

Opracowanie nowego „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych”

Józef Judycki, Piotr Jaskuła, Marek Pszczola, Mariusz Jaczewski, Dawid Ryś, Jacek Alenowicz, Bohdan Dolżycki, Marcin Stiens

*Katedra Inżynierii Drogowej, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska,
e-mail: jozef.judycki@wilis.pg.gda.pl*

Streszczenie: Referat zawiera opis prac badawczych i projektowych przeprowadzonych na Politechnice Gdańskiej w celu opracowania nowego katalogu. Prace te obejmowały normalizację terminologii, studia istniejących katalogów i metod projektowych w innych krajach, analizy kryteriów zmęzeniowych do projektowania konstrukcji nawierzchni, analizy ruchu projektowego na podstawie danych ze stacji ważenia w ruchu, metody wzmacniania podłoża gruntowego, uwzględnienie nowych materiałów, materiałów z recyklingu i antropogenicznych, parametry mechaniczne materiałów oraz projektowanie dolnych i górnych warstw konstrukcji nawierzchni w oparciu o metody mechanistyczno-empiryczne.

Słowa kluczowe: katalog typowych nawierzchni, projektowanie nawierzchni, podłoże gruntowe nawierzchni, obciążenie nawierzchni ruchem, terminologia nawierzchni, materiały drogowe

1. Wprowadzenie

Niniejszy artykuł przedstawia informacje o nowym „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych” [1], który został opracowany w Katedrze Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej, przez autorów tego artykułu, i udostępniony w swej finalnej postaci w marcu 2013 r., na stronie internetowej Politechniki Gdańskiej [2] i GDDKiA [3]. Potrzeba zmiany katalogu nawierzchni z 1997 r. podyktowana była koniecznością jego dostosowania do nowych realiów w polskim drogownictwie [4]. Niektóre elementy starego katalogu nie przystawały do nowych warunków w jakich działa budownictwo drogowe. Konieczne było dostosowanie katalogu do obecnych technologii, z uwzględnieniem nowych materiałów i nowych wymagań związanych z wprowadzeniem w Polsce Norm Europejskich. Katalog dostosowano do zwiększonego obciążenia dróg przez ruch. Wprowadzono zmiany w sposobach wzmacniania podłoża gruntowych nawierzchni, wynikające z rozwoju tych technologii. Uwzględniono recykling materiałów drogowych, zastosowanie materiałów antropogenicznych i zwiększone wykorzystanie kruszyw lokalnych. Wprowadzono metody minimalizacji spękań odbitych w nawierzchniach półsztywnych. Zastosowano nowe metody obliczeń konstrukcji nawierzchni, jakie powstały w świecie w ostatnich latach. Uściślono także terminologię warstw konstrukcji nawierzchni.

2. Podstawowe prace studialne do opracowania nowego katalogu

Opracowanie nowego katalogu wymagało przeprowadzenia przez zespół autorski obszernych prac badawczych, w skład których wchodziły następujące zagadnienia:

- Porównanie katalogów typowych konstrukcji nawierzchni Polski, Austrii, Francji, Niemiec i metody brytyjskiej [5, 6].
- Badania obciążenia nawierzchni polskich dróg przez pojazdy ciężkie (powyżej 3,5 tony) i określenie nowych współczynników przeliczeniowych na równoważne osie standardowe, w oparciu o analizę danych ze stacji ważenia pojazdów w ruchu [7].
- Analiza nowych rozwiązań w zakresie metod mechanistyczno-empirycznych i wybór kryteriów zmęzeniowych do projektowania konstrukcji nawierzchni [8, 9, 10, 11].
- Określenie temperatury ekwiwalentnej do projektowania konstrukcji nawierzchni według metody mechanistyczno-empirycznej, na podstawie analizy danych z wielu stacji klimatycznych w Polsce.
- Określanie warunków-gruntowo wodnych nawierzchni.
- Studia stosowanych w świecie metod ulepszenia podłoża gruntowych nawierzchni.
- Określenie charakterystyki technicznej i parametrów mechanicznych materiałów drogowych do wszystkich warstw nawierzchni.
- Minimalizacja spękań odbitych w nawierzchniach półsztywnych.
- Obliczenia układu warstw dolnych konstrukcji nawierzchni.
- Obliczenia układu warstw górnych konstrukcji nawierzchni.
- Rewizja terminologii warstw konstrukcji nawierzchni [12, 13].

