.



Rysunek 7.3 Model pojazdu o dwóch stopniach swobody

W analizach dynamicznych oddziaływań układu pojazd – droga najważniejszymi parametrami ze strony pojazdu są:

- resorowana masa nadwozia m_2 ,
- nieresorowana masa osi i kół m_1 ,
- sztywność zawieszenia k_2 ,
- współczynnik tłumienia zawieszenia c_2 ,
- sztywność opon k_1 ,
- współczynnik tłumienia opon c_1 .

Czynniki te decydują o wielkości częstotliwości wymuszenia, a tym samym o wielkości obciążeń dynamicznych. W przypadku modelu pojazdu o dwóch stopniach swobody, można określić dwie bardzo niekorzystne częstotliwości wymuszenia, przy których powstaje rezonans. Zjawisko to występuje wtedy, gdy częstotliwość wymuszenia drgań jest dokładnie równa częstotliwościom drgań własnych kół i osi lub częstotliwościom drgań własnych nadwozia.

7.2 Skutki wzajemnego oddziaływania dynamicznego pojazdu i nawierzchni

Wpływ dynamicznego obciążenia nawierzchni przez ruch pojazdów ciężkich był już niejednokrotnie analizowany przez różne ośrodki badawcze, w tym również przez grupę ekspertów OECD prowadzącą duży program badawczy DIVINE [3] (Dynamic Interaction between Vehicles and Infrastructure Experiment). W opublikowanym w 1998 roku raporcie końcowym znalazły się m.in. wnioski przytoczone poniżej.

Dla relatywnie grubych nawierzchni (konstrukcje z pakietem warstw asfaltowych grubości ok. 16 cm) odkształcenia poziome na spodzie warstw asfaltowych są niemal wprost proporcjonalne do obciążenia dynamicznego, np.: wzrost obciążenia dynamicznego o 10 % powoduje wzrost odkształcenia o 7 – 12 %, w zależności od konstrukcji nawierzchni. Stąd w projektowaniu takich nawierzchni powinno się uwzględniać wpływ wzrostu obciążeń dynamicznych na skutek zmiany profilu podłużnego w czasie trwania eksploatacji nawierzchni.

W programie wykazano również, że odkształcenia nawierzchni nie są zależne od częstotliwości występujących obciążeń dynamicznych. Reakcja nawierzchni na skoki osi pojazdu o wysokiej częstotliwości występowania jest porównywalna do reakcji od rzadko kiedy „podskakującego” pojazdu na drodze. Z drugiej strony wzrost obciążenia dynamicznego o 10% na cienkich nawierzchniach asfaltowych powoduje znacznie mniejszy (2 – 3%) wzrost odkształceń niż dla nawierzchni grubych. Zależność ta implikuje twierdzenie, że mechanizm rozkładu obciążeń w nawierzchni jest różny w zależności od grubości warstw asfaltowych i może być silnie zależny od warunków kontaktu koła z nawierzchnią. Niestety problem nie został jeszcze całkowicie rozpoznany i wymaga dalszych badań.

Punkty koncentracji obciążeń dynamicznych zlokalizowane są zwykle wzdłuż drogi w odstępach 8 – 10 m, wzrost obciążeń w tych punktach dla dróg równych wynosi ok. 10 %, natomiast efekt ten jest co najmniej dwukrotnie większy w przypadku dróg nierównych.

Określono współczynniki zwiększające ruchome oddziaływanie dynamiczne w stosunku do obciążenia statycznego, z uwzględnieniem typu zawieszenia, równości drogi oraz prędkości ruchu:

- nawierzchnie równe:
 - zawieszenie pneumatyczne 1,1 – 1,15,
 - zawieszenie klasyczne 1,3,
- nawierzchnie nierówne:
 - zawieszenie pneumatyczne 1,2,
 - zawieszenie klasyczne 1,4 – 1,5;

Widoczne jest, że kontrolując stan profilu podłużnego można zredukować wpływ obciążeń dynamicznych zarówno w przypadku pojazdów z zawieszeniem klasycznym jak i pneumatycznym. Jakkolwiek chociaż efekty oddziaływania dynamicznego i rodzaju zawieszenia na wielkość odkształceń są niepodważalne to istnieje szczególne zagrożenie cienkich nawierzchni pomimo, iż projektowane są na mniejsze obciążenie ruchem.

Przeprowadzone badania wykazały, że profil nawierzchni ulega szybszemu zniszczeniu pod działaniem zawieszek klasycznych niż pneumatycznych przy tej samej wielkości ładunku. Zużycie nawierzchni pod obciążeniem ruchem pojazdami z zawieszeniem klasycznym jest o 15 % większe niż z zawieszeniem pneumatycznym. Także niektóre aspekty powstawania spękań i kolein sygnalizują większe oddziaływanie zawieszek klasycznych.

Zaobserwowano także niekorzystny wpływ niskich prędkości pojazdów ciężkich. Ich niszczące oddziaływanie szczególnie wzrasta na odcinkach dróg nadmiernie obciążonych ruchem, gdzie na skutek wyczerpania przepustowości przekroju drogi dochodzi do zatrzymań bądź spowolnienia ruchu pojazdów.

Większość produkowanych systemów zawieszenia projektowanych jest z myślą o równomiernym rozłożeniu nacisków na osie. W praktyce efektywność tej idei jest różnie reprezentowana. Na przykład dla osi potrójnej o zawieszeniu klasycznym oś najlżejsza przenosi zwykle 60 – 70 % ciężaru osi najbardziej obciążonej, ale zdarza się również, że jest to tylko 30 – 40%. Zawieszenie pneumatyczne jest mniej wrażliwe na nierównomierność rozłożenia obciążenia, a najlżej obciążona oś przenosi około 90% ciężaru najbardziej obciążonej. Osie podwójne zawieszenia pneumatycznego prezentują większą równomierność niż potrójne.

W Polsce również wykonywano na ten temat opracowania badawcze [18, 26, 29] w szczególności z uwzględnieniem wpływu rodzaju zawieszenia na wielkość obciążeń dynamicznych przekazywanych na nawierzchnię. W rezultatach prac stwierdzono, że:

- obciążenia nawierzchni należy podzielić na dwie grupy: obciążenia typu siła przesuująca się z daną prędkością po drodze oraz dynamiczna część obciążenia powstała w wyniku drgań samochodu, wywołana przez nierówności nawierzchni drogi;
- podczas ruchu pojazdów z niewielką prędkością, naciski kół na jezdnię znacząco nie zależą od typu i parametrów zawieszenia osi, lecz jedynie od masy pojazdu; pojazd o zwiększonej masie działa bardziej niszcząco na nawierzchnię;
- wraz ze zwiększeniem prędkości jazdy i nierówności nawierzchni wzrasta dynamiczne oddziaływanie kół pojazdów na drogę;

