Instytut Badawczy Dróg i Mostów
Zakład Technologii Nawierzchni

TN-256: Weryfikacja i uaktualnienie Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych Zadania 1:4-1

Opracowali:

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

dr inż. Wojciech Bańkowski

dr inż. Cezary Kraszewski

mgr inż. Tomasz Mechowski

Kierownik Zakładu Technologii Nawierzchni

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Warszawa, listopad 2011 r.

TN-256: Weryfikacja i uaktualnienie Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Zadania 1:4-1

Spis treści

1 Wprowadzenie 4

2 Zadanie 1: Przegląd aktualnego KWRNPP oraz nowych norm, wymagań technicznych i nowego Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych oraz określenie potrzebnych zmian w KWRNPP 5

2.1 Aktualny KWRNPP 5

2.2 Nowe normy 5

2.2.1 Podłoże i warstwy drogowe niezwiązane i związane hydraulicznie 5

2.2.2 Kruszywa 8

2.2.3 Lepiszcza asfaltowe i mieszanki mineralno-asfaltowe 10

2.3 Nowe Wymagania Techniczne 11

2.4 Wykaz potrzebnych zmian w rozdziale 3 12

2.5 Wykaz potrzebnych zmian w rozdziale 4 12

2.6 Wykaz potrzebnych zmian w rozdziale 7 12

2.7 Wykaz potrzebnych zmian w rozdziale 8 13

2.8 Wykaz potrzebnych zmian w rozdziale 9 13

2.9 Wykaz potrzebnych zmian w rozdziale 10 13

2.10 Wykaz potrzebnych zmian w rozdziale 11 13

2.11 Wykaz potrzebnych zmian w załączniku B 13

2.12 Wykaz potrzebnych zmian w załączniku C 13

2.13 Wykaz potrzebnych zmian w załączniku F 13

3 Zadanie 2: Aktualizacja rozdziału 2 – Określenia 14

3.1 Określenia w obecnym KWRNPP 14

3.2 Propozycja nowych określeń 14

4 Zadanie 3: Aktualizacja rozdziału 3 - Klasyfikacja techniczna dróg i obciążenia ruchem 16

4.1 Analiza aktualnego obciążenia nawierzchni ruchem drogowym 16

4.2 Algorytm obliczeń współczynników przeliczeniowych 29

5 Zadanie 4-1: Opracowanie procedur pomiarowych badań diagnostycznych i odbiorczych nawierzchni, część 1 38

5.1 Ocena równości podłużnej planografem 38

5.2 Ocena równości poprzecznej podłużnej łatą i klinem 38

5.3 Pomiar współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3 38

5.4 Pomiar ugięć sprężystych ugięciomierzem belkowym 39

5.5 Pomiar ugięć ugięciomierzem dynamicznym FWD 39

5.6 Ocena stanu uszkodzeń powierzchniowych nawierzchni 39

5.7 Ocena stanu uszkodzeń poboczy, rowów i odwodnienia drogi 39

5.8 Ocena współpracy w pęknięciu odbitym w nawierzchni półsztywnej 40

1 Wprowadzenie

Obecnie obowiązujący Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych został opracowany na zlecenie GDDP w IBDiM przez powołaną w tym celu Grupę Roboczą z udziałem ekspertów z IBDiM i innych instytucji. Katalog został wprowadzony do stosowania przez Generalnego Dyrektora Dróg Publicznych 23 lutego 2001 r. Katalog ten był uzupełnieniem wcześniej opracowanego Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych (1997).

W ostatnim dziesięcioleciu nastąpiło wiele istotnych zmian w budownictwie drogowym w świecie i w Polsce. Wśród nich należy wymienić:

- wzrost natężenia ruchu drogowego
- zwiększenie agresywności pojazdów ciężarowych na nawierzchnie drogowe (upowszechnienie pojazdów z osiami tylnymi Super Singles)
- pojawienie się nowych technologii w budowie i remontach nawierzchni drogowych, np. mieszanki SMA, asfalt porowaty, beton asfaltowy o wysokim module sztywności, Kompaktasfalt, mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło i na półciepło
- pojawienie się w Polsce nowego problemu – hałasu drogowego, wymagające stosowania przesłon akustycznych w terenach zabudowanych, bądź „cichych nawierzchni"
- pojawienie się i upowszechnienie stosowania nowych materiałów, np. asfalty modyfikowane polimerami, asfalty modyfikowane gumą, asfalty wielorodzajowe
- postęp w metodyce badań materiałów
- postęp w projektowaniu konstrukcji nawierzchni lub wzmacniania nawierzchni, np. nowa metoda projektowania w USA Mechanical-Empirical Pavement Design Guide
- zwiększanie okresu eksploatacji nawierzchni – dotychczas powszechnie przyjęty okres eksploatacji nawierzchni wynosi 20 lat, wzrost natężenia ruchu drogowego i oczekiwanie użytkowników dróg minimalizacji utrudnień w ruchu drogowym powoduje zwiększenie projektowanego okresu eksploatacji nawierzchni do 30 lat, pojawiło się pojęcie „nawierzchni długowiecznej" o okresie eksploatacji ponad 50 lat – przy założeniu, że w projektowym okresie eksploatacji wymianie będzie polegała jedynie warstwa ścieralna, bez ingerencji w warstwy niższe (wiążącą i podbudowę)
- postęp w diagnostyce stanu nawierzchni, nowe nieniszczące metody badań (np. georadar), nowy sprzęt rejestrujący stan nawierzchni (pojazdy wyposażone w kamery)
- zmiany w normalizacji – przystąpienie Polski do Unii Europejskiej spowodowało włączenie Polski do europejskiego systemu normalizacyjnego
- zmiany organizacyjne w administracji drogowej.

Zmiany te powodują, że konieczne jest zaktualizowanie obecnie obowiązującego Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. Podjęta w ramach niniejszej pracy badawczej aktu aktualizacja KWRNPP będzie uzupełnieniem wcześniej podjętej pracy w Politechnice Gdańskiej na zlecenie GDDKiA opracowania aktualizacji Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych.

2 Zadanie 1: Przegląd aktualnego KWRNPP oraz nowych norm, wymagań technicznych i nowego Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych oraz określenie potrzebnych zmian w KWRNPP

2.1 Aktualny KWRNPP

W obecnym KWRNPP wskazane są zmiany:

- klasyfikacja i kategorie ruchu wskutek wzrostu obciążenia i natężenia ruchu drogowego, w tym zmiana współczynników przeliczeniowych pojazdów oraz osi obliczeniowej ze 100 kN do 115 kN
- metodyka diagnostyki i analiza oceny stanu nawierzchni
- zalecenia technologiczne – nowe materiały i technologie
- naprawa nawierzchni w obszarze wpływów górniczych
- załącznik A: sposoby wyznaczania ruchu całkowitego
- załącznik B: moduł sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej (ograniczenie liczby metod badań zgodnie z dotychczasowymi doświadczeniami)
- załącznik C: procedury pomiarowe i badawcze (nowy sprzęt i metody pomiarowe)
- załącznik D: metody analityczne obliczania modułu sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej (aktualizacja)
- załącznik E:zestawienie programów komputerowych wspomagających metody mechanistyczne projektowania konstrukcji nawierzchni (uzupełnienie o nowe programy, np. MEPDG)
- załącznik F: karty technik napraw (uwzględnienie zmian materiałowych i technologicznych).

2.2 Nowe normy

W ostatnich latach nastąpiły istotne zmiany w polskiej normalizacji. Wprowadzono do stosowania normy europejskie przystosowane do warunków polskich PN-EN. Dotyczy to wszystkich dziedzin budownictwa drogowego: geotechniki, nawierzchni asfaltowych i betonowych, materiałów: kruszyw, lepiszczy asfaltowych, mieszanek mineralno-asfaltowych, podbudów z mieszanek niezwiązanych i związanych spoiwami hydraulicznymi.

2.2.1 Podłoże i warstwy drogowe niezwiązane i związane hydraulicznie

2.2.1.1 Podłoże gruntowe

Od czasu wydania KWRNPP nastąpiło wiele zmian w normalizacji. Wprowadzono nowe normy PN-EN oraz opracowano Wytyczne Techniczne adoptujące te normy do stosowania w Polsce WT 4 i WT 5.

Ponadto, w związku z wprowadzeniem Eurokodu 7 przyjęta została nowa klasyfikacja gruntów, zupełnie inna niż dotychczasowa stosowana w Polsce. Zmieniły się nazwy gruntów oraz wprowadzono nowe normy dot. badań gruntów. Wynika stąd konieczność nowelizacji KWRNPP w zakresie podłoża gruntowego i jego oceny (rozdz. 4) oraz mrozoodporności (rozdz. 8).

Uzasadnienie:

W 2006 roku do zbioru polskich norm została wprowadzona nowa dwuczęściowa norma dotycząca oznaczania i klasyfikowania gruntów. Podział na frakcje przyjęty w nowej normie europejskiej (PN-EN ISO 14688-1) odbiega od dotychczasowej klasyfikacji polskiej. Wprawdzie frakcje: iłowa, pyłowa, piaskowa, żwirowa w zasadzie pozostają niemal zgodne z frakcjami według dotychczasowej PN, zmieniły się natomiast granica frakcji pyłowej z iłową z 0,05 mm na 0,063 mm i granica frakcji żwirowej z kamienistą z 40 mm na 63 mm. Nie jest możliwe jednoznaczne przejście pomiędzy nową i dotychczas obowiązującą klasyfikacją. Nową klasyfikację gruntów należy uwzględnić w katalogu KWRNPP, szczególnie w punkcie 4.2.4. Ocena stanu podłoża istniejących nawierzchni.

W 2010 roku zostały także wprowadzone Eurokody – nowe normy projektowania. Wśród nich jest także Eurokod 7-2 Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego. Do zbioru Polskich norm wprowadzono także 12 specyfikacji technicznych dotyczących badań laboratoryjnych gruntów, zharmonizowanych z Eurokodem.

Poniżej zamieszczono wykaz norm dotyczących badań podłoża gruntowego, które należy uwzględnić przy nowelizacji KWRNPP.