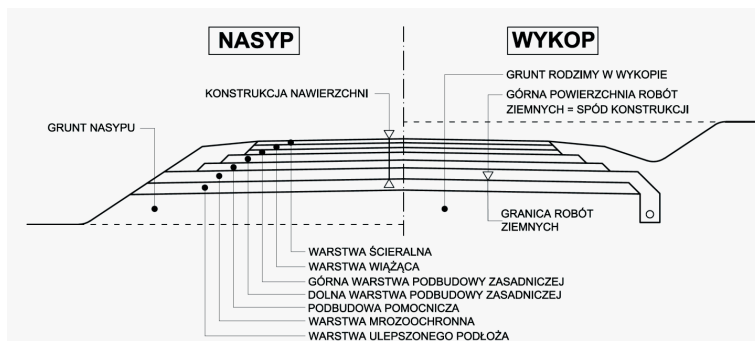
Część przeprowadzonych prac badawczych, związanych z nowym katalogiem, przedstawiono w książce [14]. Raporty z kolejnych etapów prac badawczych są dostępne na stronie internetowej GDDKiA [15].

3. Schemat i terminologia warstw konstrukcji nawierzchni

Prace nad nowym katalogiem bardzo utrudniał nieład, jaki występował w nazewnictwie warstw konstrukcji nawierzchni w polskich dokumentach technicznych. Pierwsza norma, która regulowała nazwy warstw konstrukcji nawierzchni to PN-70/S-02201 „Drogi samochodowe. Nawierzchnie drogowe. Podział, nazwy określenia”. Od tego czasu wprowadzono w Polsce wiele przepisów technicznych, z których każdy zawierał nieco inne nazwy warstw konstrukcji. Można zauważyć, że każdy następnym dokument techniczny wprowadzał zmiany w nazwach warstw, bez żadnego szacunku dla nazw występujących w poprzednich dokumentach. W odróżnieniu od przepisów polskich, nazewnictwo nawierzchni w przepisach Francji, Niemiec, USA i Wielkiej Brytanii jest jednoznaczne, spójne i niezmiennie od wielu lat. Nieład w polskiej terminologii miał niekorzystny wpływ na proces projektowania, wykonawstwa i rozliczania budów.

Po przeprowadzeniu studiów w nowym katalogu wprowadzono zmienioną terminologię warstw konstrukcji nawierzchni pokazaną na rys. 1 i 2. Nowa terminologia została szczegółowo wyjaśniona w katalogu [1]. Wprowadza ona podział konstrukcji nawierzchni na warstwy górne, warstwy dolne i warstwę ulepszanego podłoża. Wprowadza także wyróżnienie dolnej i górnej warstwy podbudowy zasadniczej.





Rys. 1. Schemat warstw konstrukcji nawierzchni

| | | | |
|--|--|----------------------|-------------------------------------|
| Konstrukcja nawierzchni (nawierzchnia) | Warstwy górne konstrukcji nawierzchni | Warstwa ścierna | |
| | | Warstwa wiążąca | |
| | Warstwy dolne konstrukcji nawierzchni | Podbudowa zasadnicza | Górna warstwa podbudowy zasadniczej |
| | | | Dolna warstwa podbudowy zasadniczej |
| Podłoże gruntowe nawierzchni | Podbudowa pomocnicza | | |
| | Warstwa mrozoochronna | | |
| | Warstwa ulepszonego podłoża | | |
| | Grunt rodzimy w wykopie lub grunt nasypowy w nasypie, zakwalifikowane do jednej z grup nośności podłoża od G1 do G4. | | |

Rys. 2. Schemat i nazwy warstw konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych oraz ulepszonego podłoża

4. Określenie ruchu projektowego

Od czasu wdrożenia poprzedniego Katalogu z 1997 r. nastąpił znaczny wzrost natężenia ruchu pojazdów oraz wzrost ich ciężarów i obciążeń osi. Po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej wprowadzono przepisy umożliwiające ruch pojazdów o zwiększonym dopuszczalnym nacisku osi napędowej 115 kN na najważniejszych drogach. Metodę określania ruchu projektowego w nowym katalogu z 2013 r. dostosowano do zwiększonego obciążenia ruchem ciężkim poprzez wprowadzenie zmian w klasyfikacji ruchu, w tym wprowadzenie nowej kategorii ruchu bardzo ciężkiego KR7, oraz aktualizację współczynników przeliczeniowych pojazdów na równoważne osie standardowe.

