



JÓZEF JUDYCKI

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

Modele spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych nawierzchni drogowych w mechanistyczno-empirycznej metodzie AASHTO 2004

W Polsce weszła do praktycznego stosowania mechanistyczno-empiryczna metoda projektowania konstrukcji nawierzchni, głównie autostrad i dróg ekspresowych. Dotychczas nie opublikowano w języku polskim oficjalnej wersji tej metody i dlatego jest ona obecnie wykorzystywana przez dość ograniczoną, ale powoli rosnącą grupę polskich projektantów. Ze względu na brak polskich kryteriów, wykorzystują oni najczęściej kryteria zmęczeniowe Instytutu Asfaltowego [1], przedstawione w języku polskim w 1999 r. przez autora w artykule [2]. Są to już stare kryteria, które powstały w USA na przełomie lat 1970/1980. Biorąc pod uwagę potencjał badawczy w Polsce i ograniczone fundusze na podstawowe badania drogowe, można stwierdzić, że nie ma szans na opracowanie w Polsce oryginalnych, własnych kryteriów zmęczeniowych. Celem tego artykułu jest przedstawienie kryteriów zmęczeniowych zawartych w nowej metodzie projektowania nawierzchni AASHTO 2004 [2]. Niniejszy artykuł powstał w ramach badań nad weryfikacją i aktualizacją „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych”, realizowanych w Katedrze Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej, na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad. W ramach tych prac podjęta zostanie próba wykorzystania kryteriów AASHTO 2004 do weryfikacji polskiego katalogu.

Modele zmęczeniowe AASHTO 2004 były skalibrowane na podstawie wyników badań na dużej ilości odcinków doświadczalnych LTPP (*Long Term Pavement Performance*) położonych w różnych warunkach klimatycznych w USA i w dwóch stanach Kanady. Badań w takiej skali nigdy przedtem w świecie nie wykonano. Podane w metodzie AASHTO 2004 modele zmęczeniowe są więc bardziej wiarygodne niż dotychczasowe.

Wyjaśnienia wymaga użyta przez autora artykułu nazwa metody „AASHTO 2004”. Pełna nazwa metody brzmi: „*Guide for Mechanistic – Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*”. Użycie tłumaczenia pełnej nazwy nie byłoby praktyczne. Użyty skrót nazwy „AASHTO 2004” uzasadniony jest tym, że jest to kolejna modyfikacja, opublikowana w 2004 r., stosowanej od wielu lat, metody AASHTO, opracowanej na zlecenie AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), we współpracy z FHA (*Federal Highway Administration*) w USA.

W oryginalnej metodzie użyto jednostek miar US, zwanych imperialnymi. Autor artykułu przeliczył współczynniki i podał wzory w jednostkach metrycznych. Przed zastosowaniem wzorów w praktyce autor zaleca jednak sięgnięcie do prac oryginalnych [3], [4], w celu uniknięcia jakichkolwiek pomyłek.

Spękania typu „z dołu do góry” i „z góry na dół”

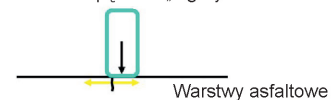
Spękania zmęczeniowe warstw asfaltowych nawierzchni drogowych wywołane przez obciążenie ruchem są uważane za jedną z najistotniejszych form uszkodzeń. W metodzie AASHTO 2004 [3] opracowano modele matematyczne do dwóch typów spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych, to znaczy „spękań z dołu do góry” i „spękań z góry na dół”, odpowiednio w języku angielskim zwanych spękaniami „*bottom-up*” i „*top-down*” (rys. 1 i 2). Powszechnie znane są spękania typu „z dołu do góry” i tylko one były dotychczas

Spękanie „z dołu do góry”



Rys. 1. Spękania typu „z dołu do góry” („*bottom – up*”) o charakterze siatkowym na DW Nr 222 (fot. Katedra Inżynierii Drogowej PG)

Spękania „z góry do dołu”