Wykaz norm:

- PKN-CEN ISO/TS 17892-1:2009
  Badania geotechniczne -- Badania laboratoryjne gruntów -- Część 1: Oznaczanie wilgotności
- PKN-CEN ISO/TS 17892-2:2009
  Badania geotechniczne -- Badania laboratoryjne gruntów -- Część 2: Oznaczanie gęstości gruntów drobnoziarnistych
- PKN-CEN ISO/TS 17892-3:2009
  Badania geotechniczne -- Badania laboratoryjne gruntów -- Część 3: Oznaczanie gęstości właściwej - Metoda piknometru
- PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009
  Badania geotechniczne -- Badania laboratoryjne gruntów -- Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego
- PKN-CEN ISO/TS 17892-5:2009
  Badania geotechniczne -- Badania laboratoryjne gruntów -- Część 5: Badanie edometryczne gruntów
- PKN-CEN ISO/TS 17892-6:2009
  Badania geotechniczne -- Badania laboratoryjne gruntów -- Część 6: Badanie penetrometrem stożkowym
- PKN-CEN ISO/TS 17892-7:2009
  Badania geotechniczne -- Badania laboratoryjne gruntów -- Część 7: Badanie na ściskanie gruntów drobnoziarnistych w jednoosiowym stanie naprężenia
- PKN-CEN ISO/TS 17892-8:2009
  Badania geotechniczne -- Badania laboratoryjne gruntów -- Część 8: Badanie gruntów nieskonsolidowanych w aparacie trójosiowego ściskania bez odpływu wody
- PKN-CEN ISO/TS 17892-9:2009
  Badania geotechniczne -- Badania laboratoryjne gruntów -- Część 9: Badanie gruntów w aparacie trójosiowego ściskania po nasyceniu wodą
- PKN-CEN ISO/TS 17892-10:2009
  Badania geotechniczne -- Badania laboratoryjne gruntów -- Część 10: Badanie w aparacie bezpośredniego ścinania

- PKN-CEN ISO/TS 17892-11:2009
  Badania geotechniczne -- Badania laboratoryjne gruntów -- Część 11: Badanie filtracji przy stałym i zmiennym gradiencie hydraulicznym
- PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009
  Badania geotechniczne -- Badania laboratoryjne gruntów -- Część 12: Oznaczanie granic Atterberga
- PN-EN 1997-2:2009
  Eurokod 7 -- Projektowanie geotechniczne -- Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego
- PN-EN 1997-2:2009/AC:2010
  Eurokod 7 -- Projektowanie geotechniczne -- Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego
- PN-EN 1997-2:2009/Ap1:2010
  Eurokod 7 -- Projektowanie geotechniczne -- Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego
- PN-EN ISO 14688-1:2006
  Badania geotechniczne -- Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów -- Część 1: Oznaczanie i opis
- PN-EN ISO 14688-2:2006
  Badania geotechniczne -- Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów -- Część 2: Zasady klasyfikowania
- PN-EN ISO 14688-2:2006/Ap1:2010
  Badania geotechniczne -- Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów -- Część 2: Zasady klasyfikowania
- PN-EN ISO 22475-1:2006
  Rozpoznanie i badania geotechniczne -- Pobieranie próbek metodą wiercenia i odkrywek oraz pomiary wód gruntowych -- Część 1: Techniczne zasady wykonania (oryg.)
- PN-EN ISO 22476-2:2005
  Rozpoznanie i badania geotechniczne -- Badania polowe -- Część 2: Sondowanie dynamiczne (oryg.)
- PN-EN ISO 22476-3:2005
  Rozpoznanie i badania geotechniczne -- Badania polowe -- Część 3: Sonda cylindryczna SPT (oryg.)
- PN-EN ISO 22476-12:2009
  Rozpoznanie i badania geotechniczne -- Badania polowe -- Część 12: Badanie sondą stożkową (CPTM) o końcówce mechanicznej (oryg.)

2.2.1.2 Badania podłoża gruntowego

Wprowadzone zostały do praktyki nowe metody badań podłoża gruntowego, które są stosowane pioniersko Polsce, na podstawie instrukcji producenta lub indywidualnych korelacji. Metody badania podłoża i poszczególnych warstw nawierzchni są niewystarczająco umocowane przepisami (brak procedury badania VSS dla warstw konstrukcyjnych, brak metody badania CBR polowego, brak procedury badawczej płytą dynamiczną), co wymaga opracowania procedur w załączniku KWRNPP. Te metody badań podłoża często nie są honorowane (z wyjątkiem VSS) przez nadzór z uwagi na brak polskich instrukcji, czy procedur. Badanie VSS ujęte w normie na roboty ziemne PN-S-02205 dotyczy tylko robót ziemnych, brak jest natomiast procedury dot. badań podbudów. Chodzi szczególnie o stosowanie ułamka ¾ we wzorze.

Zamieszczenie tych instrukcji w KWRNPP znacznie uprościło by interpretacje badań oceny podłoża gruntowego nowymi metodami i ujednoliciło dotychczas stosowane metody (VSS). Jako dodatkowe załączniki planuje się opracować następujące metody badań:

- Badanie zagęszczenia i nośności podłoża i warstw niezwiązanych lekką płytą dynamiczną – moduł Evd
- Badanie nośności VSS podłoża i warstw nośnych – moduły Ev
- Badanie wskaźnika CBR podłoża sondą DCP wg ASTM D6951

Celem wprowadzenia nowych załączników jest uporządkowanie metod badań (VSS) i wprowadzenie nowych badań, które nie mają podstaw stosowania w Polsce (Evd, DCP).

2.2.1.3 Warstwy związane i niezwiązane hydraulicznie

Zmieniły się również normy dotyczące badań dla materiałów niezwiązanych i związanych hydraulicznie – normy serii PN-EN 13286-xx. Wymagana jest aktualizacja rozdziałów KWRNPP w miejscach, gdzie przywołane są stare normy. Wprowadzono również wymagania dla mieszanek niezwiązanych i związanych hydraulicznie WT-4 i WT-5, co należy uwzględnić w nowelizacji KWRNPP.

Poniżej przedstawiono wykaz nowych norm i przepisów technicznych, które obecnie obowiązują i należy je uwzględnić w KWRNPP.

- Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych WT-4 2010 Wymagania Techniczne
- Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych WT-5 2010 Wymagania Techniczne
- **PN-EN 13285** - mieszanki niezwiązane – Wymagania
- **PN-EN 13286-47** – Mieszanki mineralne niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym Część 47: Metody badań dla określenia nośności, kalifornijski wskaźnik nośności CBR, natychmiastowy wskaźnik nośności i pęcznienia liniowego.
- **PN-EN 14227 1** - Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Wymagania - Część 1: Mieszanki związane cementem.
- **PN-EN 14227 2**: Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Wymagania - Część 2: Mieszanki związane żużlem.
- **PN-EN 14227 3**: Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Wymagania - Część 3: Mieszanki związane popiołem lotnym.
- **PN-EN 14227 5**: Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Wymagania - Część 5: Mieszanki związane spoiwem drogowym.
- **PN-EN 13286-41**: Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym - Część 41: Metoda oznaczania wytrzymałości na ściskanie mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym
- **PN-EN 13286-43**: Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym - Część 43: Metoda oznaczania modułu sprężystości mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym
- **ASTM D6951** - 09 Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications

2.2.1.4 Mrozoodporność

Została wycofana norma PN-81/B-03020 zawierająca głębokości przemarzania w Polsce. Norma ta została zastąpiona Eurokodem 7 PN-EN 1997-1:2008, ale brak tam jest mapy. W związku z tym istnieje konieczność zawarcia mapy ze strefami przemarzania w KWRNPP. Wymaga to przeanalizowania dostępnych prac na ten temat (ITB) gdyż po wprowadzeniu Eurokodu 7 były prowadzone prace nad nowelizacją tej mapy.

2.2.2 Kruszywa

Wprowadzono nowe normy PN-EN dotyczące kruszyw do mieszanek mineralno-asfaltowych:

- PN-EN 13043 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utrwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu.
- PN-EN 196-2 Metody badania cementu - Analiza chemiczna cementu.
- PN-EN 196-6 Metody badania cementu - Oznaczanie stopnia zmielenia.
- PN-EN 459-2 Wapno budowlane - Część 2: Metody badań.
- PN-EN 932-3 Badania podstawowych właściwości kruszyw - Procedura i terminologia uproszczonego opisu petrograficznego.
- PN-EN 932-5 Badania podstawowych właściwości kruszyw - Część 5: Wyposażenie podstawowe i wzorcowanie.
- PN-EN 933-1 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Oznaczanie składu ziarnowego - Metoda przesiewania.
- PN-EN 933-2 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Oznaczanie składu ziarnowego - Nominalne wymiary otworów sit badawczych.
- PN-EN 933-3 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Oznaczanie kształtu ziaren za pomocą wskaźnika płaskości.
- PN-EN 933-4 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Część 4: Oznaczanie kształtu ziaren - Wskaźnik kształtu.
- PN-EN 933-5 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Oznaczanie procentowej zawartości ziaren o powierzchniach powstałych w wyniku przekruszenia lub łamania kruszyw grubych.
- PN-EN 933-6 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Część 6: Ocena właściwości powierzchni - Wskaźnik przepływu kruszywa.
- PN-EN 933-9 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Ocena zawartości drobnych cząstek - Badania błękitem metylenowym.
- PN-EN 933-10 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Część 10: Ocena zawartości drobnych cząstek - Uziarnienie wypełniaczy (przesiewanie w strumieniu powietrza).
- PN-EN 1097-2 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Metody oznaczania odporności na rozdrabianie.
- PN-EN 1097-3 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Oznaczanie gęstości nasypowej i jamistości.
- PN-EN 1097-4 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Część 4: Oznaczanie pustych przestrzeni suchego, zagęszczonego wypełniacza.
- PN-EN 1097-5 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Część 5: Oznaczanie zawartości wody przez suszenie w suszarce z wentylacją.
- PN-EN 1097-6 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Część 6: Oznaczanie gęstości ziaren i nasiąkliwości.
- PN-EN 1097-7 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Część 7: Oznaczanie gęstości wypełniacza - Metoda piknometryczna.
- PN-EN 1097-8 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Część 8: Oznaczanie polerowalności kamienia.
- PN-EN 1367-1 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych - Część 1: Oznaczanie mrozoodporności.
- PN-EN 1367-3 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych - Część 3: Badanie bazaltowej zgorzeli słonecznej metodą gotowania.
- PN-EN 1367-6 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych -- Część 6: Mrozoodporność w obecności soli
- PN-EN 12697-11 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 11: Określanie powiązania pomiędzy kruszywem i asfaltem.
- PN-EN 1744-1 Badania chemicznych właściwości kruszyw - Analiza chemiczna.