Do projektowania konstrukcji nawierzchni ruch drogowy klasyfikowany jest według siedmiu kategorii ruchu (od KR1 – ruch najłżejszy do KR7 – ruch najcięższy), określonych na podstawie ruchu projektowego. Ruch projektowy określany jest jako sumaryczna liczba równoważnych osi standardowych 100 kN, przypadająca na obliczeniowy pas ruchu w całym okresie projektowym. Odstąpiono od klasyfikowania ruchu projektowego na podstawie wielkości ruchu dobowego. Ruch projektowy oblicza się na podstawie następującego wzoru:

$$N_{100} = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot (N_C \cdot r_C + N_{C+P} \cdot r_{C+P} + N_A \cdot r_A) \quad (1)$$

gdzie:

N_{100} – ruch projektowy, czyli sumaryczna liczba równoważnych osi standardowych 100 kN w całym okresie projektowym nawierzchni, przypadająca na pas obliczeniowy,
 N_C, N_{C+P}, N_A – sumaryczna liczba samochodów ciężarowych bez przyczep (C), samochodów ciężarowych z przyczepami (C+P) i autobusów (A) w całym okresie projektowym,

r_C, r_{C+P}, r_A – współczynniki przeliczeniowe odpowiednio liczby samochodów ciężarowych bez przyczep (C), liczby samochodów ciężarowych z przyczepami ($C+P$) i liczby autobusów (A) na liczbę równoważnych osi standardowych 100 kN,

f_1 – współczynnik obliczeniowego pasa ruchu, f_2 – współczynnik szerokości pasa ruchu, f_3 – współczynnik pochylenia niwelety.

Współczynniki przeliczeniowe r_C, r_{C+P}, r_A wyprowadzono w oparciu o szerokie badania i analizy danych z ciągłego ważenia pojazdów w ruchu na pięciu polskich drogach. W badaniach uwzględniono dane z ważenia łącznie ponad 4,2 mln pojazdów ciężkich. Obliczenia wykonano według wzorów AASHTO [16], wzoru 4-tej potęgi, metody francuskiej [17] i metody Politechniki Gdańskiej [18]. W analizach uwzględniono zmienność obciążenia nawierzchni ruchem w zależności od rangi drogi oraz czynniki istotnie wpływające na ruch projektowy do których zalicza się: dynamiczne oddziaływania pojazdów na nawierzchnię, ruch pojazdów przeciążonych i dopuszczalne obciążenie osi na drodze, wzrost ciężarów pojazdów w przyszłości.

Wyznaczone współczynniki przeliczeniowe porównano z odpowiadającymi im współczynnikami stosowanymi w wybranych krajach UE. W tabeli 1 przedstawiono przykładowe porównanie współczynników przeliczeniowych z nowego katalogu dla dróg krajowych ze współczynnikami z katalogu z 1997 roku. Wynika z niego, że współczynniki stosowane dla samochodów ciężarowych bez przyczep i autobusów były dotąd zaniżone, z kolei współczynnik stosowany dla samochodów ciężarowych z przyczepą był zawyżony.

Tabela 1. Porównanie współczynników przeliczeniowych stosowanych w katalogu z 1997 roku i w nowym katalogu z 2013 r. dla dróg krajowych o dopuszczalnym nacisku osi pojedynczej równym 115 kN

| Kategoria pojazdu | Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych z 2013 r | Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych z 1997 r. |
|--|--|---|
| Samochody ciężarowe bez przyczep C | 0,50 | 0,109 |
| Samochody ciężarowe z przyczepami C+P | 1,80 | 1,940 |
| Autobusy A | 1,20 | 0,548 |

Nowością wprowadzoną w katalogu są współczynniki uwzględniające wpływ geometrii drogi na ruch projektowy, czyli współczynnik szerokości pasa ruchu f_2 i współczynnik pochylenia niwelety f_3 . Szerokość pasa ruchu wpływa na rozkład poprzeczny obciążeń od kół pojazdów. Na węższych pasach ruchu obserwuje się większą koncentrację obciążeń, co powoduje szybsze narastanie deformacji trwałych i szybszy przyrost spękań zmęczeniowych. Duże pochylenia podłużne drogi powodują wzrost naprężeń stycznych w konstrukcji nawierzchni oraz zmniejszenie prędkości ruchu pojazdów ciężkich, co w konsekwencji prowadzi do bardziej agresywnego oddziaływania pojazdów ciężkich na nawierzchnie.

5. Wymagania materiałowe i technologiczne

W ostatnich latach technologia drogowa uległa dość dużej ewolucji. Pojawiły się nowe możliwości technologiczne, nowe materiały, a ponadto zaczęto stosować nowoczesne urządzenia do produkcji i wbudowywania materiałów do poszczególnych warstw nawierzchni. Dodatkowo w ostatnich latach powszechnie zaczęto stosować materiały specyfikowane w oparciu o normy serii PN-EN. Czynniki te znalazły swoje odzwierciedlenie w konstrukcjach zaproponowanych w katalogu z 2013 roku [1].