Rys. 2. Spękania typu „z góry na dół” o charakterze liniowym na DK Nr 1 (fot. Katedra Inżynierii Drogowej PG) – na odwiercie widać penetrację spękania w dół na kilka centymetrów

uwzględniane w projektowaniu nawierzchni. Spękania „z dołu do góry” inicjowane są na spodzie warstw asfaltowych zginanych przez koła pojazdów i penetrują w górę. Gdy pokazyują się na powierzchni jezdni mają charakter spękań zwanych siatkowymi, albo aligatorowymi. Mechanizm spękań „z góry na dół” jest bardziej złożony i nie do końca wyjaśniony. Są to spękania liniowe, występują w śladach kół pojazdów i sięgają najczęściej na ograniczoną głębokość rzędu 50–75 mm. Są raczej charakterystyczne dla grubych warstw asfaltowych. Przyjmuje się, że za spękania „z góry na dół” odpowiadają naprężenia rozciągające i ścinające powstające na powierzchni jezdni przy ruchu koła, a także nierównomiernie rozłożone kontaktowe naprężenia pionowe skoncentrowane na styku krawędzi śladu koła i nawierzchni. Wśród przyczyn występowania spękań „z góry na dół” oprócz ruchu wymienia się także naprężenia termiczne oraz efekt usztywnienia górnej warstewki asfaltowej wskutek jej starzenia. W dotychczasowych kryteriach zmęczeniowych spękań warstw asfaltowych, omówionych szczegółowo w [2], ujmowane były tylko „spękania z dołu do góry”. Metoda AASHTO 2004 jest pierwszą metodą przedstawiającą praktyczny model matematyczny „spękań z góry na dół”.

Kalibracja terenowa modeli zmęczeniowych AASHTO 2004

Modele opublikowane w AASHTO 2004 zostały zweryfikowane na 136 odcinkach LTPP, w tym na 94 nowych i 42 odcinkach po remoncie. Wszystkie odcinki LTPP były zlokalizowane na normalnie eksploatowanych drogach w znacznej części wyposażonych w urządzenia do ważenia pojazdów w ruchu (WIM). Odcinki doświadczalne były zlokalizowane w wielu stanach USA i dwóch stanach Kanady, w różnych warunkach klimatycznych, od Alaski do Florydy. Opis budowy i kalibracji modeli zmęczeniowych w metodzie AASHTO 2004 przedstawia raport opracowany przez Mathiew M. Witczaka i M.M. El-Basyouny [4], a w języku polskim praca autora [5]. Ze względu na wnikliwą weryfikację terenową modele zmęczeniowe podane w metodzie AASHTO 2004 są bardziej wiarygodne niż dotychczasowe. Kalibracja terenowa modeli AASHTO 2004 obejmowała: zebranie danych do kalibracji z odcinków doświadczalnych LTPP, obliczenia symulacyjne przy użyciu różnych wartości współczynników kalibracji w modelach zmęczeniowych, weryfikację wyników obliczeń przez porównanie obliczonej szkody zmęczeniowej z ilością spękań zmęczeniowych na każdym odcinku doświadczalnym LTPP i selekcję kombinacji współczynników kalibracji o najmniejszym rozrzucie i o prawidłowym trendzie.

Model spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych przyjęty w metodzie AASHTO 2004

W analizie AASHTO użyto dwóch modeli: Instytutu Asfaltowego [2], [5] i Shella w wersji podanej przez Bonnuare i współpracowników [6], która jest inna od wersji podanej w metodzie Shell [2], [7]. Po badaniach terenowych model [6] odrzucono jako bardziej odbiegający od wyników terenowych i do dalszej analizy przyjęto tylko model Instytutu

Asfaltowego, który uściślono i rozbudowano o współczynniki kalibracyjne pochodzące z danych terenowych. Po uwzględnieniu współczynników kalibracyjnych otrzymano ostatecznie model, podany poniżej w jednostkach metrycznych:

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

w którym:

- N_f – liczba powtarzalnych obciążeń do wystąpienia spękań zmęczeniowych,
- K'_1 – parametr określony w procesie kalibracji, zależny od grubości warstwy asfaltowej, podany poniżej,
- ε_t – odkształcenie rozciągające w krytycznym punkcie, liczba bezwymiarowa,
- E – moduł sztywności warstwy asfaltowej, w MPa,
- C – współczynnik zależny od właściwości objętościowych mieszanki mineralno-asfaltowej, określony wzorami:

$$C = 10^M$$

$$M = 4,84 \left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0,69 \right) \quad (2)$$

w którym:

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

Przez efektywną zawartość asfaltu rozumie się zawartość całkowitą pomniejszoną o asfalt zabsorbowany w porach kruszywa. Absorbacja jest istotna w przypadku kruszyw o większej porowatości.

Krytycznym punktem w konstrukcji nawierzchni jest taki punkt, w którym powstają największe odkształcenia rozciągające. Jest to punkt położony albo na spodzie warstw asfaltowych pod kołem pojazdu przy spękaniach typu „z dołu do góry”, albo na powierzchni górnej warstw asfaltowych w pobliżu krawędzi śladu koła pojazdu przy spękaniach typu „z góry na dół”.

Parametr K'_1 zależny od grubości warstw asfaltowych i charakteru ich pracy

Nową jakością modeli AASHTO 2004 jest uwzględnienie po raz pierwszy w praktycznych wzorach charakteru pracy warstw asfaltowych w zależności od ich grubości (kontrolowane odkształcenie przy cienkich warstwach poniżej 50 mm, stan pośredni przy grubości od 50 do 200 mm i kontrolowane naprężenie przy grubych warstwach powyżej 200 mm). Zmienny typ pracy warstwy w zależności od jej grubości uwzględniono przez wprowadzenie parametru K'_1 . Parametr K'_1 opisany jest następującymi wzorami, podanymi w jednostkach metrycznych :

a) przy spękaniach typu „z dołu do góry”:

$$K'_1 = \frac{1}{0,000398 + \frac{0,003602}{1 + e^{(11,02 - 1,374 \cdot h_{ac})}}} \quad (3)$$

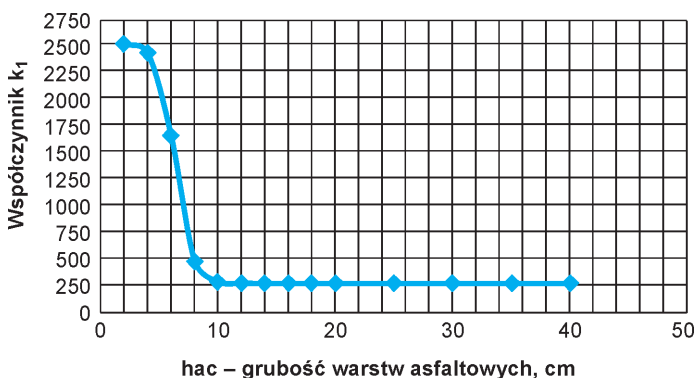
b) przy spękaniach typu „z góry na dół”:

$$K'_1 = \frac{1}{0,01 + \frac{12,00}{1 + e^{(15,676 - 1,1097 \cdot h_{ac})}}} \quad (4)$$

w których:

h_{ac} – łączna grubość wszystkich warstw asfaltowych w konstrukcji nawierzchni, w cm.

Na rysunku 3 pokazano przebieg współczynnika k_1^* do spękań „z dołu do góry” w zależności od grubości warstw asfaltowych. Współczynnik k_1^* przyjmuje duże wartości przy cienkich warstwach asfaltowych i zmierza ku stałej wartości przy warstwach o grubości łącznej powyżej 100 mm. Wpływ grubości całkowitej warstw asfaltowych, wtedy gdy są one cieńsze od 100 mm, jest bardzo duży. Cienkie nawierzchnie asfaltowe, ze względu na obciążenia typu kontrolowanego odkształcenia, mają przy takich samych odkształceniach rozciągających znacznie większą trwałość niż grube warstwy asfaltowe. Współczynnik k_1^* jest rzędu $k_1^* = 2500$ przy $h_{ac} = 40$ mm i $k_1^* = 250$ przy $h_{ac} \geq 100$ mm. Trwałość zmęczeniowa przy takim samym odkształceniu rozciągającym ϵ_t jest więc przy warstwie cenniejszej 40 mm 10 razy większa niż przy warstwach grubszych od 100 mm.