- PN-EN 1744-4 Badania chemicznych właściwości kruszyw - Część 4: Oznaczanie podatności wypełniaczy do mieszanek mineralno-asfaltowych na działanie wody.
- PN-EN 13179-1 Badania kruszyw wypełniających stosowanych do mieszanek bitumicznych - Część 1: Badanie metodą Pierścienia i Kuli.
- PN-EN 13179-2 Badania kruszyw wypełniających stosowanych do mieszanek bitumicznych - Część 2: Liczba bitumiczna.
- PN-ISO 565 Sita kontrolne - Tkanina z drutu, blacha perforowana i blacha cienka perforowana elektrochemicznie - Wymiary nominalne oczek.

2.2.3 Lepiszcza asfaltowe i mieszanki mineralno-asfaltowe

- PN-EN 12591 Asfalty i produkty asfaltowe - Wymagania dla asfaltów drogowych
- PN-EN 12597 Asfalty i produkty asfaltowe - Terminologia
- PN-EN 13808 Zasady klasyfikacji kationowych emulsji asfaltowych
- PN-EN 14023 Asfalty i lepiszcza asfaltowe - Zasady specyfikacji dla asfaltów modyfikowanych polimerami
- PN-EN 13043 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utrwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu
- PN-EN 12697-1 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 1: Zawartość lepiszcza rozpuszczalnego
- PN-EN 12697-2 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 2: Oznaczanie składu ziarnowego
- PN-EN 12697-3 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 3: Odzyskiwanie asfaltu - - Wyparka obrotowa
- PN-EN 12697-4 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 4: Odzyskiwanie asfaltu - Kolumna do destylacji frakcyjnej
- PN-EN 12697-5 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 5: Oznaczanie gęstości
- PN-EN 12697-6 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 6: Oznaczanie gęstości objętościowej metodą hydrostatyczną
- PN-EN 12697-8 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 8: Oznaczanie zawartości wolnej przestrzeni
- PN-EN 12697-11 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 11: Określenie powiązania pomiędzy kruszywem i asfaltem
- PN-EN 12697-12 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 12: Określanie wrażliwości na wodę
- PN-EN 12697-17 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 17: Ubytek ziaren
- PN-EN 12697-18 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 18: Spływanie lepiszcza
- PN-EN 12697-20 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 20: Penetracja próbek sześciennych lub Marshalla
- PN-EN 12697-22 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 22: Koleinowanie
- PN-EN 12697-23 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 23: Określanie pośredniej wytrzymałości na rozciąganie próbek asfaltowych
- PN-EN 12697-24 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 24: Odporność na zmęczenie
- PN-EN 12697-26 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 26: Sztywność

- PN-EN 12697-27 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 27: Pobieranie próbek
- PN-EN 12697-28 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 28: Przygotowanie próbek do oznaczania zawartości lepiszcza, zawartości wody i uziarnienia
- PN-EN 12697-29 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metoda badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 29: Pomiar próbki z zagęszczonej mieszanki mineralno-asfaltowej
- PN-EN 12697-30 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 30: Przygotowanie próbek zagęszczonych przez ubijanie
- PN-EN 12697-33 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 33: Przygotowanie próbek zagęszczanych walcem
- PN-EN 12697-35 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 35: Mieszanie laboratoryjne
- PN-EN 12697-38 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 38: Podstawowe wyposażenie i kalibracja
- PN-EN 12697-39 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 39: Oznaczanie zawartości lepiszcza rozpuszczalnego metodą spalania
- PN-EN 12697-40 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 40: Wodoprzepuszczalność „in-situ”
- PN-EN 12697-42 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco - Część 42: Zawartość zanieczyszczeń w destrukcie asfaltowym
- PN-EN 13108-1 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 1: Beton asfaltowy
- PN-EN 13108-2 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 2: Beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw
- PN-EN 13108-4 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 5: Mieszanka HRA
- PN-EN 13108-5 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 5: Mieszanka SMA
- PN-EN 13108-6 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 6: Asfalt lany
- PN-EN 13108-7 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 7: Asfalt porowaty
- PN-EN 13108-8 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 8: Destrukt asfaltowy
- PN-EN 13108-20 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 20: Badanie typu
- PN-EN 13108-21 Mieszanki mineralno-asfaltowe - Wymagania - Część 21: Zakładowa Kontrola Produkcji.

2.3 Nowe Wymagania Techniczne

W celu poprawnego wdrożenia w Polsce nowych norm PN-EN dotyczących kruszyw, lepiszczy asfaltowych, mieszanek mineralno-asfaltowych, emulsji asfaltowych, mieszanek mineralnych niezwiązanych i związanych hydraulicznie zostały opracowane Wymagania Techniczne:

- WT-1 Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach krajowych
- WT-2 Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne
- WT-3 Kationowe emulsje asfaltowe na drogach publicznych
- WT-4 Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych. Wymagania techniczne
- WT-5 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Wymagania techniczne.

2.4 Wykaz potrzebnych zmian w rozdziale 3

1. Konieczna jest zmiana klasyfikacji ruchu. Związane jest to ze znacznym zwiększeniem, w stosunku do roku pierwszego wydania KWRNPP, obciążeń nawierzchni od pojazdów ciężarowych. Zarówno w projektowaniu nowych dróg i autostrad jak i podczas opracowywania konstrukcji wzmocnienia nawierzchni coraz częściej projektanci spotykają się z prognozowanym obciążeniem drogi kilkukrotnie przewyższającym liczbę osi obliczeniowych przyjmowanych dla ruchu kategorii KR6 (powyżej 14,6 mln. osi 100 kN). Dlatego też, w uzgodnieniu z Generalną Dyrekcją Dróg Krajowych i Autostrad zaproponowano wprowadzenie nowej kategorii ruchu KR7. Kategoria ruchu KR6 została ograniczona do 3500 osi obliczeniowych na dobę, na pas obliczeniowy.
2. Należy zweryfikować współczynniki przeliczeniowe sylwetek pojazdów. Podane w KWRNPP współczynniki opracowano w 1997 roku, bazując na Generalnym Pomiarze Ruchu z 1995 roku. W międzyczasie zmieniły się m.in. dopuszczalne naciski pojazdów na nawierzchnię, struktura ruchu (większy udział pojazdów ciężarowych z przyczepami) oraz tabor samochodów ciężarowych. Zaistniały również nowe możliwości analizy obciążeń przekazywanych przez pojazdy dzięki instalowaniu nowych wag preselekcyjnych z dostępem do danych za pośrednictwem Internetu. W ramach pracy skonfrontowane zostaną różne podejścia do sposobu wyznaczenia współczynników przeliczeniowych, m.in. opracowane przez IBDiM oraz Politechnikę Gdańską.

2.5 Wykaz potrzebnych zmian w rozdziale 4

1. Konieczne jest opracowanie nowych procedur pomiarowych:
   - ocena równości podłużnej planografem,
   - ocena równości poprzecznej i podłużnej łatą i klinem,
   - pomiar współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3,
   - pomiar ugięć sprężystych ugięciomierzem belkowym,
   - pomiar ugięć ugięciomierzem dynamicznym FWD,
   - ocena stanu uszkodzeń powierzchniowych nawierzchni,
   - ocena stanu uszkodzeń poboczy, rowów i odwodnienia drogi
   - ocena współpracy w pęknięciu odbitym w nawierzchni półsztywnej
2. Ustalenie grubości i rodzaju warstw konstrukcyjnych można obecnie wykonywać stosując metody radarowe. Należy to uwzględnić w KWRNPP, podając ogólne zasady realizacji tego typu badań oraz wskazać je jako zalecane.
3. W rozdziale 4.2.5.5. podano graniczne wartości ugięć miarodajnych (dopuszczalnych), dla których nie ma potrzeby wzmacniania konstrukcji nawierzchni dróg kategorii KR1-KR4. W ocenie wartości wymaganych należy operować pojęciem ugięcia obliczeniowego. Ugięcie miarodajne nie uwzględnia warunków wykonania badania ugięć (współczynniki korygujące: f_P, f_S i f_T). W związku z powyższym weryfikacji wymagają również wartości podane w tablicy 13.

2.6 Wykaz potrzebnych zmian w rozdziale 7

1. W części rozdziału dotyczącej metody ugięć należy zweryfikować wartości współczynników korygujących f_P, f_S . Podane w KWRNPP wartości są bardzo przybliżone i stosowanie ich w obecnej postaci sprawia projektantom sporo problemów. W ustaleniu nowych współczynników korygujących f_P, f_S pomocne będą wyniki prac badawczych wykonanych przez IBDiM dotyczących wpływu rodzaju podbudowy oraz sezonowości na wielkość rejestrowanych wartości ugięć.
2. W podrozdziale 7.4.5. uaktualnienia wymaga tablica 16, w której podano współczynniki materiałowe warstw nakładek wzmacniających. Obecnie stosuje się jako warstwy

konstrukcyjne nowe, nieuwzględnione w tablicy materiały, np. beton asfaltowy o wysokim module sztywności, czy też mieszankę mineralno cementowo emulsyjną.

3. W Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych przyjęto cztery sezony: zimowy, wiosenny, letni i jesienny, którym przypisano temperatury równoważne. W KWRNPP dopuszczono stosowanie jednej temperatury równoważnej, dla całego roku. W wyniku badań wykonanych w IBDiM wyznaczono tę temperaturę (10°C). Opracowano również zasadę przeliczania modułów sprężystości warstw asfaltowych do temperatury równoważnej. O te informacje należy wzbogacić aktualizowany katalog.

2.7 Wykaz potrzebnych zmian w rozdziale 8

1. Konieczna jest aktualizacja zapewnienia mrozoodporności podłoża zgodnie ze wskazaniem wcześniejszym wynikającym ze zmiany norm.

2.8 Wykaz potrzebnych zmian w rozdziale 9

1. Potrzebne jest wprowadzenie zapisu o uszczelnieniu krawędzi warstw asfaltowych nawierzchni, podobnie jak w WT-2 2010.

2.9 Wykaz potrzebnych zmian w rozdziale 10

1. Potrzebne są zmiany w:
    a. doborze materiałów
    b. grubości warstw
    c. wyboru techniki napraw
    d. zaleceniach wyboru konstrukcji w specjalnych warunkach obciążenia
2. Potrzebne jest ponadto uzupełnienie zaleceń napraw nawierzchni z warstwami z lepiszczem smołowym (procedura badania obecności smoły w nawierzchni).