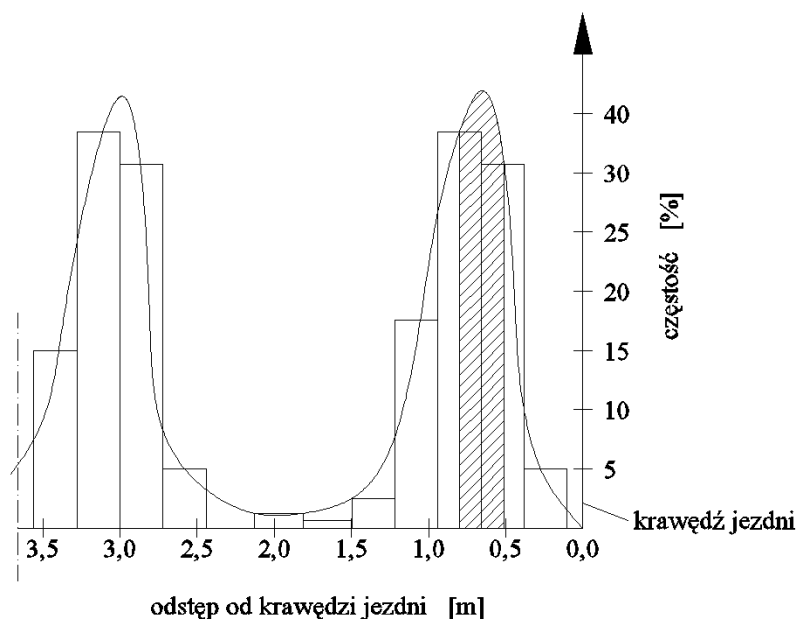
- zawieszenie pneumatyczne wykazuje szybsze tłumienie drgań w porównaniu do klasycznych resorów piórowych, a przy tym jest niezmiennie w okresie eksploatacji, stąd przyczynia się do zwiększenia trwałości zmęczeniowej nawierzchni;
- nierówności nawierzchni drogi mogą spowodować nierównomierne rozłożenie nacisków pojazdu z zawieszeniem klasycznym na poszczególne koła osi do 20%, natomiast przy zawieszeniu pneumatycznym już tylko do 5 %.

8. Analiza obciążeń przekazywanych na nawierzchnię drogową

8.1 Hipoteza Minera [8]

Trwałość konstrukcji jezdni to przede wszystkim odporność materiałów wchodzących w jej skład na niszczący wpływ ruchu drogowego, czyli tzw. wytrzymałość zmęczeniowa. Zmęczenie materiału polega na jego stopniowym niszczeniu pod wpływem wielokrotnych obciążeń.

Każdy punkt na powierzchni jezdni podczas całej eksploatacji jest poddawany wielokrotnym obciążeniom. Liczba tych obciążeń nie zawsze jest równa całkowitej liczbie obciążeń, którym jest poddany przekrój jezdni w okresie eksploatacji. Na Rysunku 8.1 przedstawiono wykres częstotliwości występowania śladów kół samochodów na pasie ruchu szerokości 3,66 m. Największe prawdopodobieństwo obciążenia jezdni obrazuje obszar zakreskowany, który odpowiada szerokości śladu koła. Szacuje się, że w przekroju poprzecznym częstotliwość obciążenia danego punktu jezdni zawiera się w przedziale $40 \div 60\%$ całkowitego obciążenia.

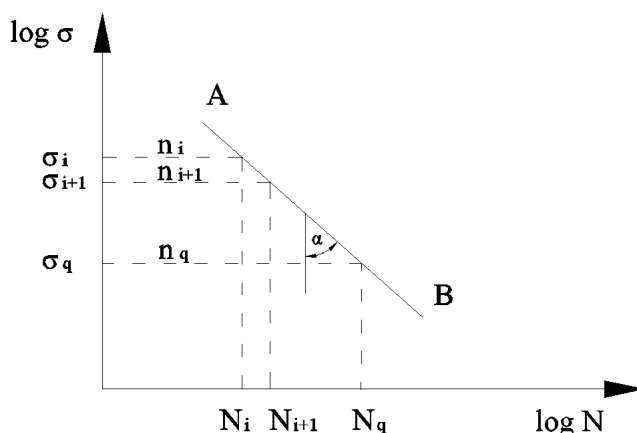


Rysunek 8.1 Wykres częstotliwości występowania śladów kół samochodów na pasie ruchu

Do określenia łącznego wpływu różnych obciążeń, pojawiających się na drodze wykorzystuje się hipotezę zmęczeniową Minera. W myśl tej hipotezy, konstrukcja poddana działaniu naprężeń $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$ i odpowiadającej im liczbie cykli obciążeń n_1, n_2, \dots, n_m ulega zniszczeniu, gdy szkoda zmęczeniowa D jest równa 1 (Rysunek 8.2):

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} = 1, \quad (8.1)$$

gdzie N_i – dopuszczalna liczba obciążeń, jaką może przyjąć materiał przy obciążeniu σ_i .



Rysunek 8.2 Krzywa zmęczenia

Podstawowe założenia hipotezy Miner:

- każde naprężenie σ_i bierze udział w uszkodzeniu elementu,
- uszkodzenia nie są zależne od lokalizacji σ_i w całym cyklu naprężeń,
- całkowite uszkodzenie jest równe sumie uszkodzeń wywołanych przez każde σ_i oddzielnie.

8.2 Zastosowanie hipotezy Miner, agresywność obciążenia

Hipoteza Miner znajduje zastosowanie przy odwzorowaniu oddziaływania całej struktury pojazdów rzeczywistych na ekwiwalentne pojazdy lub osi obliczeniowe. W obliczeniach uwzględnia się równoważność wpływu samochodu obliczeniowego w stosunku do samochodów innych rodzajów na całość konstrukcji jezdni lub poszczególne jej warstwy.

Odcinek krzywej zmęczenia A – B (Rysunek 8.2) opisuje równanie:

$$N_i \cdot \sigma_i^m = N_q \cdot \sigma_q^m = const, \quad (8.2)$$

gdzie $m = tg\alpha$.

Powyższe równanie reprezentuje tzw. metodę zastępczej liczby cykli, w której dana liczba cykli o naprężeniu σ_i jest transponowana na równoważną jej pod względem uszkodzenia liczbę cykli o innym naprężeniu σ_q . Problem polega na odpowiednim doborze współczynnika m .

Równanie można również przedstawić w postaci:

$$N_i = N_q \cdot \left(\frac{\sigma_q}{\sigma_i}\right)^m \quad (8.3)$$

Przyjmując, że $\sigma_q = P_q$ i $\sigma_i = P_i$ (P_q i P_i – oznaczają odpowiednie obciążenie, przypadające na koła pojazdu q oraz pojazdu i) można otrzymać zależności pozwalające na przejście

z jednej liczby pojazdów o znanym obciążeniu koła P_q na równoważną liczbę pojazdów o obciążeniu koła P_i .