W nowym katalogu uwzględniono przede wszystkim: większe wytrzymałości na ściskanie podbudów związanych spoiwami, większe sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych, stosowanie jako typowy materiał mastyksu grysowego (SMA) oraz możliwość stosowania asfaltu porowatego. Podano wszystkie rodzaje materiałów możliwych do zastosowania do poszczególnych warstw konstrukcji nawierzchni oraz do warstwy ulepszonego podłoża. Zakres stosowania poszczególnych materiałów podano w tabeli 2.

Tabela 2. Zakres stosowania materiałów do warstw konstrukcji nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża w zależności od kategorii ruchu

| Lp. | Warstwa | Materiały | | | | | | |
|-----|-----------------------------|-------------------------------|---|-----------------------|--|--|------------------------------|-----------------------|
| | | mieszanki mineralno-asfaltowe | mieszanki w technologii recyklingu na zimno | mieszanki niezwiązane | mieszanki związane spoiwami hydraulicznymi | grunty stabilizowane spoiwami hydraulicznymi | grunty stabilizowane wapniem | grunty niewysadzinowe |
| 1. | Warstwa ścieralna | KR1-7 | n/s | n/s | n/s | n/s | n/s | n/s |
| 2. | Warstwa wiążąca | KR1-7 | n/s | n/s | n/s | n/s | n/s | n/s |
| 3. | Podbudowa zasadnicza | KR1-7 | KR1-4 | KR1-7 | KR1-7 | KR1-2 | n/s | n/s |
| 4. | Podbudowa pomocnicza | n/s | n/s | KR3-7 | KR3-7 | KR3-4 | n/s | n/s |
| 5. | Warstwa mrozochronna | n/s | n/s | KR1-7 | KR1-4 | KR1-4 | KR1-2 | KR1-7 |
| 6. | Warstwa ulepszonego podłoża | n/s | n/s | KR1-7 | n/s | KR1-7 | KR1-7 | KR1-7 |

n/s -oznacza, że materiał ten nie stosowano w rozwiązaniach katalogowych dla danej warstwy

W katalogu [1] określono również podstawowe wymaganiom materiałowe, decydujące o parametrach mających wpływ na obliczenia trwałości konstrukcji nawierzchni. W przypadku pozostałych wymagań odesłano do wymagań krajowych. Dla każdej warstwy określono w jakim zakresie mogą być stosowane w jej składzie materiały antropogeniczne i materiały z recyklingu. Podkreślono w ten sposób konieczność jak najszerszego wykorzystania tych materiałów w budowie nowych nawierzchni. Przyjęto szereg rozwiązań z podbudowami zasadniczymi związanymi spoiwami hydraulicznymi i zaproponowano zabiegi mające na celu minimalizację ryzyka powstania spękań odbitych.

6. Określenie warunków gruntowo-wodnych

W nowym katalogu [1] wprowadzono jednoznaczne rozróżnienie pomiędzy podłożem gruntowym budowli ziemnej i podłożem gruntowym nawierzchni. Podłoże gruntowe nawierzchni jest to strefa gruntu rodzimego lub nasypowego poniżej spodu konstrukcji nawierzchni, której właściwości mają wpływ na projektowanie, wykonanie i eksploatację nawierzchni. Przyjęto, że zaprojektowanie konstrukcji nawierzchni z zastosowaniem katalogu wymaga oceny podłoża gruntowego nawierzchni pod względem warunków gruntowo-wodnych do głębokości:

- 2 metrów od zakładanego spodu konstrukcji nawierzchni, w celu oceny warunków wodnych w podłożu konstrukcji nawierzchni,
- 1 metra od zakładanego spodu konstrukcji nawierzchni, w celu oceny warunków gruntowych.

Zakres badań gruntów musi umożliwiać określenie grupy nośności podłoża gruntowego nawierzchni zgodnie z wymaganiami katalogu. Sposób oceny warunków gruntowo-wodnych i nośności podłoża gruntowego nawierzchni nie różni się zasadniczo od obowiązującego w katalogu z roku 1997. Wprowadzono jednak dwa istotne nowe elementy:

- klasyfikacja grup nośności podłoża uwzględnia minimalne wartości wtórnego modułu odkształcenia E_2 ,
- wprowadzono obowiązek by w czasie robót zweryfikować założenia projektowe co do nośności podłoża gruntowego nawierzchni.

W katalogu zachowano podział podłoża gruntowego nawierzchni pod względem nośności na cztery grupy: G1, G2, G3 i G4. Klasyfikacja podłoża do danej grupy nośności powinna być przeprowadzona według dwóch sposobów: według wartości wskaźnika nośności CBR, według wysadzinowości gruntu i warunków wodnych.