2.10 Wykaz potrzebnych zmian w rozdziale 11

1. Biorąc pod uwagę postęp materiałowy i technologiczny, niezbędna jest aktualizacja zaleceń dotyczących naprawy nawierzchni w obszarach wpływów górniczych.

2.11 Wykaz potrzebnych zmian w załączniku B

1. Potrzebna jest weryfikacja metodyki badawczej modułu sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych.

2.12 Wykaz potrzebnych zmian w załączniku C

1. Przewiduje się zmiany w procedurach pomiarowych (diagnostyka stanu) oraz badawczych (mieszanki mineralno-asfaltowe).

2.13 Wykaz potrzebnych zmian w załączniku F

1. Uwzględniając postęp materiałowy i technologiczny, konieczne są zmiany w Kartach Technik.

3 Zadanie 2: Aktualizacja rozdziału 2 – Określenia

3.1 Określenia w obecnym KWRNPP

1. **Remont (odnowa) drogi** - wykonywanie robót remontowych przywracających pierwotny stan drogi, z wyłączeniem robót konserwacyjnych, porządkowych i innych zmierzających do zwiększenia bezpieczeństwa i wygody ruchu, w tym także odśnieżanie i zwalczanie śliskości zimowej.
2. **Przebudowa (modernizacja) drogi** - wykonywanie robót, w których wyniku następuje podwyższenie parametrów technicznych i eksploatacyjnych istniejącej drogi.
3. **Kontrola i ocena stanu nawierzchni** - bieżące obserwacje stanu nawierzchni i okresowe oceny jej stanu.
4. **Czasza ugięć nawierzchni** – ugięcia nawierzchni pod zadanym obciążeniem, zarejestrowane w osi działania obciążenia oraz w kilku punktach położonych w określonych odległościach od osi.
5. **Odcinek jednorodny** – odcinek drogi jednorodny pod względem konstrukcji nawierzchni, natężenia ruchu i wielkości ugięć oraz ewentualnie innych cech istotnych z punktu widzenia projektanta.
6. **Moduł sprężystości** – stała charakteryzująca materiał poddany działaniu różnych obciążeń zewnętrznych (sprężystych). Moduł sprężystości jest stosunkiem naprężenia do odkształcenia. W zależności od rodzaju obciążenia zewnętrznego rozróżnia się:
7. **moduł sprężystości wzdłużnej** w rozciąganiu i ściskaniu
8. **moduł sprężystości poprzecznej** w ścinaniu i skręcaniu
9. **moduł sprężystości objętościowej** w sprężaniu wszechstronnym (ciśnieniu).
10. **Moduł zespolony** – liczba zespolona równa stosunkowi zespolonego naprężenia do zespolonego odkształcenia w badaniach ośrodków liniowo lepkosprężystych pod obciążeniem dynamicznym lub powtarzalnym.
11. **Moduł sztywności** – przeniesienie pojęcia modułu sprężystości do charakterystyki asfaltu lub mieszanki mineralno-asfaltowej, które są materiałami lepkosprężystymi i wobec których pojęcie modułu sprężystego nie ma zastosowania [i]. Moduł sztywności asfaltu lub mieszanki mineralno-asfaltowego jest terminem używanym zwyczajowo jako zastępczy wobec **bezwzględnej wartości modułu zespolonego** (ang. *norm of complex modulus*) lub **modułu sztywności sprężystej** (ang. *resilient modulus of elasticity* lub *elastic stiffness modulus*).
12. **Inne określenia** zgodne z obowiązującymi normami oraz Katalogiem Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych (GDDP, IBDiM, 1997) [ii], wytycznymi Systemu Oceny Stanu Nawierzchni SOSN (GDDP, 1989) [iii] wraz z aneksami 1-4 i Katalogiem wybranych uszkodzeń nawierzchni bitumicznych dla potrzeb „SOSN" [iv].

3.2 Propozycja nowych określeń

1. **Remont (odnowa) drogi** - wykonywanie robót remontowych przywracających pierwotny stan drogi, z wyłączeniem robót konserwacyjnych, porządkowych i innych zmierzających do zwiększenia bezpieczeństwa i wygody ruchu, w tym także odśnieżanie i zwalczanie śliskości zimowej. ***Bez zmian***
2. **Przebudowa (modernizacja) drogi** - wykonywanie robót, w których wyniku następuje podwyższenie parametrów technicznych i eksploatacyjnych istniejącej drogi. ***Bez zmian***

3. **Kontrola i ocena stanu nawierzchni** - bieżące obserwacje stanu nawierzchni i okresowe oceny jej stanu. ***Bez zmian***
4. **Czasza ugięć nawierzchni** – osiowo symetryczna powierzchnia opisana funkcją, w której osią jest oś przyłożonego obciążenia, zmienną odległość od tej osi, a wartości mają interpretację ugięcia . ***Zmiana***
5. **Odcinek jednorodny** – odcinek drogi jednorodny pod względem konstrukcji nawierzchni, natężenia ruchu i wielkości ugięć oraz ewentualnie innych cech istotnych z punktu widzenia projektanta. ***Bez zmian***
6. **Moduł sprężystości** – stała charakteryzująca sprężyste właściwości materiału. Moduł sprężystości jest stosunkiem naprężenia do odkształcenia w zakresie liniowej sprężystości. Rozróżnia się: ***Zmiana***
   - **moduł sprężystości wzdłużnej** przy rozciąganiu i ściskaniu
   - **moduł sprężystości poprzecznej** przy ścinaniu i skręcaniu
   - **moduł sprężystości objętościowej** przy sprężaniu wszechstronnym (ciśnieniu).
7. **Moduł zespolony** – liczba zespolona równa stosunkowi zespolonego naprężenia do zespolonego odkształcenia w zakresie właściwości liniowo lepkosprężystych.
8. **Moduł sztywności** – moduł sztywności asfaltu lub mieszanki mineralno-asfaltowego jest terminem używanym zwyczajowo jako zastępczy wobec **bezwzględnej wartości modułu zespolonego** (ang. *norm of complex modulus*) lub **modułu sztywności sprężystej** (ang. *resilient modulus of elasticity* lub *elastic stiffness modulus*). ***Zmiana***
9. **Inne określenia** zgodne z obowiązującymi normami oraz Katalogiem Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych (GDDKiA, 2013), wytycznymi Systemu Oceny Stanu Nawierzchni SOSN (GDDP, 1989) [v] wraz z aneksami 1-4 i Katalogiem wybranych uszkodzeń nawierzchni bitumicznych dla potrzeb „SOSN" [vi]. ***konieczna zmiana***

Zakres określeń i ich brzmienie będzie przedmiotem dyskusji całego zespołu w początku 2012 r.

4 Zadanie 3: Aktualizacja rozdziału 3 - Klasyfikacja techniczna dróg i obciążenia ruchem

4.1 Analiza aktualnego obciążenia nawierzchni ruchem drogowym

W rozdziale 3 aktualizacji wymagają dwa podrozdziały:

3.2. Klasyfikacja ruchu
3.3. Wyznaczenie kategorii ruchu.

Zmiana klasyfikacji ruchu związana jest ze znacznym zwiększeniem, w stosunku do roku pierwszego wydania KWRNPP, obciążeń nawierzchni od pojazdów ciężarowych. Wejście Polski do grupy państw członkowskich Unii Europejskiej pociągnęło za sobą m.in. przyjęcie zwiększonych, dopuszczalnych obciążeń od osi pojazdów w ruchu transgranicznym. Zarówno w projektowaniu nowych dróg i autostrad jak i podczas opracowywania konstrukcji wzmocnienia nawierzchni coraz częściej projektanci spotykają się z prognozowanym obciążeniem drogi kilkukrotnie przewyższającym liczbę osi obliczeniowych przyjmowanych dla ruchu kategorii KR6 (powyżej 14,6 mln. osi 100 kN). Dlatego też, w uzgodnieniu z Generalną Dyrekcją Dróg Krajowych i Autostrad zaproponowano wprowadzenie nowej kategorii ruchu KR7. Nową klasyfikację dróg według kategorii ruchu przedstawia Tablica 1.

Tablica 1 Klasyfikacja dróg według kategorii ruchu

Kategoria ruchu	Liczba osi obliczeniowych 100 kN na dobę, na pas obliczeniowy L_{100}	Liczba osi obliczeniowych 115 kN na dobę, na pas obliczeniowy L_{115}	Trwałość zmęczeniowa: liczba osi obliczeniowych 100 kN w założonym okresie obliczeniowym 20 lat N_{100}	Trwałość zmęczeniowa: liczba osi obliczeniowych 115 kN w założonym okresie obliczeniowym 20 lat N_{115}
KR1	≤ 12	≤ 7	≤ 90000	≤ 51500
KR2	$13 \div 70$	$8 \div 40$	$90001 \div 510000$	$51501 \div 291600$
KR3	$71 \div 335$	$41 \div 192$	$510001 \div 2500000$	$291601 \div 1429400$
KR4	$336 \div 1000$	$193 \div 572$	$2500001 \div 7300000$	$1429401 \div 4173800$
KR5	$1001 \div 2000$	$573 \div 1144$	$7300001 \div 14600000$	$4173801 \div 8347600$
KR6	$2001 \div 3500$	$1145 \div 2001$	$14600001 \div 25550000$	$8347601 \div 14608300$
KR7	3501 i więcej	2002 i więcej	25550001 i więcej	14608301 i więcej

Uwaga: *trwałość zmęczeniową w osiach obliczeniowych 115 kN, przeliczono z zastosowaniem prawa czwartej potęgi*

Znaczny wzrost ruchu drogowego w ostatnich kilkunastu latach oraz zmiana taboru pojazdów ciężarowych na nowe, wydajniejsze, przewożące większe ładunki zmusza do zweryfikowania dotychczas stosowanych współczynników przeliczeniowych grup pojazdów. Podane w KWRNPP współczynniki opracowano w 1997 roku, bazując na Generalnym Pomiarze Ruchu z 1995 roku.

Weryfikacji współczynników podjęto się w pracy naukowo – badawczej „Aktualizacja wartości współczynników przeliczeniowych na osie 100 kN i 115 kN na podstawie analizy aktualnej wielkości i struktury ruchu drogowego". Opracowanie to 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.

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

analizach zmian ruchu na sieci dróg krajowych skupiono się głównie na samochodach ciężarowych i autobusach, jako że one stanowią istotę rozpatrywanego zagadnienia.

W Tablicach 2 i 3 oraz na Rys. 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.