Konstrukcja jezdni składa się z warstw różnych materiałów, z których każdy ma różną charakterystykę zmęczeniową. Przy szczegółowym podejściu do zagadnienia należałoby obliczyć równoważną liczbę pojazdów dla każdego materiału wchodzącego w skład konstrukcji jezdni i w ostateczności przyjąć do wymiarowania najmniejszą liczbę powtarzalnych obciążeń. W badaniach AASHO ustalono dla całej konstrukcji $m = 4$, stąd analizowana zależność nosi nazwę wzoru czwartej potęgi i często przedstawiana jest w postaci:

$$\text{stopień_zniszczenia} = \frac{(\text{nacisk_osi_badanej})^4}{(\text{nacisk_osi_porównawczej})^4} \quad (8.4)$$

Do niedawna wyznaczona wartość współczynnika równoważności obciążeń $m=4$, stosowana była powszechnie bez względu na materiał i konstrukcję nawierzchni. Późniejsze, liczne badania wykazały, że wzrost obciążenia ma różny wpływ na różne materiały. Większy wpływ ma na warstwy sztywne – pod zwiększonym obciążeniem ulegają one szybszemu zniszczeniu. W wypadku nawierzchni półsztywnych, ze względu na zmęczenie podbudowy związanej cementem, spotyka się podawane w literaturze wartości nawet od 11 do 33. Francuski poradnik wymiarowania konstrukcji nawierzchni podaje współczynnik agresywności obciążenia A w zależności od typu konstrukcji nawierzchni i układu obciążenia, obliczany według wzoru:

$$A = K \cdot \left(\frac{P}{P_0}\right)^\alpha \quad (8.5)$$

ze współczynnikami K i α przyjmowanymi według Tabelicy 8.1.

Tablica 8.1 Współczynniki K i α uwzględniające typ konstrukcji nawierzchni i układ obciążenia do obliczenia współczynnika agresywności obciążenia ruchem

Rodzaj nawierzchni	α	K		
		oś pojedyncza	oś podwójna	oś potrójna
Nawierzchnia asfaltowa, podatna	5	1	0,75	1,1
Nawierzchnia półsztywna	12	1	12	113

Wykładnik potęgi α jest znacznie większy, gdy konstrukcja nawierzchni jest półsztywna lub sztywna. Oznacza to, że warstwy sztywne ze spoiwem hydraulicznym ulegają wielokrotnie szybszemu zniszczeniu pod działaniem zwiększonego obciążenia. Wprowadzony dodatkowo współczynnik K świadczy, jaki jest wpływ konfiguracji obciążenia - wielokrotnie większa jest agresywność osi wielokrotnej.

9. Wyznaczenie współczynników przeliczeniowych

9.1 Algorytm obliczeń

Proponowana procedura wyznaczenia współczynników przeliczeniowych zakłada następujący tok postępowania:

- zebranie danych z ważeń pojazdów,
- uwzględnienie wpływu dynamiki obciążeń na rzeczywiste naciski wywierane przez koła pojazdów na nawierzchnię drogową,
- wprowadzenie korekty uwzględniającej koła bliźniacze,
- obliczenie współczynników agresywności pojazdów zważonych,
- ustalenie struktury ruchu pojazdów ciężkich,
- obliczenie średnich agresywności sylwetek pojazdów ciężkich,
- obliczenie współczynników przeliczeniowych.

9.2 Zebranie danych z ważeń pojazdów

Dane o strukturze rodzajowej ruchu, a w szczególności pojazdów ciężkich, dostępne z pomiarów GPR dotyczą tylko liczby i typu pojazdu. Natomiast do wyznaczenia współczynników przeliczeniowych sylwetek pojazdów na osie obliczeniowe 10 t i 11,5 t potrzebne są dodatkowo informacje o naciskach wywoływanych przez pojazd na nawierzchnię, za pośrednictwem poszczególnych osi zawieszenia. Optymalne do uzyskania takich danych byłyby stacje ważenia pojazdów w ruchu – WIM (Rozdział 5), w których rejestrowane są jednocześnie:

- sylwetka pojazdu,
- liczba osi rejestrowanego samochodu,
- naciski poszczególnych osi pojazdu,
- masa całkowita.

Polska niestety nie dysponuje tak przygotowanymi wagami.

Organem odpowiedzialnym za nadzór w zakresie spełniania przez pojazdy warunków technicznych, w szczególności dopuszczalnych mas i nacisków osi, jest Inspekcja Transportu Drogowego (ITD). W jej kompetencji leży sporządzanie protokołów z przeprowadzonych kontroli. Kontrole prowadzone są dwukierunkowo: wyrywkowo za pomocą wag przenośnych oraz na stacjach kontroli pojazdów. W pierwszym przypadku inspektorzy dysponując listą odcinków dróg wojewódzkich i krajowych, lokalizują punkty kontrolne w miejscach, w których parametry techniczne drogi umożliwiają przeprowadzenie ważenia. W pracy autorzy posłużyli się danymi z krakowskiego i warszawskiego oddziału Inspekcji, uzyskanymi z kontroli na drogach o dopuszczalnych naciskach 10 i 11,5 t. Znaczna liczba kontroli przeprowadzanych jest również na drogach wojewódzkich o dopuszczalnych naciskach 8 ton, lecz nie mogą one stanowić podstawy niniejszego opracowania.

Drugą formą prowadzenia kontroli jest wykorzystanie stacji kontroli pojazdów administrowanych przez ITD (Tablica 5.2). Zainstalowane są na nich wagi selekcyjne

i stacjonarne, dla których istnieje możliwość archiwizacji danych z ważenia w pamięci komputera. Niestety z uwagi na użyte aktualnie oprogramowanie, dane z wag selekcyjnych opracowywane są tylko w sposób statystyczny i nie dają pełnych informacji o wielkości nacisków przekazywanych na nawierzchnię. Należy nadmienić również, że ze względu na ciągły i nieselektywny pomiar byłyby źródłem najistotniejszych wiadomości. Pomocne zatem stają się wagi stacjonarne, które obsługuje już inne oprogramowanie. Umożliwia ono:

- rejestrację sylwetki pojazdu (do wyboru 18 typowych konfiguracji osi),
- rejestrację nacisków wszystkich osi i masy całkowitej pojazdu z dokładnością do $\pm 2\%$,
- porównanie zarejestrowanych parametrów z dopuszczalnymi dla danej sylwetki pojazdu,
- wskazanie nienormatywnego parametru i wielkości przekroczenia dopuszczalnych wartości,
- sporządzenie protokołu z ważenia, zawierającego m.in. dane o pojeździe, kierowcy, firmie wykonującej spedycję, rodzaju ładunku i miejscu jego przeznaczenia.

Istotnym mankamentem w uzyskaniu danych źródłowych do pracy stały się trwające prace remontowe oraz problemy techniczne i administracyjne stacji. Zakres pozyskanych danych zawiera Tablica 9.1.

Tablica 9.1 Zakres danych źródłowych

Lp.	Stacja (nr drogi)	Okres pomiarowy	Liczba pomiarów	Udział poj. normatywnych
1	Kaszewy (DK 2)	07.2001 – 06.2006	1256	62%
2	Byczyna (DK 11)	02.2001 – 08.2006	3146	26%
3	Siedlec (DK 2)	01.2001 – 08.2006	6697	78%
4	Niepiekła (DK 7)	10.2000 – 10.2004	732	66%
5	Protokoły	04.2004 – 08.2006	233	75%

Zanotowane rozbieżności proporcji zatrzymań pojazdów normatywnych i przeciążonych wynikają m.in. z użycia wagi selekcyjnej. I tak w Byczynie wskutek wykorzystania w/w wagi zatrzymywane są głównie pojazdy podejrzane o wykroczenia. Innym czynnikiem stymulującym te proporcje jest powiadamianie się kierowców o prowadzonych kontrolach na drodze, co z kolei wiąże się z ustaniem ruchu nienormatywnego.