Jeżeli wyniki klasyfikacji podłoża gruntowego nawierzchni według tych dwóch sposobów są różne to do projektowania należy przyjąć gorszą grupę nośności podłoża gruntowego. Klasyfikację grup nośności podłoża gruntowego nawierzchni według wartości wskaźnika nośności CBR przedstawiono w tabeli 3. Określono w niej minimalne wartości wtórnego modułu odkształcenia E_2 w odniesieniu do każdej z grup nośności. Ocena grupy nośności podłoża gruntowego na podstawie wysadzinowości gruntu i charakterystyki warunków wodnych odbywa się według zestawienia (tablicy) analogicznej jak w katalogu z roku 1997.

Tabela 3. Klasyfikacja grup nośności podłoża gruntowego nawierzchni G_i

| Grupa nośności podłoża gruntowego G_i | Wskaźnik nośności CBR po 4 dniach nasączenia wodą [%] | Wtórny moduł odkształcenia E_2 [MPa] |
|---|---|--|
| G1 | $CBR \geq 10$ | $E_2 \geq 80$ |
| G2 | $5 \leq CBR < 10$ | $50 \leq E_2 < 80$ |
| G3 | $3 \leq CBR < 5$ | $35 \leq E_2 < 50$ |
| G4 | $2 \leq CBR < 3$ | $25 \leq E_2 < 35$ |

Nowością, którą przyjęto w katalogu jest obowiązek sprawdzenia i potwierdzenia w czasie robót, że podłoże gruntowe nawierzchni kwalifikuje się co najmniej do grupy nośności przyjętej w projektowaniu. Ocenę nośności należy przeprowadzić poprzez określenie wtórnego modułu odkształcenia E_2 na powierzchni podłoża gruntowego i porównanie, czy wyznaczona wartość odpowiada założonej grupie nośności podłoża, zgodnie z klasyfikacją podaną w tablicy 3. Jeżeli badania kontrolne wykażą, że grupa nośności podłoża gruntowego określona w czasie robót jest gorsza od przyjętej do projektowania konstrukcji nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża to należy przeprojektować dolne warstwy konstrukcji nawierzchni i warstwę ulepszonego podłoża z uwzględnieniem niższej nośności podłoża gruntowego nawierzchni. Jeżeli badania kontrolne wykażą zwiększoną nośność podłoża gruntowego w stosunku do założeń projektowych, to nie należy wprowadzać żadnych zmian w projekcie.

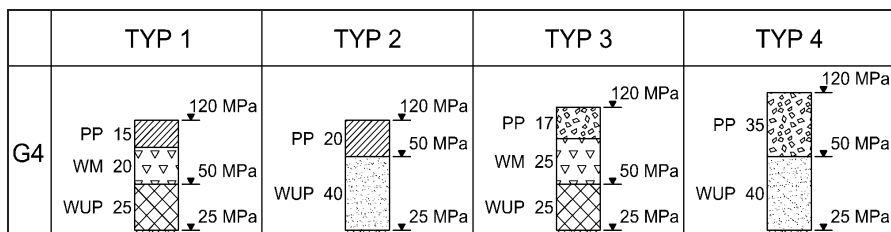
7. Warstwa ulepszonego podłoża i dolne warstwy konstrukcji nawierzchni

Podstawowe funkcje, jakie muszą spełniać dolne warstwy konstrukcji nawierzchni oraz warstwa ulepszonego podłoża to: odpowiednia nośność na poziomie spodu górnych warstw konstrukcji nawierzchni, odporność konstrukcji nawierzchni na powstawanie wysadzin oraz zapewnienie odpowiedniego odwodnienia wglębnego. Wymagany poziom nośności musi być zapewniony zarówno w czasie budowy, jak i w całym okresie eksploatacji nawierzchni.

W katalogu z roku 1997 przewidziano identyczne wzmocnienia w przypadku różnych wymagań dotyczących wtórnego modułu odkształcenia (100 MPa i 120 MPa) oraz automatycznie utożsamiano występowanie grupy nośności G1 z osiągnięciem tych