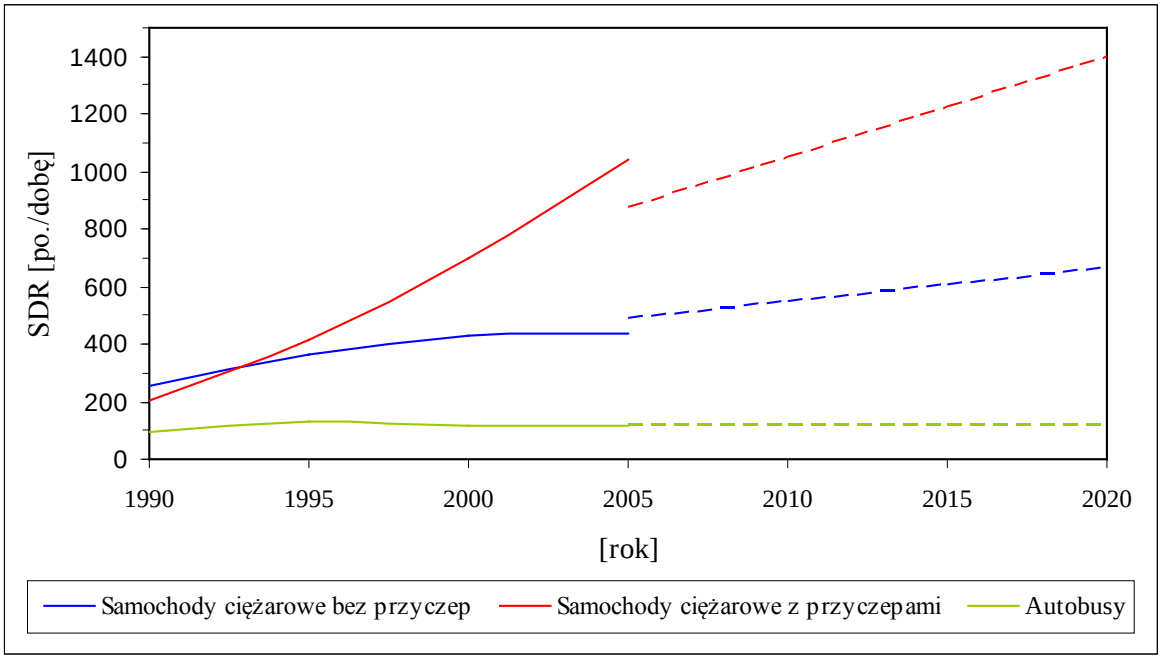
Z drugiej strony obserwuje się brak wzrostu natężenia ruchu autobusów na zamiejskiej sieci dróg krajowych. Pozwala to przypuszczać, iż prezentowane wartości nie będą ulegały w przyszłości znaczącym zmianom, a oddziaływanie tej kategorii ruchu na konstrukcje nawierzchni będzie dość dokładnie określone.

Tablica 2 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 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 1 Pomierzony i prognozowany rozwój ruchu samochodów ciężarowych i autobusów w latach 1990 - 2020

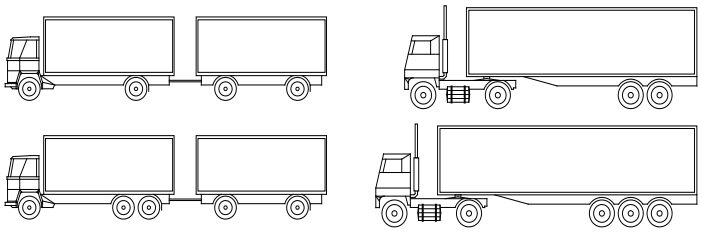
Obowiązująca metodyka wyznaczania liczby osi obliczeniowych wraz z aktualnymi wielkościami współczynników przeliczeniowych zawarta jest w *„Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych”* (opracowanie IBDiM na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych, 1997r.) [vii] (Tab. 3.4) 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)* [viii].

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 4 Współczynniki przeliczeniowe grup pojazdów na osie obliczeniowe 100 kN

Rodzaj pojazdu	*Współczynnik przeliczeniowy na osie 100 kN*
Samochody ciężarowe bez przyczep	$r_1 = 0{,}109$
Samochody ciężarowe z przyczepami 	$r_2 = 1{,}245$[1)] $r_2 = 1{,}950$[2)]
Autobusy	$r_3 = 0{,}594$

[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.

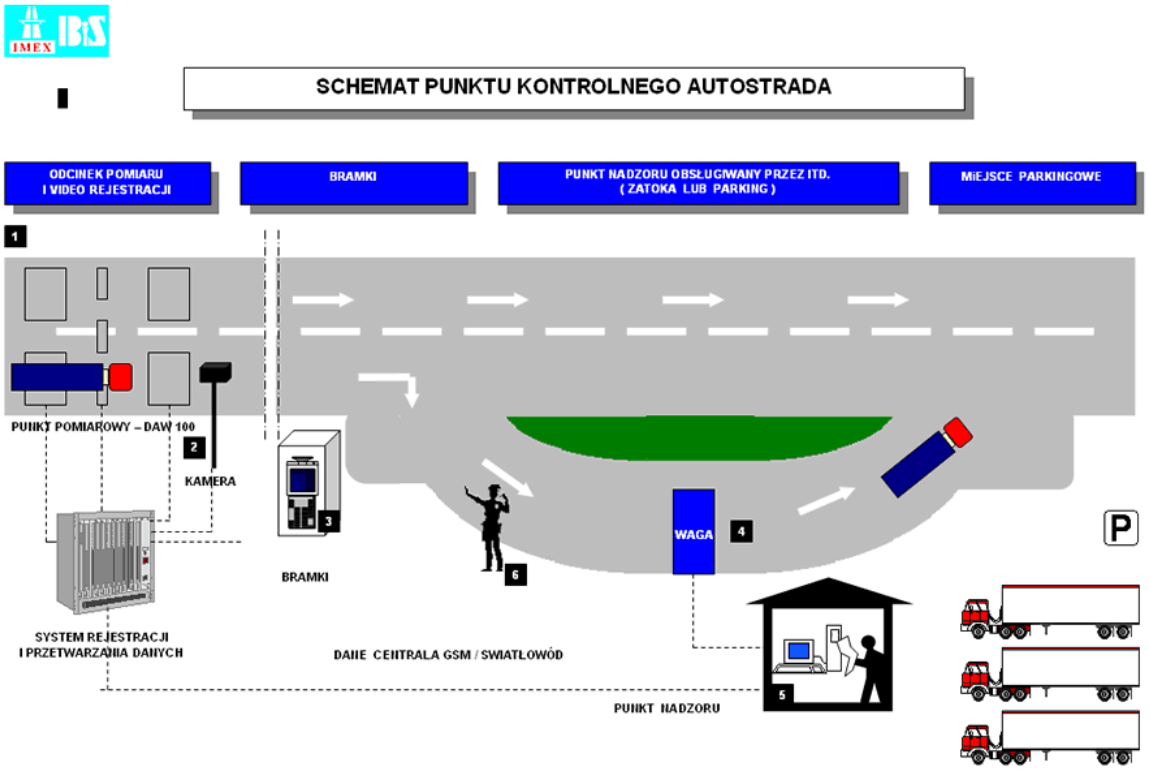
Dane tego typu można uzyskać m.in. ze stacji ważenia pojazdów, w których rejestrowane są jednocześnie:

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

Stacje służą głównie do kontroli pojazdów o nienormatywnych naciskach osi lub przekroczonych dopuszczalnych masach całkowitych. Kontrola odbywa się według następującego schematu (Rys. 2):

- umiejscowiona przed stanowiskiem kontrolnym (ok. 1 km) waga selekcyjna rejestruje poszczególne naciski osi składowych pojazdów ciężkich,
- kamera umieszczona w pobliżu wagi selekcyjnej (Rysunek 3) 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 2 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 3 Obraz z kamery selekcyjnej, (IMEX-Bis Sp. z o.o.)

Wagi przenośne wykorzystywane są z reguły do wyrywkowych 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 (Rys. 4).

Rysunek 4 Przenośny system ważenia, (IMEX-Bis Sp. z o.o.)

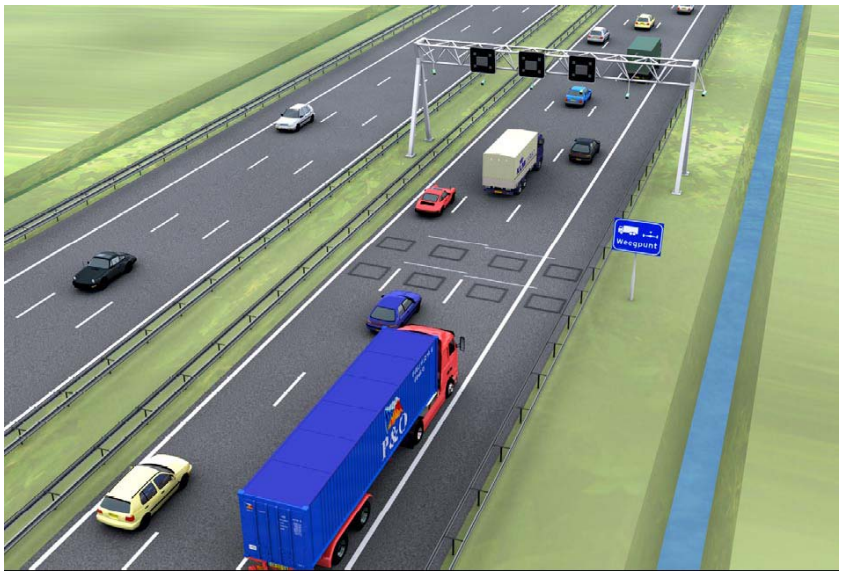
Stosowana w Polsce procedura kontroli pojazdów wydaje się być nieefektywna z kilku powodów:

- 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.