Intencją autorów jest odwzorowanie rzeczywistych nacisków występujących na drogach, stąd analizy otrzymanych wartości przeprowadzono dwukierunkowo: dla pojazdów przeciążonych i dla pojazdów wykonujących transport zgodnie z przepisami o ruchu drogowym.. Podział taki umożliwia obliczenie średnich wartości agresywności różnych sylwetek pojazdów normatywnych o różnym wykorzystaniu ładowności, a następnie przy uwzględnieniu struktury ruchu i przyjętego procentowego udziału samochodów nienormatywnych w potoku ruchu, określenie współczynników przeliczeniowych.

9.3 Uwzględnienie wpływu dynamiki obciążeń na rzeczywiste naciski wywierane przez koła pojazdów na nawierzchnię drogową

Naciski zarejestrowane na wagach stacjonarnych są wartościami obciążenia statycznego - pomiar odbywa się przy powolnym przejeździe przez czujniki. Na drodze należy jednak uwzględnić również dynamiczne oddziaływanie kół pojazdów będących w ruchu. Jak opisano w rozdziale 7 jego wielkość zależy od równości nawierzchni i rodzaju zawieszenia pojazdu. Ponieważ współczynniki przeliczeniowe wykorzystywane są do projektowania nowych dróg i wzmacniania nawierzchni eksploatowanych, można przyjąć, że pojazdy (po wybudowaniu lub remoncie drogi) poruszały się będą po nawierzchni równej. Przyjęto zatem następujące współczynniki zwiększające oddziaływanie ruchome w stosunku do obciążenia statycznego:

- 1,1 dla zawieszenia pneumatycznego,
- 1,3 dla zawieszenia klasycznego.

Przyjmując z kolei stopniowe unowocześnianie taboru samochodów ciężarowych w Polsce założono, że pojazdów z zawieszeniem klasycznym będzie podobna liczba jak samochodów z zawieszeniem pneumatycznym. Wówczas współczynnik oddziaływania dynamicznego f_d wyniesie:

$$f_d = 0,5 (1,1 + 1,3) = 1,2$$

Naciski uzyskane z ważenia pojazdów, zestawione w Załączniku 2, przemnożono więc przez współczynnik oddziaływania dynamicznego $f_d = 1,2$.

9.4 Korekta uwzględniająca koła bliźniacze

Badania programu DIVINE oraz wyniki analiz obliczeniowych wykonane m.in. w [3] wykazują, że zastosowanie kół bliźniaczych powoduje rozproszenie obciążenia przekazywanego na nawierzchnię. Stosowanie natomiast opon wąskich (tzw. super single) potęguje odkształcenia w konstrukcji, co w konsekwencji ma niekorzystny wpływ na trwałość nawierzchni. W niniejszej pracy postanowiono uwzględnić występowanie w niektórych sylwetkach pojazdów kół bliźniaczych, przez zastosowanie wyznaczonego w dalszej części przelicznika f_b . Udziału opon typu super single i ich wpływu na wielkość współczynników przeliczeniowych nie brano pod uwagę ze względu na trudności związane z ich identyfikacją w poruszających się pojazdach.

Analizie obliczeniowej poddano różnego typu konstrukcje nawierzchni drogowych, przeznaczonych głównie dla dróg o dopuszczalnym nacisku osi 10 t:

- R6-F - konstrukcja podatna, o podbudowie z kruszywa stabilizowanego mechanicznie (typ F), wg Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych z roku 1983, dla ruchu bardzo ciężkiego R6,
- KR4-A - konstrukcja podatna o podbudowie z kruszywa stabilizowanego mechanicznie (typ A), wg Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych z roku 1997 [4], dla ruchu kategorii KR4,
- KR5-A - konstrukcja podatna o podbudowie z kruszywa stabilizowanego mechanicznie (typ A), wg [4], dla ruchu kategorii KR5,

KR6-A - konstrukcja podatna o podbudowie z kruszywa stabilizowanego mechanicznie (typ A), wg [4], dla ruchu kategorii KR6,

KR5-C - konstrukcja podatna o podbudowie z betonu asfaltowego (typ C), wg [4], dla ruchu kategorii KR5,

KR5-F - konstrukcja półsztywna o podbudowie z chudego betonu cementowego (typ F), wg [4], dla ruchu kategorii KR5.

Dla sześciu wymienionych konstrukcji analizowano naprężenia i odkształcenia wykorzystując program komputerowy ELSYM5M. Obliczono odkształcenia rozciągające w spodzie pakietu warstw asfaltowych, odkształcenia ściskające w górnej strefie podłoża gruntowego oraz naprężenia rozciągające w spodzie warstw związanych spoiwami hydraulicznymi. Maksymalne wartości odkształceń i naprężeń dla poszczególnych warstw zestawiono w Tabelicy 9.2.

Tablica 9.2 Maksymalne naprężenia i odkształcenia w ocenianych konstrukcjach

Konstrukcja	Odkształcenia rozciągające w warstwie asfaltowej, microstrain		Naprężenia rozciągające w podbudowie, MPa		Odkształcenia ściskające w podłożu gruntowym, microstrain	
	koło poj.	koło bliżn.	koło poj.	koło bliżn.	koło poj.	koło bliżn.
R6-F	84,0	73,5	-	-	246,0	226,0
KR4-A	64,3	57,9	-	-	211,0	193,0
KR5-A	51,0	46,6	-	-	164,0	151,0
KR6-A	41,0	38,0	-	-	131,0	124,0
KR5-C	41,6	38,9	-	-	150,0	134,0
KR5-F I	4,9	4,1	21,6	21,0	82,5	78,9
KR5-F II	60,6	54,8	-	-	197,0	180,0

Dla analizowanych konstrukcji oszacowano trwałości zmęczeniowe wykorzystując następujące kryteria zmęczeniowe:

- kryterium zmęczeniowe warstw asfaltowych wg Instytutu Asfaltowego USA,
- kryterium zmęczeniowe podbudowy z chudego betonu wg Dempsey'a (University of Illinois USA),
- kryterium deformacji trwałych konstrukcji nawierzchni (podłoża gruntowego) wg Instytutu Asfaltowego.

Równania opisujące poszczególne kryteria posłużyły do określenia liczby przejazdów osi obliczeniowych 10 t, do momentu pojawienia się uszkodzeń zmęczeniowych. Obliczenia wykazały, że krytycznym dla trwałości (nośności) nawierzchni, czyli dającym najmniejszą liczbę osi obliczeniowych 10 t, jest stan odkształceń rozciągających w pakiecie warstw asfaltowych. Kryterium spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych okazało się więc dominującym dla wszystkich rozpatrywanych konstrukcji. Obliczenia trwałości zmęczeniowej oraz obliczone współczynniki oddziaływania kół bliźniaczych zestawiono w Tabelicy 9.3.

Tablica 9.3 Trwałość zmęczeniowa ocenianych konstrukcji

Konstrukcja	Trwałość zmęczeniowa, mln. osi 100 kN		Współcz. kół bliźniaczych, fb
	koło poj.	koło bliźn.	
R6-F	2,6	4,0	0,65
KR4-A	6,3	8,9	0,71
KR5-A	13,5	18,1	0,75
KR6-A	27,6	35,5	0,78
KR5-C	26,4	32,6	0,81
KR5-F II	7,6	10,6	0,72
ŚREDNIA			0,74

Także wyniki badań EAPA opublikowane w 1995 roku potwierdzają większą odporność nawierzchni na niszczące działanie ruchu przy udziale kół bliźniaczych niż pojedynczych, Tablica 9.4. Poniżej przytoczono rezultaty tych badań, zestawione z uwzględnieniem kryterium szkody zmęczeniowej i odporności na koleinowanie dla różnych wartości ciśnienia w oponie.