Rys. 3. Współczynnik kalibracyjny k_1^* ze względu na grubość warstw asfaltowych dla spękań typu „z dołu do góry”

Ten wynik amerykańskich badań może budzić wątpliwości wśród osób mniej zapoznanych z trwałością zmęczeniową mieszanek mineralno-asfaltowych. Wyjaśnić można, że warunki kontrolowanego naprężenia i kontrolowanego odkształcenia można łatwo regulować w testach laboratoryjnych. Test kontrolowanego naprężenia polega na przykładaniu do próbki mieszanki mineralno-asfaltowej naprężeń o kontrolowanym przebiegu (na przykład o stałej amplitudzie naprężeń) i pomiarze zmieniających się odkształceń. Test kontrolowanego odkształcenia polega na przykładaniu do próbki odkształceń o kontrolowanym przebiegu (na przykład o stałej amplitudzie odkształceń) i pomiarze zmieniających się naprężeń. Dwa typy testów dają diametralnie różne wyniki. Różnice uzyskane w laboratorium w tych dwóch testach, przy takim samym odkształceniu początkowym tej samej mieszanki, mogą się różnić ponad 50 razy. Mieszanki mineralno-asfaltowe zachowują się w czasie takich testów zupełnie inaczej; mieszanki sztywne są bardziej trwałe w warunkach kontrolowanego naprężenia, a mieszanki podatne są bardziej trwałe w warunkach kontrolowanego odkształcenia.

* Zwracam uwagę Czytelników, że w raporcie z badań do AASHTO 2004 [4] jest błąd i na rys. 19, str. 49 podano w tej pracy odwrotność współczynnika $1/k_1^*$, a nie sam współczynnik k_1^* .

Ilość spękań zmęczeniowych w zależności od szkody zmęczeniowej

Ilość spękań siatkowych (aligatorowych) typu „z dołu do góry” oblicza się ze szkody zmęczeniowej według wzoru:

$$FC_{bottom} = \left(\frac{100}{1 + e^{(C_1 \cdot C_1 + C_2 \cdot C_2 / \log_{10}(D \cdot 100))}} \right) \quad (5)$$

w którym:

FC_{bottom} – ilość spękań siatkowych (aligatorowych) typu „z dołu do góry”, wyrażona w procentach w stosunku do całej powierzchni pasa ruchu,

D – szkoda zmęczeniowa wywołana na spodzie warstw asfaltowych (powinna być wstawiana do tego wzoru jako liczba, a nie jako procent),

Współczynniki kalibracyjne są następujące:

$$C_1 = 1,0$$

$$C_1' = -2 \cdot C_2' \quad (6)$$

$$C_2 = 1,0$$

$$C_2' = -2,40874 - 39,748 \cdot (1 + h_{ac}/2,54)^{-2,856}$$

h_{ac} – łączna grubość warstw asfaltowych, w cm.

Po wstawieniu podanych wyżej współczynników kalibracyjnych do wzoru (5) otrzymujemy:

$$FC_{bottom} = \left(\frac{100}{1 + e^{(-2 \cdot C_2 + C_2 \cdot \log_{10}(D \cdot 100))}} \right) \quad (7)$$

w którym przyjęto oznaczenia jak poprzednio.