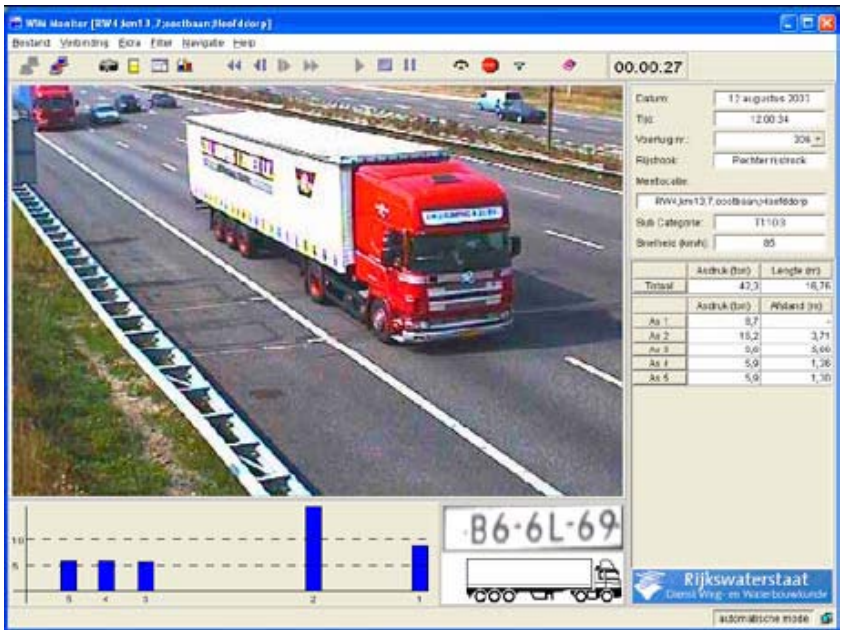
Alternatywą tej sytuacji jest zastosowanie systemów ważenia pojazdów w ruchu – WIM (Weigh In Motion). Pojęcie to należy rozumieć jako rejestrację ciężaru całego pojazdu oraz obciążeń składowych przypadających na jego osie podczas jego przejazdu z dowolną prędkością w danym przekroju drogi. Wśród zalet 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 (Rys. 5) oraz komputerową prezentację informacji uzyskanych z pomiaru (Rysunek 6).

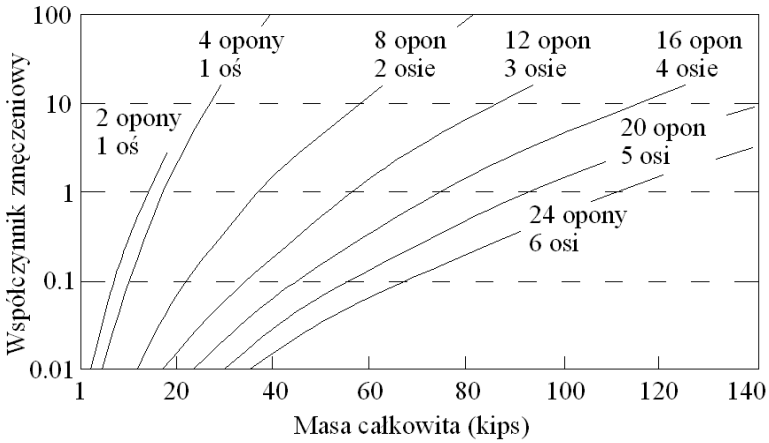


Rysunek 5 Wizualizacja punktu pomiarowego WIM, (Dienst Weg – en Waterbouwkunde)



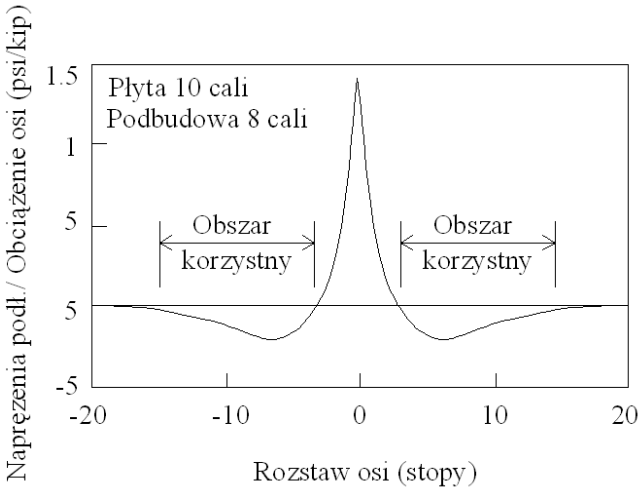
Rysunek 6 Obraz danych komputerowych uzyskanych z punktu pomiarowego WIM

Na wielkość oddziaływania pojazdów na nawierzchnię znaczny wpływ ma konfiguracja osi (oś pojedyncza, podwójna, potrójna). Wykonano na ten temat wiele badań. Wyniki jednego z takich badań przedstawia Rys. 7, na którym zilustrowano zależność pomiędzy sposobem przekazywania obciążeń na nawierzchnię a jej trwałością zmęczeniową.



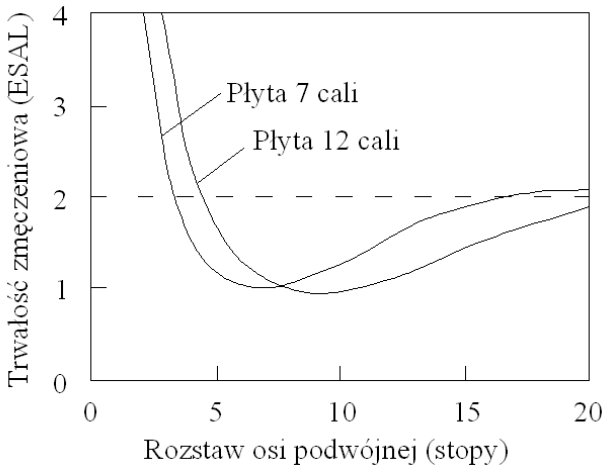
Rysunek 7 Wyniki obciążenia statycznego nawierzchni dla różnych konfiguracji osi na wielkość szkody zmęczeniowej

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, Rys. 8.



Rysunek 8 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 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 oddziaływują 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 Rys. 9 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 9 Zależność względnej szkody zmęczeniowej od rozstawu osi podwójnej

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.

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.

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, który stosuje się również w Polsce:

$$N_f^{asf} = 18{,}4C(6{,}167 \cdot 10^{-5} \varepsilon_{ha}^{-3{,}291} \mid E \mid^{-0{,}854}) \qquad \textbf{Równanie 1}$$

w którym:

ε_{ha} – odkształcenie rozciągające w spodzie dolnej warstwy asfaltowej,

$|E|$ – moduł sztywności mieszanki mineralno – asfaltowej, MPa,

$$C = 10^M \qquad \textbf{Równanie 2}$$

$$M = 4{,}84\left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0{,}69\right) \qquad \textbf{Równanie 3}$$

V_b – zawartość objętościowa asfaltu, %,

V_a – zawartość objętościowa wolnej przestrzeni, %.

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

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:

$$\varepsilon_p = k(\frac{1}{N_k})^m \qquad \textbf{Równanie 4}$$

w którym:

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,
$k = 1{,}05 \cdot 20^{-2}$
$m = 0{,}223$.

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 konstrukcje 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:

$$\lg N_k = 11{,}784 - 12{,}121(\frac{\sigma}{R_{zgin}}) \qquad \textbf{Równanie 5}$$

w którym:

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.

Istnieje szereg czynników stanowiących o wzajemnym oddziaływaniu pojazdu i nawierzchni. Wśród nich należy wyróżnić te, które decydują o pojawieniu się sił o charakterze dynamicznym. 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 programu badawczy DIVINE [ix]. 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 zawieszeń 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 zawieszeń 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.

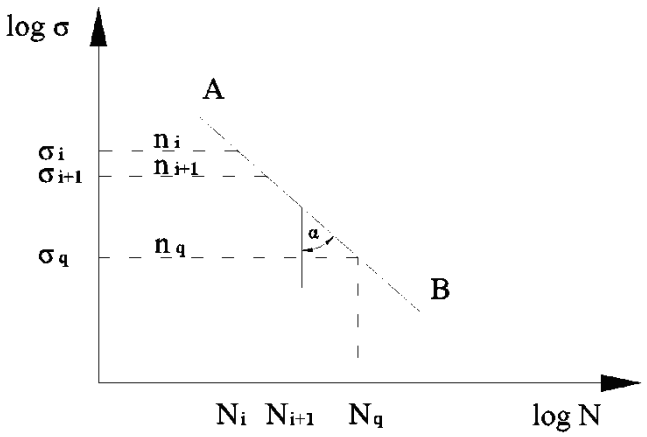
Większość produkowanych systemów zawieszenia projektowanych jest z myślą o równomiernym rozłożeniu nacisków na osie. W praktyce efektywność tej idei jest różnie reprezentowana. Na przykład dla osi potrójnej o zawieszeniu klasycznym oś najlżejsza przenosi zwykle 60 – 70 % ciężaru osi najbardziej obciążonej,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

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. Do określenia łącznego wpływu różnych obciążeń, pojawiających się na drodze wykorzystuje się hipotezę zmęczeniową Minera. W myśl tej hipotezy, konstrukcja poddana działaniu naprężeń $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_m$ i odpowiadającej

im liczbie cykli obciążeń $n_1, n_2, \ldots, n_m$ ulega zniszczeniu, gdy szkoda zmęczeniowa *D* jest równa *1* (Rys. 10):

$$D = \sum_{i=1}^{m} \frac{n_i}{N_i} = 1 \qquad \textbf{Równanie 6}$$

w którym:
N_i – dopuszczalna liczba obciążeń, jaką może przyjąć materiał przy obciążeniu σ_i.



Rysunek 10 Krzywa zmęczenia

Podstawowe założenia hipotezy Minera:

- 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.

Hipoteza Minera 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 (Rys. 3.10) opisuje równanie:

$$N_i \cdot \sigma_i^m = N_q \cdot \sigma_q^m = const \qquad \textbf{Równanie 7}$$

w którym:
$m = tg\alpha$.

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:

$$N_i = N_q \cdot (\frac{\sigma_q}{\sigma_i})^m \qquad \textbf{Równanie 8}$$

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:

$$stopień_zniszczenia = \frac{(nacisk_osi_badanej)^4}{(nacisk_osi_porównawczej)^4} \qquad \textbf{Równanie 9}$$

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:

$$A = K \cdot (\frac{P}{P_0})^{\alpha} \qquad \textbf{Równanie 10}$$

ze współczynnikami *K* i α przyjmowanymi według Tablicy 5.

Tablica 5 Współczynniki K i α uwzględniające typ konstrukcji nawierzchni i układ obciążenia do obliczenia współczynnika agresywności obciążenia ruchem

Typ nawierzchni	α	K		
		Oś pojedyncza	Oś podwójna	Oś potrójna
Podatne i asfaltowe	5	1	0,75	1,1
Półsztywne	12	1	12	113
Sztywne, betonowe:				
• Płytowe	12	1	12	113
• O ciągłym zbrojeniu	12	1	?	?