Tablica 9.4 Trwałość konstrukcji wyrażona liczbą osi obliczeniowych wg kryterium ciśnienia w oponie

L. p.	Rodzaj koła	Obciążenie osi, kN	Ciśnienie w oponie, MPa	Mln osi obliczeniowych	
				Szkoda zmęczeniowa	Koleinowanie
1	Bliźniacze	80	0,58	10,0	10,7
2		100	0,70	3,3	3,5
3		115	0,83	1,6	1,8
4	Pojedyncze	100	0,60	2,4	6,1
5			0,70	2,0	3,2
6			0,85	1,6	1,2
7			1,00	1,3	0,5
8	Bliźniacze	100	0,60	3,5	7,7
9			0,70	3,3	4,0
10			0,85	3,1	1,8
11			1,00	2,9	0,9
12	Pojedyncze	115	0,85	0,9	1,1

W dalszych obliczeniach, w przypadku analizy agresywności oddziaływania osi z kołami bliźniaczymi stosowano współczynnik $f_b = 0,74$.

9.5 Obliczenie współczynników agresywności pojazdów zważonych

Bazując na danych z ważeń pojazdów (Załącznik 2) oraz uwzględniając zwiększenie nacisków osi związanego z dynamiką ruchu obliczono współczynniki agresywności dla wszystkich zarejestrowanych samochodów ciężarowych. W analizach posługiwano się metodą proponowaną przez francuski poradnik wymiarowania konstrukcji nawierzchni [1], w którym współczynnik agresywności obciążenia A oblicza się według wzoru:

$$A = K \left(\frac{P}{P_0} \right)^\alpha \quad (9.1)$$

Współczynniki K i α przyjęto jak dla nawierzchni podatnych:

- $\alpha = 5$
- $K = 1,00$ – dla osi pojedynczej,
- $K = 0,75$ – dla osi podwójnej,
- $K = 1,1$ – dla osi potrójnej.

9.6 Ustalenie struktury ruchu pojazdów ciężkich

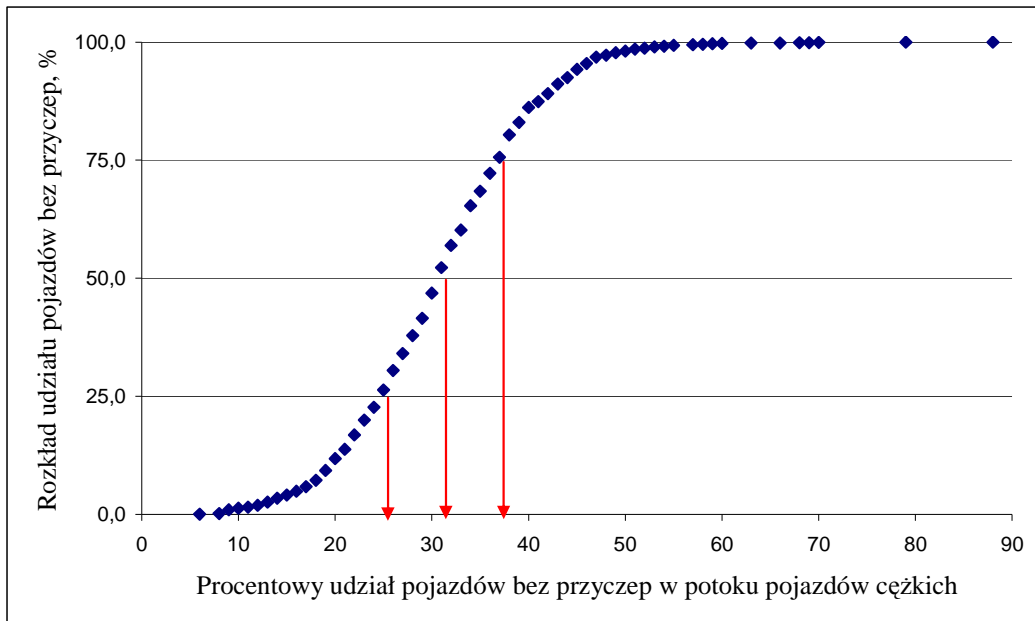
Do wymiarowania konstrukcji nawierzchni, zarówno nowych jak i wzmacnianych, wykorzystuje się dane o ruchu pochodzące zazwyczaj z Generalnego Pomiaru Ruchu (GPR). Pomiary tego typu wykonuje się w Polsce co 5 lat. W GPR 2005 rejestrowanych było siedem kategorii pojazdów samochodowych (motocykle, samochody osobowe, samochody dostawcze, samochody ciężarowe bez przyczep i z przyczepami, ciągniki rolnicze i autobusy) oraz rowery. Prognozę ruchu pojazdów ciężkich (liczbę osi obliczeniowych 10 t) ustala się w oparciu o dane dotyczące samochodów ciężarowych z przyczepami i bez przyczep oraz autobusów. Dla każdej z tych trzech grup pojazdów ustalone zostały w [4] współczynniki przeliczeniowe pozwalające na obliczenie wielkości projektowanego ruchu i kategorii ruchu.

Dane z ważeń pojazdów pozwalają na ustalenie współczynników agresywności różnych sylwetek pojazdów ciężkich. Jednak aby wyznaczyć wiarygodne wartości współczynników przeliczeniowych grup pojazdów potrzebne są również dane o liczebności różnych sylwetek pojazdów w ruchu drogowym (strukturze ruchu). Bazując na wynikach GPR 2005 ustalono procentowy udział samochodów ciężarowych z przyczepami i bez przyczep oraz autobusów w potoku pojazdów ciężkich, na wszystkich odcinkach spisowych dróg krajowych. Wykresy na Rysunkach 9.1 i 9.2 przedstawiają wynik tej analizy. Na ich podstawie określono 12 typów odcinków drogowych charakteryzujących różne procentowe udziały grup pojazdów ciężkich. Wyboru dokonano w następujący sposób:

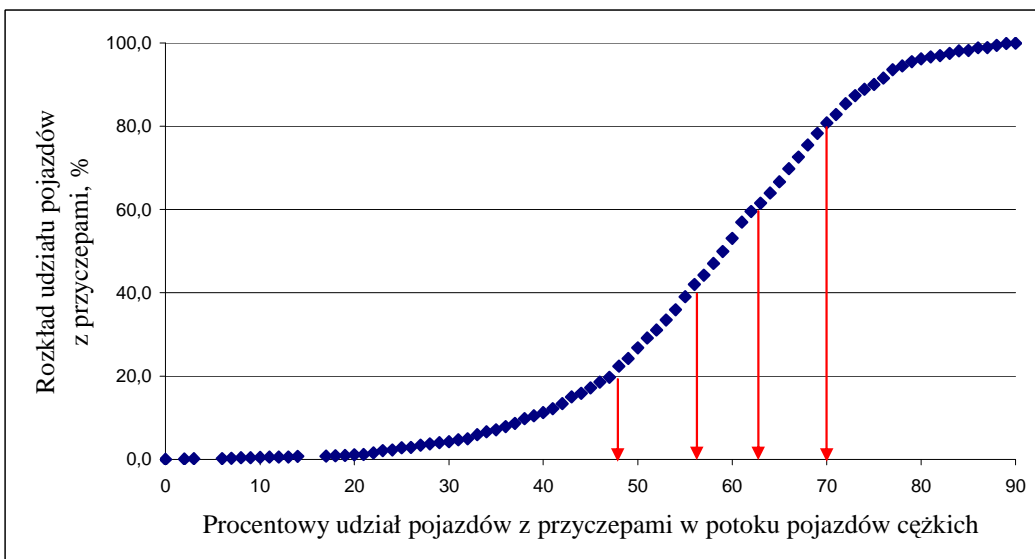
- dla samochodów ciężarowych z przyczepami przyjęto 4 procentowe udziały w potoku ruchu pojazdów ciężkich, przy liczebności 20%, 40%, 60% i 80%,
- analogicznie, dla samochodów ciężarowych bez przyczep przyjęto 3 procentowe udziały, przy liczebności 25%, 50%, 75%,
- procentowy udział samochodów odczytano z wykresów (Rysunek 9.1 i 9.2); dla samochodów ciężarowych z przyczepami wyniósł on: 47%, 55%, 62%, 70%, natomiast dla samochodów ciężarowych bez przyczep: 25%, 31%, 37%,
- udział procentowy autobusów przyjęto jako dopełnienie do 100%,

- dla ustalonych procentowych udziałów grup pojazdów wybrano odpowiadające im (o takim samym procentowym rozkładzie) 22 odcinki drogowe, na których dokonano następnie pomiarów ruchu, w podziale na sylwetki pojazdów.

Wykaz wytypowanych odcinków przedstawia Tablica 9.5.



Rysunek 9.1 Rozkład procentowego udziału samochodów ciężarowych bez przyczep w grupie pojazdów ciężkich



Rysunek 9.2 Rozkład procentowego udziału samochodów ciężarowych z przyczepami w grupie pojazdów ciężkich

Tablica 9.5 Odcinki wytypowane do pomiaru ruchu pojazdów ciężkich

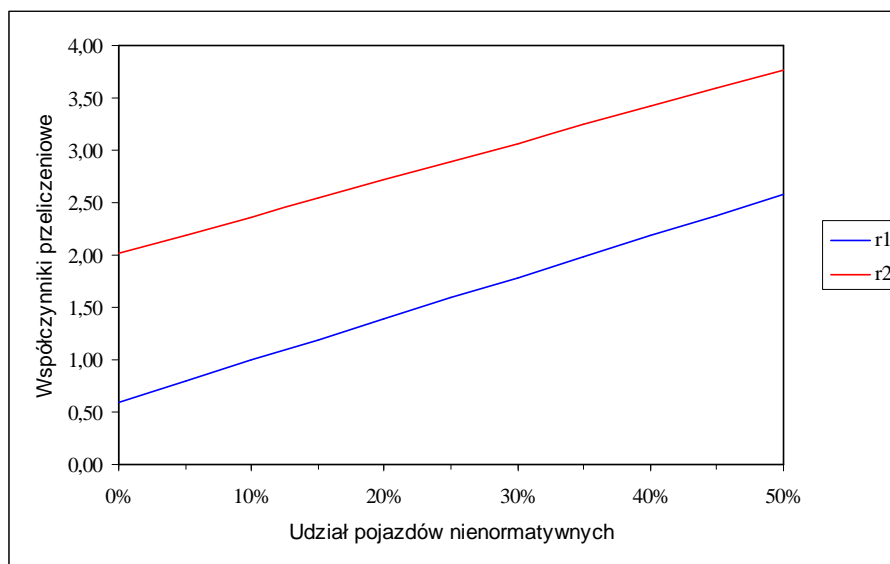
Nr odcinka	Nr drogi	Odcinek spisowy	Procentowy udział pojazdów		
			bez przyczepy	z przyczepą	autobusów
1	60	Ciechanów /przejście 1/	26	47	27
2	74	Kielce - Radlin	25	45	30
3	3	Lubin /przejście 1/	25	54	22
4	19	Wasilków - Białystok	27	48	26
5	46	Lubliniec /przejście/	25	61	14
6	74	Opatów /przejście/	26	62	12
7	74	Droga 728 – Ćmińsk	25	70	5
8	7	Ostróda /obwodnica/	25	70	5
9	48	Kozienice /przejście/	31	46	23
10	51	Dobre Miasto – Olsztyn	32	47	20
11	43	Gr. M. Kłobuck – Gr. M. Częstochowa	31	55	14
12	61	Wierzbica – Pułtusk	30	55	15
13	46	Dobrodzień – Gr. Woj.	31	62	7
14	15	Gr. Woj. – Nowe Miasto Lub.	31	62	6
15	50	Góra Kalwaria – Sobiekursk	31	68	1
16	7	Grójec /obwodnica2/	30	67	3
17	19	Ciecierzyn – Lublin	36	47	17
18	7	Raszyn – Janki	38	47	15
19	12	Wolanów – Radom	37	55	8
20	S7	Zakroczym – Kazuń	38	55	7
21	8	Radziejowice – Nadarzyn	37	59	4
22	10	Płońsk - Siedlin	36	61	3

Na wytypowanych odcinkach przeprowadzony został pomiar liczebności pojazdów ciężkich, w obu kierunkach ruchu łącznie, w podziale na występujące na polskich drogach sylwetki samochodów ciężarowych. Dodatkowo zapisywano, które osie pojazdów mają koła pojedyncze, a które bliźniacze.

9.7 Obliczenie średnich agresywności sylwetek pojazdów ciężkich

Każdej zidentyfikowanej na wadze sylwetce pojazdu przypisany został współczynnik agresywności, obliczony na podstawie danych o naciskach osi. Następnie, wykorzystując obliczony wcześniej współczynnik oddziaływania koła bliźniaczego f_b , obliczono wartości współczynników agresywności sylwetek pojazdów, w zależności od konfiguracji osi z kołami pojedynczymi i bliźniaczymi. Analizy dokonano zarówno na danych dotyczących pojazdów przeciążonych jak i samochodów wykonujących transport zgodnie z przepisami.

Ponieważ w pomiarach rzeczywistych na drogach możemy spodziewać się pojazdów przeciążonych, należy uwzględnić ten fakt w obliczeniach średnich współczynników agresywności. W analizach przyjęto trzy poziomy liczby pojazdów przeciążonych: 10%, 15% i 20%. Wpływ udziału pojazdów nienormatywnych na wielkości współczynników przeliczeniowych przedstawia Rysunek 9.3, gdzie odpowiednio $r1$ i $r2$ grupa pojazdów ciężarowych bez przyczep i z przyczepami.



Rysunek 9.3 Wpływ udziału pojazdów przeciążonych na wielkości współczynników przeliczeniowych

9.8 Obliczenie współczynników przeliczeniowych

Współczynniki przeliczeniowe wyznaczono jako średnie ważone współczynników agresywności sylwetek samochodów ciężarowych. Wagą była liczba danych sylwetek w grupie pojazdów.