wymagań. W związku z tym nie przewidywano wzmocnienia np. na podłożu gruntowym z piasków drobnych. W nowym katalogu zweryfikowano i wyeliminowano przedstawione uproszczenia i niedociągnięcia. Przeprowadzono obliczenia wielu układów wzmocnień z wykorzystaniem programu BISAR przyjmując model wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej. Dla każdej z dolnych warstw konstrukcji nawierzchni oraz dla warstwy ulepszonego podłoża przyjmowano odpowiednie wartości modułów sprężystości oraz współczynników Poissona. Celem przeprowadzonej analizy obliczeniowej było sprawdzenie czy założone układy warstw o przyjętych grubościach zapewniają osiągnięcie wymaganej nośności na powierzchni zarówno warstw dolnych konstrukcji, jak również na powierzchni warstwy ulepszonego podłoża o ile było konieczne. Wymagana wartość wtórnego modułu odkształcenia E_2 na poziomie warstwy ulepszonego podłoża wynosi $E_2 \geq 50$ MPa. Na powierzchni dolnych warstw konstrukcji nawierzchni: podbudowy pomocniczej (PP) i/lub warstwy mrozochronnej (MW) wymagana wartość E_2 zależy od kategorii ruchu. I tak dla kategorii ruchu KR1-2 wymagana wartość $E_2 \geq 80$ MPa, dla kategorii ruchu KR3-4 $E_2 \geq 100$ MPa, natomiast dla kategorii ruchu KR5-7 $E_2 \geq 120$ MPa.

Obliczenia przeprowadzono dla 14 różnych typów dolnych warstw konstrukcji nawierzchni oraz warstwy ulepszonego podłoża dla wszystkich grup nośności podłoża gruntowego od G4 do G1. Przykład typowych rozwiązań (Typy 1-4) dla kategorii ruchu KR5-7 i grupy nośności podłoża gruntowego G4 przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Przykład typowych rozwiązań (Typy 1-4) dla kategorii ruchu KR5-7 i grupy nośności podłoża gruntowego G4

Obliczone grubości warstw porównywano z rozwiązaniami analogicznych warstw podanych w katalogach i metodach innych krajów. Zaproponowane typowe rozwiązania dały możliwość ujednoczenia technologii robót na projektowanym odcinku drogi w przypadku zmienności występującego podłoża gruntowego. Duży nacisk położono na wykorzystanie zróżnicowanych materiałów z mieszanek związanych i gruntów stabilizowanych spoiwami, a także mieszanek niezwiązanych oraz gruntów niewydziszynowych (naturalnych lub antropogenicznych). Zaproponowano rozwiązania zapewniające odpowiednie odwodnienie w głębie konstrukcji nawierzchni poprzez zastosowanie warstwy odsączającej, której funkcję może pełnić warstwa ulepszonego podłoża lub warstwa mrozochronna, jeśli zostaną wykonane z materiałów niezwiązanych o wymaganym współczynniku filtracji $k_{10} \geq 8$ m/dobę.

Podstawową nowością w zakresie warstw dolnych konstrukcji nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża w nowym katalogu, w porównaniu z katalogiem z 1997 r. jest możliwość wyboru rozwiązania projektowego spośród wielu wariantowych rozwiązań katalogowych. Ponadto przyjęte układy warstw są grubsze niż w katalogu z roku 1997, jednak zgodne ze współczesnymi rozwiązaniami stosowanymi w innych krajach, co zapewni wymagany poziom bezpieczeństwa konstrukcji.

8. Górne warstwy konstrukcji nawierzchni

W obliczeniach górnych warstw konstrukcji nawierzchni zastosowano metody mechaniczno-empiryczne. Naprężenia i odkształcenia obliczono według teorii wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej. W obliczeniach przyjęto, że oś pojedyncza przekazuje obciążenie poprzez dwa pojedyncze koła o śladzie zastępczym, kołowym o obciążeniu 50 kN i ciśnieniu kontaktowym 850 kPa, co jest dostosowaniem do obecnych trendów w zakresie pojazdów transportowych.

W przypadku nawierzchni podatnych jako główne kryteria zmęczeniowe stosowano kryteria: spękań „z dołu do góry” warstw asfaltowych z najnowszej metody amerykańskiej M-ENPDM AASHTO 2004 (patrz wzory 2 i 3) [8], deformacji trwałych z metody Instytutu Asfaltowego 1982 [19].

$$N_f = 7,3557 \cdot (10^{-6}) \cdot C \cdot k'_1 \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{3,9492} \cdot \left(\frac{1}{E}\right)^{1,281} \quad (2)$$

gdzie: N_f – liczba powtarzalnych obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych, na 50% całkowitej powierzchni pasa ruchu, k'_1 – parametr określony w procesie kalibracji, zależny od grubości warstwy asfaltowej, ε_t – odkształcenie rozciągające w krytycznym punkcie, w przekroju pionowym nawierzchni, liczba bezwymiarowa, E – moduł sztywności warstwy asfaltowej, w MPa, C – współczynnik zależny od właściwości objętościowych mieszanki mineralno-asfaltowej, określony zależnością $C = 10^M$, przy czym

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

gdzie: V_b – efektywna zawartość asfaltu, % objętościowo, V_a – zawartość wolnych przestrzeni, % objętościowo.