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.

Wykorzystując tę metodę Sybilski [x] przeprowadził porównanie agresywności osi oraz przykładowych pojazdów ciężarowych (tablice 6 i 7). Oś referencyjna 100 kN.

Tablica 6 Współczynniki agresywności pojedynczych osi pojazdów ciężarowych

Oś	Obciążenie osi, kN	Współczynnik agresywności osi	
		Nawierzchnia asfaltowa	Nawierzchnia betonowa
Pojedyncza	60	0,08	0,002
Pojedyncza	115	2,01	5,35
Podwójna	80	0,25	0,82
Potrójna	80	0,35	7,77
Potrójna	100	1,10	113,00

Tablica 7. Porównanie współczynników agresywności wybranych pojazdów ciężarowych

Lp.	Rodzaj pojazdu wg KTKNPP, 1997	Osie	Łączne obciążenie, kN	Rozkład obciążenia	Współczynnik agresywności pojazdu	
					Nawierzchnia podatna, asfaltowa	Nawierzchnia sztywna, betonowa
1.	Ciężarowy bez przyczepy	2	120	↓40 ↓80	0,34	0,07
2.	Ciężarowy bez przyczepy	3	200	↓40 ↓80 ↓80	0,50	1,65
3.	Ciężarowy z przyczepą	4	290	↓40 ↓90 ↓80 ↓80	1,26	0,42
4.	Ciężarowy z przyczepą	5	300	↓40 ↓100 ↓80 ↓80	1,50	2,65
5.	Ciężarowy z przyczepą (Super Singles)	5	400	↓45 ↓115 ↓80 ↓80 ↓80	3,11	28,65
6.	Ciężarowy z przyczepą (Super Singles)	5	490	↓60 ↓130 ↓100 ↓100 ↓100	7,09	262,30
7.	Ciężarowy z przyczepą (Super Singles)	6	440	↓40 ↓80 ↓80 ↓80 ↓80 ↓80	1,58	24,95

Uwagi do tablicy 7: Pojazd 5 jest pojazdem o największym dopuszczalnym ciężarze 40 ton według Dyrektywy Rady UE nr 96/53/EC z 25 lipca 1996 „W sprawie określenia maksymalnych wymiarów poszczególnych pojazdów kołowych w ruchu krajowym i ponadgranicznym na obszarze Wspólnoty oraz określenia maksymalnych ciężarów w ruchu ponadgranicznym". Pojazd 7 jest pojazdem o największym dopuszczalnym ciężarze 44 ton przewożącym kontenery ISO. Pojazd 6 jest pojazdem o największym dopuszczalnym obciążeniu osi napędowej i osi potrójnej w Holandii.

4.2 Algorytm obliczeń współczynników przeliczeniowych

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.

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, 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. 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 ±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 8.

Tablica 8 Zakres danych źródłowych

Lp.	Stacja (nr drogi)	Okres pomiarowy	Liczba pomiarów	Udział pojazdów 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.

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 wcześniej 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 wyniesie: $f_d = 1,2$.

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 [1], dla ruchu kategorii KR4,
- KR5-A konstrukcja podatna o podbudowie z kruszywa stabilizowanego mechanicznie (typ A), wg [1], dla ruchu kategorii KR5,
- KR6-A konstrukcja podatna o podbudowie z kruszywa stabilizowanego mechanicznie (typ A), wg [1], dla ruchu kategorii KR6,
- KR5-C konstrukcja podatna o podbudowie z betonu asfaltowego (typ C), wg [1], dla ruchu kategorii KR5,
- KR5-F konstrukcja półsztywna o podbudowie z chudego betonu cementowego (typ F), wg [1], dla ruchu kategorii KR5.

Dla sześciu wymienionych konstrukcji analizowano naprężenia i odkształcenia wykorzystując program komputerowy ELSYM5M. Obliczano 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 Tablicy 9.

Tablica 9 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 bliźn.	koło poj.	koło bliźn.	koło poj.	koło bliźn.
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 KR5-F II	4,9 60,6	4,1 54,8	21,6 -	21,0 -	82,5 197,0	78,9 180,0

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 Tablicy 10.

Tablica 10 Trwałość zmęczeniowa ocenianych konstrukcji

Konstrukcja	Trwałość zmęczeniowa, mln. osi 100 kN		Współczynnik kół bliźniaczych, fb
	koło pojedyncze	koło bliźniacze	
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 11. Poniżej przytoczono rezultaty tych badań, zestawione z uwzględnieniem kryterium szkody zmęczeniowej i odporności na koleinowanie dla różnych wartości ciśnienia w oponie.

Tablica 11 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.

Bazując na danych z ważeń pojazdów 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 [xi], w którym współczynnik agresywności obciążenia *A* oblicza się według wzoru:

$$A = K(\frac{P}{P_0})^{\alpha} \quad \textbf{Równanie 11}$$

Współczynniki *K* i α przyjęto jak dla nawierzchni podatnych:

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

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 a następnie wyznaczono 22 lokalizacje, na których 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.

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%.

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: dwuosiowego 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 12,
- 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 12,
- 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 12 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 13 i 14. W wartościach współczynników uwzględnione zostało przeciążenie pojazdów, przy czym wartość udziału 0% ma według autorów charakter jedynie poglądowy.

Tablica 13 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

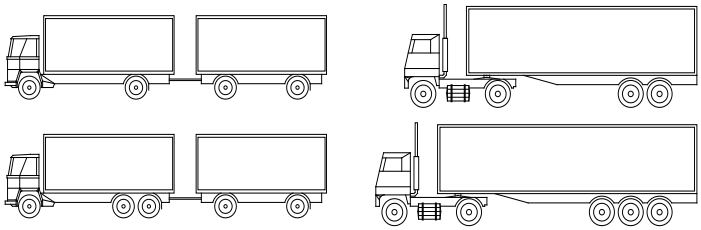
Tablica 14 Współczynniki przeliczeniowe na oś obliczeniową 11,5 t

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

Wyniki przeprowadzonych analiz pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- obliczone wartości współczynników przeliczeniowych są wyższe od podanych w [1]; 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,
- 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 15:

Tablica 15 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	$r_3 = 1,6$

Od 2010 roku prowadzone są przez zespół naukowców z Politechniki Gdańskiej pod kierunkiem prof. Józefa Judyckiego prace nad aktualizacją „Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych" z 1997 roku. Jednym z zadań jest weryfikacja współczynników przeliczeniowych grup pojazdów. W analizach wykorzystano wyniki ważeń pojazdów na dwóch wagach automatycznej kontroli nacisków osi: w miejscowości Wola Dębińska (DK-4) oraz w miejscowości Gołkowice (DK-11). Dane pochodziły z września 2010 roku.

Na podstawie rozpoznania sylwetki pojazdu, ciężaru poszczególnych osi, odległości między osiami oraz danych o masach całkowitych pojazdów przeprowadzono następujące analizy:

- rozpoznanie typów pojazdów,
- struktury rodzajowej ruchu,
- procentowego udziału poszczególnych typów pojazdów w danej grupie,
- rozkładu masy każdego typu pojazdów,
- udziału pojazdów przeciążonych,
- średniego współczynnika równoważności osi dla każdego typu pojazdu oraz dla całej grupy,
- wpływu oddziaływania pojazdów danego typu w całkowitej szkodzie zmęczeniowej nawierzchni.

Przeprowadzone analizy doprowadziły do wyznaczenia współczynników r_i dla danych z dwóch stacji ważenia pojazdów. Wartości współczynników przeliczeniowych zestawiono w Tablicy 16.

Tablica 16 Współczynniki przeliczeniowe na oś obliczeniową 11,5 t

Współczynniki przeliczeniowe	Współczynnik z katalogu [1]	Współczynnik dla stacji Wola Dębińska	Współczynnik dla stacji Byczyna
r_1	0,109	0,218	0,286
r_2	1,245 1,950	0,911	0,615
r_3	0,594	0,873	0,657

Wyznaczone współczynniki przeliczeniowe znacznie różnią się od uzyskanych w pracy IBDiM „Aktualizacja wartości współczynników przeliczeniowych na osie 100 kN i 115 kN na podstawie analizy aktualnej wielkości i struktury ruchu drogowego". Ponieważ w obu obecnie aktualizowanych katalogach współczynniki muszą przyjąć jednakowe wartości więc należy skonfrontować oba podejścia do ich wyznaczenia oraz wykorzystać wszelkie dostępne obecnie dane z ważeń pojazdów ciężarowych i autobusów.

W 2011 roku na drogach krajowych, w ramach pracy badawczej realizowanej przez IBDiM, zainstalowano 6 nowych wag do automatycznej rejestracji obciążeń od pojazdów. Cechują się one bardzo dużą zgodnością z wagami stacjonarnymi. Błąd pomiaru wynosi ok. 2%. Ponadto w przyszłym roku zainstalowanych zostanie kolejne 50 wag, o podobnej dokładności, na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad. Dane z wag automatycznych powinny posłużyć do wyznaczenia wiarygodnych współczynników przeliczeniowych.

Aktualizacja rozdziału 3 KWRNPP powinna być dokonana po uzgodnieniu zmian wprowadzonych w opracowywanym Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych (w opracowaniu w Politechnice Gdańskiej). Zespół IBDiM wyraża przy tym przekonanie, że potrzebna jest wymiana poglądów z zespołem PG na podstawie przedstawionej analizy i przeprowadzonych pomiarów obciążenia nawierzchni na stacjach WIM (Weigh In Motion).

5 Zadanie 4-1: Opracowanie procedur pomiarowych badań diagnostycznych i odbiorczych nawierzchni, część 1

W ramach zadania 4-1 dokonano przeglądu norm, wytycznych i procedur pomiarowych, które wymagają uaktualnienia w Katalogu Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych. W zadaniu 4-2 opracowane zostaną procedury pomiarowe cech nawierzchni nowych i eksploatowanych, które nie zostały opisane w normach PN-EN a są stosowane w badaniach w Polsce. Dotyczy to takich pomiarów i ocen jak:

- ocena równości podłużnej planografem,
- ocena równości poprzecznej i podłużnej łatą i klinem,
- pomiar współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3,
- pomiar ugięć sprężystych ugięciomierzem belkowym,
- pomiar ugięć ugięciomierzem dynamicznym FWD,
- ocena stanu uszkodzeń powierzchniowych nawierzchni,
- ocena stanu uszkodzeń poboczy, rowów i odwodnienia drogi
- ocena współpracy w pęknięciu odbitym w nawierzchni półsztywnej.