Ponieważ w danych, z których korzystano w analizie nie było wyników ważeń autobusów, obliczenia współczynników dla tej grupy pojazdów wykonano w inny sposób niż dla samochodów ciężarowych. Procedura obliczeń była następująca:

- rozpatrzono dwa rodzaje charakteru ruchu autobusów: miejski i zamiejski,
- w ruchu miejskim założono występowanie dwóch sylwetek pojazdów: dwuosioowego Jelcza oraz przegubowego Ikarusa,
- autobusy obciążono dopuszczalną liczbą pasażerów, przyjmując jako średnią wagę pasażera 70 kg (napełnienie zbliżone do godzin szczytowych kursowania autobusów),
- zasymulowane w/w obciążenia osi oraz odpowiadające im agresywności sylwetek przedstawia Tablica 9.6,
- z obserwacji przeprowadzonych na wytypowanych odcinkach dróg stwierdzono brak w ruchu zamiejskim autobusów przegubowych, do analiz przyjęto więc reprezentantów trzech typów pojazdów o pomierzonych udziałach w ruchu drogowym, Tablica 9.6,
- założono pełne wykorzystanie miejsc siedzących i 30-kilogramowy bagaż pasażerów,

- ostatecznie dwukierunkowa analiza obciążeń nawierzchni wynikająca z ruchu autobusów dostarczyła zbliżonych wyników, co prowadzi do wniosku o uniwersalności wyznaczonych współczynników przeliczeniowych.

Tablica 9.6 Dane przyjęte w obliczeniach współczynników przeliczeniowych autobusów

Ruch miejski								
Sylwetka	Marka pojazdu	Masa całkowita, t	Naciski na osie, t			Agresywność sylwetki		Udział w ruchu
			1	2	3	oś obl. 10t	oś obl. 11,5t	
2A	Jelcz M121	16,80	6,80	10,00		1,43	0,71	50%
3A	Ikarus 280	23,70	5,70	10,00	8,00	1,82	0,90	50%
			Średnia			1,62	0,81	
Ruch zamiejski								
2A	Autosan (typ I)	14,30	6,00	8,30		1,17	0,58	80%
2A	Autosan (typ II)	16,20	6,20	10,00		2,72	1,35	10%
2A	Scania	19,60	8,10	11,50		4,57	2,27	10%
			Średnia			1,61	0,80	

Obliczone współczynniki przeliczeniowe na osie 10 i 11,5 t zestawiono w Tablicach 9.7 i 9.8. W wartościach współczynników uwzględnione zostało przeciążenie pojazdów, przy czym wartość udziału 0% ma według autorów charakter jedynie poglądowy.

Tablica 9.7 Współczynniki przeliczeniowe na oś obliczeniową 10 t

Współczynniki przeliczeniowe	Wartości współczynników przeliczeniowych w zależności od udziału pojazdów przeciążonych			
	0 %	10 %	15 %	20 %
r_1	0,60	0,99	1,19	1,39
r_2	2,02	2,37	2,54	2,72
r_3	1,61	1,61	1,61	1,61

Tablica 9.8 Współczynniki przeliczeniowe na oś obliczeniową 11,5 t

Współczynniki przeliczeniowe	Wartości współczynników przeliczeniowych w zależności od udziału pojazdów przeciążonych			
	0 %	10 %	15 %	20 %
r_1	0,30	0,49	0,59	0,59
r_2	1,00	1,25	1,26	1,26
r_3	0,80	0,80	0,80	0,80


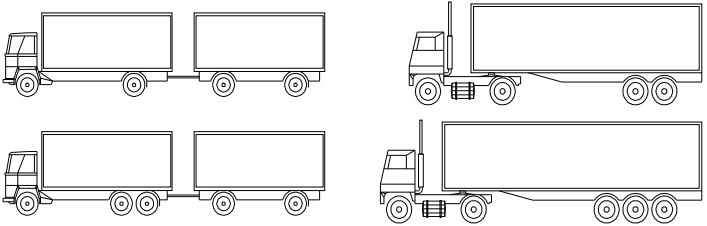

10. Wnioski

Przemiany polityczne i gospodarcze w Polsce w ostatnich latach sprawiły, że zmieniła się struktura przedsiębiorstw. Jednym z efektów była optymalizacja przewozów transportowych, a wraz z tym wzrost znaczenia transportu samochodowego. Wzrost ten widać wyraźnie na przykładzie ostatnich pomiarów ruchu w 2005 roku. Zmiany struktury i wielkości ruchu pojazdów, w szczególności ruchu pojazdów ciężkich, wskazują na potrzebę weryfikacji wartości współczynników przeliczeniowych służących do wymiarowania konstrukcji nawierzchni drogowych. W niniejszej pracy dokonano analizy danych ze stacji ważenia pojazdów i na jej podstawie opracowano propozycję nowych współczynników przeliczeniowych. Uwzględniono różne konfiguracje i wielkości obciążeń od osi pojazdów jak również cechy konstrukcyjne samochodów ciężarowych, mające wpływ na wielkość i sposób obciążenia nawierzchni takie jak: zawieszenie pneumatyczne lub sztywne, koło bliźniacze i pojedyncze. Wyniki przeprowadzonych analiz pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- obliczone wartości współczynników przeliczeniowych są wyższe od podanych w [4]; szczególnie widać to w przypadku samochodów ciężarowych bez przyczep - wzrost 10-krotny, a dla pozostałych dwóch grup pojazdów 2 – krotny wzrost dla samochodów ciężarowych z przyczepami oraz około 4 - krotny w przypadku autobusów,
- prowadzenie przez Inspekcję Transportu Drogowego systematycznej kontroli samochodów ciężarowych i zmiany w zapisach ustawy o drogach publicznych dają nadzieję na znaczne zmniejszenie liczby pojazdów nienormatywnych poruszających się po polskich drogach,
- oprócz działań kontrolno-karnych wskazane jest prowadzenie szeroko rozumianego działania monitorującego w celu prowadzenia bieżącej analizy statystycznej rzeczywistych obciążeń dróg i mostów; zadanie to mógłby wypełnić System Ochrony Sieci Drogowej, którego celem będzie monitorowanie obciążeń dróg i mostów oraz ścisła współpraca z Inspekcją Transportu Drogowego; System będzie zbierał w sposób ciągły, automatyczny i dyskretny informacje o przejeżdżających pojazdach na wybranych punktach znajdujących się przy drogach najbardziej obciążonych ruchem, wykorzystując pomiarowe systemy do ważenia w ruchu; system monitorowania obciążeń dróg i mostów może być podstawą do prowadzenia doświadczalnej analizy rzeczywistych obciążeń dróg i obiektów mostowych i umożliwić modyfikacje prognoz trwałości zmęczeniowej konstrukcji,
- należy w większym stopniu wykorzystywać dane pochodzące z bezpośrednich pomiarów na wagach selekcyjnych; w tym celu konieczne jest zainstalowanie kolejnych wag na drogach i wdrożenie systemu przesyłania danych do jednej, centralnej bazy, z której mogłyby korzystać osoby analizujące te dane w pracach badawczych, statystycznych i sprawozdawczych, rozwiązaniem pożądanym w omawianym zagadnieniu byłyby systemy WIM (Rozdział 5),