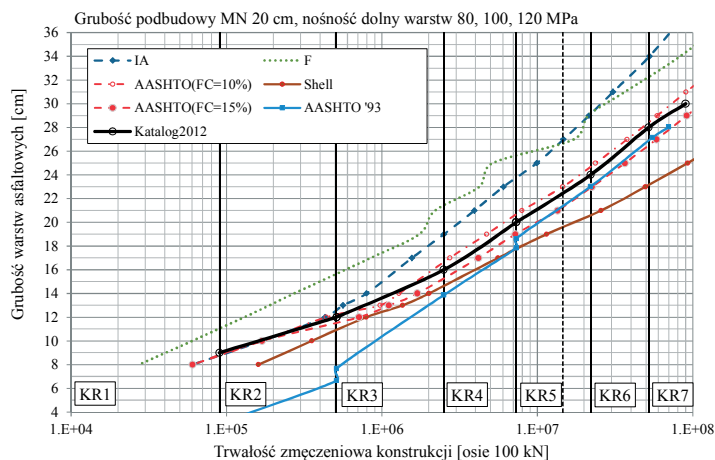
Kryterium AASHTO 2004 przedstawione wzorami (2) i (3) podaje liczbę powtarzalnych obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych na 50% całkowitej powierzchni pasa ruchu. Można jednak obliczyć ilość obciążeń do wystąpienia dowolnego stopnia siatkowych spękań zmęczeniowych. Po analizach przyjęto następujące poziomy spękań zmęczeniowych: 10-20% dla nawierzchni na podbudowach z mieszanki niezwiązanej i 5-10% dla nawierzchni o podbudowach asfaltowych.

W przypadku nawierzchni półsztywnych uwzględniono dwie fazy pracy podbudowy zasadniczej związanej spoiwem hydraulicznym i dodatkowo stosowano kryterium spękań warstw związanych, z metody AASHTO 2004, znane jako kryterium Dempsey'a omówione przez Judyckiego [19].

Na podstawie wykonanych obliczeń i analiz, jak pokazano na przykładowym rys. 4, wszystkie przyjęte w katalogu [1] grubości górnych warstw konstrukcji nawierzchni odpowiadają 100% pokryciu przedziału obciążenia w poszczególnych kategoriach ruchu. Dodatkowo w obliczonych konstrukcjach zostały uwzględnione tolerancje wykonawcze poprzez odpowiednie zwiększenie grubości warstw asfaltowych w stosunku do wyników obliczeń.

Nowością w stosunku do katalogu z 1997 r. jest rozszerzenie ilości typowych układów górnych warstw konstrukcji z podbudową zasadniczą z mieszanki niezwiązanej, dodanie rozwiązań z podbudową zasadniczą w technologii recyklingu na zimno oraz uwzględnienie stosowania warstw porowatych w warstwach asfaltowych.





Rys. 4. Trwałości zmęczeniowe konstrukcji nawierzchni podatnej z podbudową z mieszanki niezwiązanej ($C_{90/3}$) i grubości 20 cm obliczone według różnych kryteriów zmęczeniowych. Ulepszone podłoże gruntowe i dolne warstwy konstrukcji o nośności 80, 100 i 120 MPa odpowiednio dla poszczególnych kategorii ruchu

9. Zakończenie

W zaktualizowanym katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych [1] wprowadzono nowe współczynniki przeliczeniowe na równoważne osie, dodatkową kategorię ruchu, wydłużono okres projektowy nawierzchni autostradowych i ekspresowych, istotnie zmieniono i rozszerzono sposoby wzmocnienia podłoża gruntowego, wprowadzono nowe materiały i materiały z recyklingu do rozwiązań typowych górnych i dolnych warstw konstrukcji oraz ulepszonego podłoża. Autorzy wyrażają przekonanie, że stosowanie nowego katalogu przyczyni się do uporządkowania terminologii w drogownictwie, co istotnie zmniejszy nieporozumienia w czasie budowy.

W przyjętych w nowym katalogu konstrukcjach nawierzchni zostały uwzględnione zapasy bezpieczeństwa w następujących elementach: w metodzie wyliczania ruchu, we właściwościach materiałowych warstw asfaltowych, we właściwościach materiałowych podbudów związanych spoiwem hydraulicznym, w metodyce przyjęcia konstrukcji, jako układu katalogowego oraz w uwzględnieniu tolerancji wykonawczych.