5.1 Ocena równości podłużnej planografem

Pomiar bazuje na wycofanej normie *BN-68/8931-04 Drogi samochodowe. Pomiar równości nawierzchni planografem i łatą*. Procedura opisze budowę planografu, ogólne zasady kalibracji oraz sposób pomiaru i analizy wyników. Opisana w normie procedura pomiarowa jest nieaktualna ponieważ obecnie stosuje się elektroniczny sposób zapisu danych pomiarowych, który zastąpił rejestrację na taśmie papierowej. Zmiana ta wymaga nowego podejścia do interpretacji wyników badania.

5.2 Ocena równości poprzecznej podłużnej łatą i klinem

Pomiar bazuje na tej samej co w przypadku planografu wycofanej normie branżowej *BN-68/8931-04.* Ponieważ zasada pomiaru łatą i klinem jest metodą referencyjną dla oceny głębokości kolein oraz równości podłużnej wymaga opisania w postaci procedury badawczej.

5.3 Pomiar współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3

W Polsce ocena właściwości przeciwpoślizgowych dróg krajowych oparta jest na pomiarze współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3. Badanie wykonywane jest zarówno w Systemie Oceny Stanu Nawierzchni (SOSN) jak i podczas odbioru nowych lub remontowanych nawierzchni dróg publicznych. Problemy związane z pomiarami współczynnika tarcia oraz interpretacją otrzymanych wyników często były sygnalizowane przez Laboratoria Drogowe. Trudności te były również wielokrotnie zgłaszane przez pracowników IBDiM, na szkoleniach, konferencjach oraz w pracach badawczych. Najważniejsze zgłoszone postulaty dotyczące pomiarów współczynnika tarcia są następujące:

- należy uporządkować sprawę opon testowych stosowanych w badaniach współczynnika tarcia urządzeniem SRT-3; w obu obowiązujących w Polsce przepisach wymienia się opony, które już od paru lat nie są stosowane w pomiarach,
- brak określenia warunków termicznych przy wykonywaniu pomiarów współczynnika tarcia; w przypadku wykonania nawierzchni w październiku pomiary należy wykonać na przełomie grudnia i stycznia,
- w przepisach brak jest precyzyjnego określenia postępowania w przypadku krótkich odcinków od 100 do 500 m oraz odcinków w obrębie skrzyżowań, na których właściwości przeciwpoślizgowe stanowią istotny parametr bezpieczeństwa ruchu,

Wymienione wyżej uwagi zostaną uwzględnione w nowej procedurze wykonywania pomiarów współczynnika tarcia.

5.4 Pomiar ugięć sprężystych ugięciomierzem belkowym

Pomiar bazuje na wycofanej normie branżowej *BN-70/8931-06 Pomiar ugięć nawierzchni podatnych ugięciomierzem belkowym.* Metoda Benkelmana nadal jest stosowana w Polsce do oceny nośności nawierzchni dróg kategorii ruchu KR1-KR4 więc sposób pomiaru musi zostać opisany w procedurze badawczej. Ponadto należy uwzględnić w wymiarowaniu wzmocnienia konstrukcji nawierzchni metodą ugięć wyniki prac badawczych IBDiM, które doprowadziły do opracowania nowych wartości współczynników korygujących f_P (współczynnik podbudowy) oraz f_S (współczynnik sezonowości).

5.5 Pomiar ugięć ugięciomierzem dynamicznym FWD

Na pomiar ugięć nawierzchni ugięciomierzem dynamicznym FWD brak jest norm oraz polskich przepisów opisujących zasady wykonywania pomiarów i interpretacji wyników. Ogólna procedura pomiarowa została podana w KWRNPP ale praktyka Instytutu w wykonywaniu badań FWD wskazuje, że należy ją zweryfikować i zaktualizować. Weryfikacji, w szczególności wymagają współczynniki przeliczeniowe pomiędzy metodą Benkelmana a FWD, podane w Załączniku C, Procedura 4.

5.6 Ocena stanu uszkodzeń powierzchniowych nawierzchni

W KWRNPP w ocenie uszkodzeń powierzchniowych stosowane są zasady podane w „Wytycznych stosowania Systemu Oceny Stanu Nawierzchni". Od 2012 roku wdrażana będzie w Polsce nowa metoda oceny uszkodzeń, bazująca na metodyce stosowanej w Niemczech. W nowoczesnych systemach diagnostyki dróg cechy powierzchniowe nawierzchni, w tym przede wszystkim uszkodzenia powierzchniowe, są identyfikowane dwuetapowo. W pierwszym etapie, podczas przejazdu pojazdu pomiarowego wykonywane są zdjęcia nawierzchni za pomocą kamer, umożliwiających zidentyfikowanie spękań nawet o szerokości do 1 mm. W celu uzyskania odpowiednio wysokiej jakości zdjęć przy prędkości pomiarowej większej niż 80 km/h, konieczne jest zapewnienie dobrego oświetlenia nawierzchni, uzyskiwanego z reguły poprzez zastosowanie wysokowydajnych reflektorów stroboskopowych, ledowych lub też oświetlenia laserowego.

Zdjęcia te, tzw. zdjęcia „makro" nawierzchni drogowej, przypisywane są do konkretnej lokalizacji z dokładnością do 1 m i stanowią dane wejściowe do drugiego etapu, czyli identyfikacji poszczególnych cech. Podobnie jak w przypadku równości podłużnej i poprzecznej możliwe jest definiowanie różnych wskaźników stanu, w zależności od konkretnych zadań. Praktykuje się także różne sposoby dzielenia nawierzchni na fragmenty, w obrębie których dokonywana jest identyfikacja.

Zalety takiej dwustopniowej identyfikacji (rejestracja fotograficzna, a następnie identyfikacja cech powierzchniowych), w porównaniu do stosowanych do dzisiaj metod identyfikacji konkretnych uszkodzeń podczas przejazdu, to przede wszystkim możliwość dokonywania zróżnicowanych analiz stanu w zależności od sformułowanych celów, dokumentacja danych źródłowych (elementarnych) oraz możliwość wykorzystania wykonanych zdjęć nawierzchni do późniejszych analiz na poziomie odcinka, w przypadku konieczności dokonania pogłębionych ekspertyz inżynierskich. Ponadto, dokumentacja fotograficzna uszkodzeń nawierzchni pozwala na realizację analiz dynamicznych na podstawie porównania obrazu uszkodzeń na danym obszarze nawierzchni z kolejnych pomiarów stanu.

Nowa procedura pomiarowa opisywała będzie aktualne zasady oceny uszkodzeń powierzchniowych bazującej na zdjęciach nawierzchni.

5.7 Ocena stanu uszkodzeń poboczy, rowów i odwodnienia drogi

Ocenę stanu odwodnienia powierzchniowego dróg krajowych należy prowadzić zgodnie z Wytycznymi Stosowania Systemu Oceny Poboczy i Odwodnienia (SOPO). Oprócz oceny prowadzonej

zgodnie z systemem SOPO zalecane jest przeprowadzenie szczegółowej kontroli stanu odwodnienia. Taką kontrolą powinny zostać objęte odcinki dróg, które w ramach systemu SOPO zostały zakwalifikowane do klasy D i oznaczone kodem IR (indywidualne rozwiązanie).

Szczegółowa kontrola stanu odwodnienia na takich odcinkach powinna odbywać się nie rzadziej niż co dwa lata. W przypadku pozostałych odcinków w klasie D o potrzebie i częstotliwości wykonywania kontroli decyduje Kierownik Jednostki, na której terenie wykonywana jest ocena.

Kontrola stanu odwodnienia może być wykonywana przez cały rok, jednak najlepszym momentem do jej przeprowadzenia jest okres bezpośrednio po opadach deszczu, co pozwala na łatwe oszacowanie większość wad systemu odwodnienia. Uzupełnieniem systemu SOPO będzie szczegółowa kontrola odwodnienia powierzchniowego dróg, która została przedstawiona w przygotowywanej w ramach aktualizacji KWRNPP procedurze.

5.8 Ocena współpracy w pęknięciu odbitym w nawierzchni półsztywnej

Sposób przekazywania obciążenia przez pęknięcie ma duże znaczenie dla określenia wielkości przemieszczeń krawędzi pęknięcia. Jest to zarazem pewien wskaźnik szkodliwości pęknięcia (wielkości ścinania przekazywanego do warstw wyżej leżących). Do wykonania pomiaru najlepiej jest stosować ugięciomierz FWD. Standardowo do oceny współpracy płyt ustawia się płytę naciskową stycznie do badanego pęknięcia i rejestruje się ugięcie na części obciążonej i nieobciążonej. W celu ustalenia współpracy dwóch części nawierzchni oddzielonych pęknięciem określa się współczynnik współpracy „k".

W IBDiM wykonano pracę badawczą, której wyniki wskazują na konieczność zweryfikowania podanych w KWRNPP kryteriów oceny współpracy w pęknięciu odbitym w nawierzchni półsztywnej. Nowa procedura badawcza zawierała będzie uszczegółowienie metodyki pomiaru oraz nową interpretację współczynnika współpracy „k".

---

i Van der Poel: A General System Describing the Visco-Elastic Properties of Bitumens and Its Relation to Routine Test Data. Journal of Applied Chemistry, 4, maj, 1954, s. 221-236
ii Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych KTKNPP, GDDP, IBDiM, 1997
iii System Oceny Stanu Nawierzchni „SOSN", Wytyczne stosowania. Warszawa, 1989
iv Katalog wybranych uszkodzeń nawierzchni bitumicznych dla potrzeb „SOSN". IBDiM, Informacje, Instrukcje, zeszyt 44, 1994
v System Oceny Stanu Nawierzchni „SOSN", Wytyczne stosowania. Warszawa, 1989
vi Katalog wybranych uszkodzeń nawierzchni bitumicznych dla potrzeb „SOSN". IBDiM, Informacje, Instrukcje, zeszyt 44, 1994
vii *Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych.* GDDP, IBDiM, Warszawa 1997.
viii *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.
ix *Dynamic interaction of heavy vehicles with roads and bridges*. OECD DIVINE Programme. 1998.
x Sybilski D.: Jeszcze o nawierzchniach asfaltowych i betonowych, czyli wyjaśnienie zamieszania i mistyfikacji. Drogownictwo, 11, 2000, 55, s. 327-335
xi *Conception et dimensionnement des structures de chaussee. Guide technique*. SETRA, LCPC, Paris 1994.