- należy prowadzić dalsze prace dotyczące wyznaczenia współczynników przeliczeniowych, które pozwolą na: ustalenie rzeczywistej liczby pojazdów przeciążonych, zbieranie aktualnych danych o naciskach osi samochodów z różnych stacji kontroli,
- brak danych wyjściowych do oceny rzeczywistych obciążeń nawierzchni przez autobusy, a także rozbieżności w charakterze ruchu turystycznego i miejskiego autobusów powodują konieczność dodatkowych analiz w tym zakresie,
- na podstawie analiz przeprowadzonych w ramach pracy proponuje się następujące, nowe wartości współczynników przeliczeniowych, Tablica 9.9:

Tablica 9.9 Nowe współczynniki przeliczeniowe grup pojazdów na oś obliczeniową 10 t

Rodzaj pojazdu	Współczynnik przeliczeniowy
Samochody ciężarowe bez przyczep 	$r_1 = 1,2$
Samochody ciężarowe z przyczepami 	$r_2 = 2,5$
Autobusy 	$r_3 = 1,6$

11. Literatura

Książki, podręczniki, katalogi

- [1] *Conception et dimensionnement des structures de chaussée. Guide technique.* SETRA, LCPC, Paris 1994.
- [2] *Design Manual for Roads and Bridges: Volume 7 Pavement Design and Maintenance.*
- [3] *Dinamic interaction of heavy vehicles with roads and bridges.* OECD DIVINE Programme. 1998.
- [4] *Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych.* GDDP, IBDiM, Warszawa 1997.
- [5] Cebon D. *Handbook of vehicle – road interaction.* Swets & Zeitlinger, Lisse, Netherlands 1999.
- [6] Datka S., Suchorzewski W., Tracz M. *Inżynieria ruchu.* WKŁ, Warszawa 1997.
- [7] Gillespie T. D. *Effects of heavy vehicle characteristics on pavement response and performance.* Transportation Research Board, NCHRP Report 353 1993.
- [8] Kukiełka J., Szydło A. *Projektowanie i budowa dróg.* WKŁ, Warszawa 1986.
- [9] Mitschke M. *Dynamika samochodu.* WKŁ, Warszawa 1977.
- [10] Piłat J., Radziszewski P. *Nawierzchnie asfaltowe.* WKŁ, Warszawa 2004.
- [11] *Richtlinien für die Standardsierung des Oberbaues von Verkehrsflächen – RstO '01*
- [12] Rolla S. *Projektowanie nawierzchni.* WKŁ, Warszawa 1987.

Wytyczne, dokumenty

- [13] *Rozporządzenie 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. Nr 43 z 1999r., poz. 430.
- [14] *Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. Prawo o miarach.* Dz. U. nr 63 z 2001 r., poz. 636.
- [15] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia.* Dz. U. nr 32 z 2003 r., poz. 262.
- [16] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 30 kwietnia 2004 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia.* (Dz. U. nr 103 z 2004 r., poz. 1085).
- [17] *Ustawa z dnia 29 lipca 2005r o zmianie ustawy o drogach publicznych oraz o zmianie niektórych innych ustaw* (Dz. U. nr 179 z 2005 r., poz. 1486).

Artykuły, opracowania

- [18] *Analiza dynamicznych obciążeń drogi przez pojazdy z zawieszeniem mechanicznym i zawieszeniem pneumatycznym. Symulacja komputerowa.* Politechnika Warszawska dla IBDiM, Warszawa 1996.
- [19] *Generalny Pomiar Ruchu 2005. Synteza wyników.* Transprojekt – Warszawa, Warszawa 2006.
- [20] *Podsumowanie i wnioski dotyczące konsekwencji zwiększenia obciążenia tylnej osi pojazdu kołowego z 100 kN na 115 kN przy jednoczesnej zmianie zawieszenia osi z tradycyjnego na resorach wielopiórowych na pneumatyczne.* IBDiM, Warszawa 1996.
- [21] *Prognoza ruchu na zamiejskiej sieci dróg krajowych do roku 2015.* Transprojekt – Warszawa, Warszawa 1997.
- [22] *Ruch drogowy 1990.* Transprojekt – Warszawa, Warszawa 1992.
- [23] *Ruch drogowy 1995.* Transprojekt – Warszawa, Warszawa 1996.
- [24] *Ruch drogowy 2000.* Transprojekt – Warszawa, Warszawa 2001.
- [25] Dyner – Jelonkiewicz E. *Inteligentne systemy kontroli komercyjnych uczestników ruchu drogowego.* „Polskie drogi” 7/2001.
- [26] Grzesikiewicz W., Piotrowski J., Pokorski J. *Analiza dynamicznych obciążeń drogi przez pojazdy z zawieszeniem mechanicznym i zawieszeniem pneumatycznym – symulacja komputerowa.* Warszawa 1996.
- [27] Judycki J. *Przepisy dotyczące dopuszczalnych wymiarów i ciężarów samochodów ciężarowych w Unii Europejskiej i w Polsce.* „Drogownictwo” 6/2003.
- [28] Kierus B. A. *Czynniki wpływające na wzajemne oddziaływania dynamiczne nawierzchni i pojazdu.* „Drogownictwo” 19/95.
- [29] Kierus B. A. *Analiza obciążeń dynamicznych drogi przez pojazdy z zawieszeniem mechanicznym.* Politechnika Białostocka 1996.
- [30] Misztal Z. *Niszczenie nawierzchni przez pojazdy ponadnormatywne oraz opłaty drogowe za przekraczanie obciążeń.* „Drogownictwo” 2/2002.
- [31] Nowaczyk G. *Ile osi? Metody wyznaczania liczby osi obliczeniowych w określeniu kategorii ruchu.* „Magazyn Autostrady” 3/2006.
- [32] Pachowski J., Kraszewski C. *Analiza zasad obliczania niszczących obciążeń nawierzchni ruchem drogowym.* VII Międzynarodowa Konferencja pt. „Bezpieczne drogi”. Kielce, 8 – 9 maja 2001.
- [33] Strycharz B., Basiński T. *Wybrane zagadnienia dotyczące nowych warunków obciążenia nawierzchni.* „Drogownictwo” 3/2004.
- [34] Szpinek S. *Nacisk osi 115 kN – prawda i mistyfikacja.* „Magazyn Autostrady” 1-2/2006.
- [35] Szpinek S. *Niepewność współczynnika agresywności.* „Drogownictwo” 5/2005.
- [36] Szydło A., Wardęga R. *Porównanie współczynników agresywności pojazdów w Polsce i Unii Europejskiej.* „Drogownictwo” 5/2003.
- [37] Szydło A., Wardęga R. *Wpływ ruchu na trwałość nawierzchni drogowych.* XLVII Techniczne Dni Drogowe. Szczyrk, 13-15 października 2004r.
- [38] Tabor Z. *Wyznaczenie obciążenia ruchem projektowanych nawierzchni po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej.* „Magazyn Autostrady” 10/2005.

-
- [39] Wardega R. *Pomiar obciążenia nawierzchni pojazdami w ruchu*. „Drogownictwo” 10/2005.

Źródła internetowe

- [40] <http://www.drogi.com/>
[41] <http://www.gddkia.gov.pl/>
[42] <http://www.ibdim.edu.pl/>
[43] <http://www.road.pl/>
[44] <http://www.standardsforhighways.co.uk/>
[45] <http://www.trl.co.uk/>