Ilość spękań typu „z góry na dół” oblicza się ze szkody zmęczeniowej ze wzoru podanego poniżej, w jednostkach metrycznych:

$$FC_{top} = \left(\frac{17,936}{1 + e^{(7,0 - 3,5 \cdot \log_{10}(D \cdot 100))}} \right) \quad (8)$$

w którym:

FC_{top} – ilość spękań podłużnych, liniowych „z góry na dół”, w metrach na 1 kilometr pasa ruchu,

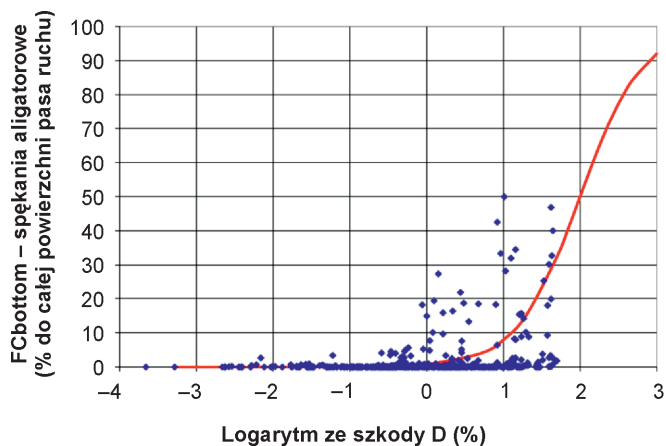
D – szkoda zmęczeniowa na górze warstw asfaltowych, dla spękań typu „z góry na dół” (powinna być wstawiana do wzoru liczba, a nie procent).

Porównanie z wynikami terenowymi

Związek ilości spękań FC ze szkodą zmęczeniową D przedstawiono na rysunku 4. Na osi poziomej podany jest logarytm dziesiętny ze szkody zmęczeniowej D wyrażonej w procentach. Na osi pionowej podano ilość spękań. Linie ciągłe są graficzną interpretacją modelu obliczeniowego. Na osi pionowej (FC) są wyniki pomiarów ilości spękań siatkowych (aligatorowych) na odcinkach doświadczalnych LTPP, a na osi poziomej (D) jest obliczona w procesie symulacji komputerowej szkoda zmęczeniowa. W procesie symulacji obliczono szkodę zmęczeniową D i porównywaną z obserwowaną ilością spękań FC . Proces obliczeń był bardzo złożony (porównaj [3] i [4]).

W przypadku spękań „z dołu do góry” szkodzie zmęczeniowej $D = 100\%$, czyli $\log_{10} D = 2$, odpowiada 50% spękanej powierzchni pasa ruchu w postaci spękań siatkowych (aligatorowych). Obliczone ze wzorów wartości są ilością wszystkich spękań o różnej intensywności (dużej, średniej i małej).

Zwraca uwagę duży rozrzut wyników badań terenowych, co jest normalne w przypadku badań spękań zmęczeniowych i wynika z wpływu wielu bardzo zróżnicowanych czynników na spękania. Widać z położenia punktów z badań na rysunku 4, że na przykład, przy $\log D = 1$, czyli przy szkodzie zmęczeniowej $D = 10\%$, ilość spękań aligatorowych wynosiła od około zera do 30%, a nawet do 50% w stosunku do całej powierzchni pasa ruchu.



Rys. 4. Ilość spękań aligatorowych typu „z dołu do góry” w zależności od szkody zmęczeniowej D (w %) powstałej na spodzie warstw asfaltowych

Podobnie wygląda zależność przy spękaniach „z góry na dół”. W przypadku spękań podłużnych w śladzie kół, typu „z góry na dół”, szkodzie zmęczeniowej $D = 100\%$, czyli $\log_{10} D = 2$, odpowiada około 6000 stóp spękań podłużnych w śladach kół na 1 milę. W przeliczeniu na jednostki metryczne oznacza to 1137 metrów spękań podłużnych w śladach kół na 1 km, lub po 569 m spękań podłużnych na 1 km, w każdym śladzie kół.