Literatura

- 1 Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych, Politechnika Gdańska, Katedra Inżynierii Drogowej, Gdańsk, 11.03.2013,
- 2 http://wilis.pg.gda.pl/index.php?option=com_content&task=blogsection&id=10&Itemid=63
- 3 https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/p/prace-naukowo-badawcze-po-roku-2_3432/Weryfikacja%20KataloguTNPiP_Etap4_final_11%2003%202013.pdf
- 4 Judycki J., Jaskuła P. Przyczyny i kierunki weryfikacji konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. Drogownictwo 6 (2011) 183–188.
- 5 Judycki J. Porównanie grubości typowych nawierzchni podatnych i półsztywnych Polski i wybranych krajów Europy. Drogownictwo 5 (2012) 159–164.
- 6 Judycki J. Nawierzchnie podatne i półsztywne. Porównanie katalogów typowych konstrukcji. Magazyn Autostrady 5 (2012) 112–120.
- 7 Ryś D., Judycki J., Jaskuła P. Aktualizacja współczynników równoważności pojazdów ciężarowych i autobusów. Drogownictwo 7-8 (2011) 245–249.

- 8 Judycki J. Budowa i kalibracja modeli spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych nawierzchni drogowych w mechanistyczno-empirycznej metodzie AASHTO 2004. *Drogi i Mosty* 4 (2011) 31–53
- 9 Judycki J. Modele spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych nawierzchni drogowych w mechanistyczno-empirycznej metodzie AASHTO 2004. *Drogownictwo* 11 (2011) 343–347.
- 10 Jaczewski M., Judycki J. Adaptacja francuskich kryteriów zmęczeniowych do projektowania nawierzchni podatnych w warunkach polskich. *Drogownictwo* 5 (2012) 164–170.
- 11 Jaczewski M., Judycki J. Zastosowanie w warunkach polskich francuskiej metody projektowania nawierzchni asfaltowych o podbudowach związanych spoiwami hydraulicznymi. *Drogownictwo* 6 (2012) 199–203.
- 12 Judycki J., Alenowicz J., Dołżycki B., Jaskuła P., Pszczoła M. Nietad i brak spójności w polskiej terminologii nawierzchni podatnych i półsztywnych. *Drogownictwo* 11 (2012) 351–358.
- 13 Judycki J., Alenowicz J., Dołżycki B., Jaskuła P., Pszczoła M. Propozycja zmian terminologii drogowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych i jej zastosowanie w nowym katalogu. *Drogownictwo* 12 (2012) 405–410.
- 14 Judycki J., Jaskuła P., Pszczoła M., Ryś D., Jaczewski M., Alenowicz J., Dołżycki B., Stiens M. Analizy i projektowanie konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2014.
- 15 <http://gddkia.gov.pl/pl/a/3432/prace-naukowo-badawcze-po-roku-2009>
- 16 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, USA, 1993.
- 17 Corte J.F. i wsp. Conception et dimensionnement des structures de chaussée, LCPC, Francja, 1994.
- 18 Judycki J., Grajewska A. i wsp. Opracowanie zaleceń do obliczania współczynników równoważności obciążenia osi do projektowania nawierzchni podatnych i półsztywnych. PG, GDDKiA, Gdańsk, 2006.
- 19 Judycki J. Porównanie kryteriów zmęczeniowych do projektowania podatnych i półsztywnych nawierzchni drogowych w aspekcie nowego polskiego katalogu konstrukcji typowych (część 1). *Drogownictwo* 1 (1999) 5-18.

Development of new „Catalogue of typical flexible and semi-rigid pavement structures”

**Józef Judycki, Piotr Jaskuła, Marek Pszczoła, Mariusz Jaczewski, Dawid Ryś,
Jacek Alenowicz, Bohdan Dołżycki, Marcin Stiens**

Department of Highway Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Gdansk University of Technology, e-mail: jozef.judycki@wilis.pg.gda.pl

Abstract: This publication describes research and design works which were conducted at the Gdansk University of Technology for the purpose of development of new catalogue of typical flexible and semi-rigid pavement structures. The studies included: standardization of pavement structures terminology, study of foreign pavement structures catalogues and design methods, analysis of fatigue criteria for design of flexible and semi-rigid pavements, analysis of road traffic, based on weight in motion data, design of subgrade improvement, incorporation of new pavement materials, recycled and anthropogenic materials, determination of mechanistic parameters of materials and design of pavement structures using mechanistic-empirical methods of pavement design.

Keywords: catalogue of typical pavement structures, pavement design, subgrade, traffic load, terminology of pavements, road materials