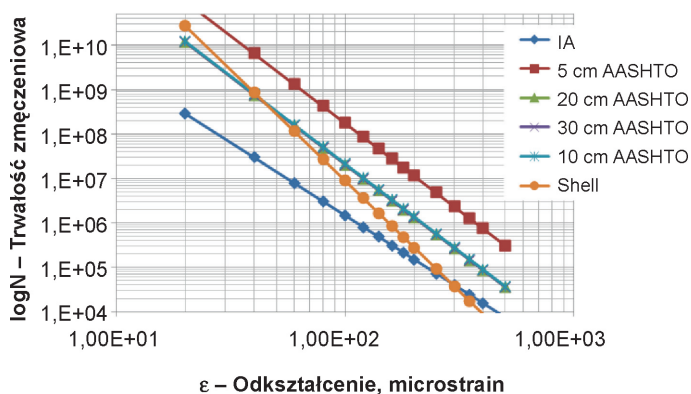
Wstępne obliczenia i analizy

Autor tego artykułu wykonał obliczenia do warstwy podbudowy asfaltowej, typowej w polskich warunkach, przy następujących danych charakteryzujących warstwę asfaltową: zawartość efektywna objętościowa asfaltu 10%(v/v), zawartość wolnych przestrzeni 8%(v/v). Przyjęto moduł sztywności 9600 MPa w temperaturze 10°C.

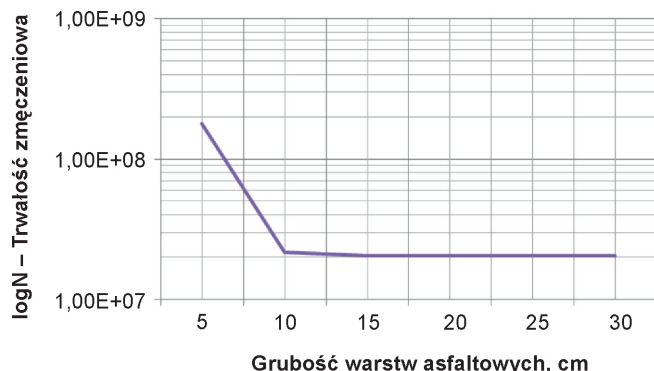
Na rysunku 5 pokazano porównanie obliczonej przez autora trwałości zmęczeniowej z trzech metod, a mianowicie Instytutu Asfaltowego [1], [2] Shella [2], [7] i AASHTO 2004 [3]. Na osi poziomej podane są odkształcenia rozciągające na spodzie warstwy asfaltowej, a na osi pionowej obliczona trwałość zmęczeniowa tej warstwy. Wykresy są liniowe w skali logarytmicznej. Kryteria z tych metod dają znacznie różniące się wyniki. Metoda AASHTO 2004 daje największe wartości trwałości zmęczeniowej. Jedną z najważniejszych przyczyn różnic jest przyjęcie w każdej z tych metod innej definicji trwałości zmęczeniowej, czyli takiej ilości spękań aligatorowych w stosunku do całej powierzchni jezdni, która jest traktowana umownie jako osiągnięcie krytycznej wartości trwałości

zmęczeniowej. Druga bardzo ważna przyczyna to fakt, że metody te powstawały w innych warunkach, chociażby ze względu na rozwój teorii, metod badawczych i dostępność aparatury pomiarowej przed 30 laty. Metody Instytutu Asfaltowego (1982) i Shella (1977) oparto o ograniczone badania terenowe. Nie przeprowadzono tak obszernych badań kalibracyjnych jak do metody AASHTO 2004.

W dotychczasowych metodach (Instytutu Asfaltowego, Shella i innych opisanych w [2]) trwałość zmęczeniowa zależała od odkształceń ϵ_v , ale nie zależała od grubości warstwy. Przy takim samym odkształceniu rozciągającym konkretnego materiału definiowano jedną wartość liczbową trwałości zmęczeniowej. W metodzie AASHTO 2004 trwałość zależy nie tylko od odkształceń rozciągających ϵ , ale także od grubości warstwy. Dlatego na rysunku 5 pojedyncze linie reprezentują wartości według metod Instytutu Asfaltowego i Shella, a wiele linii reprezentuje wartości według metody AASHTO 2004; każda linia do innej grubości warstwy. Jak widać z rysunku 5, przy grubości 5 cm trwałość z metody AASHTO 2004 jest największa (przy takich samych odkształceniach ϵ). Przy grubościach warstwy asfaltowej powyżej 10 cm jest praktycznie niezależna od grubości. Przedstawiono to także na rysunku 6.

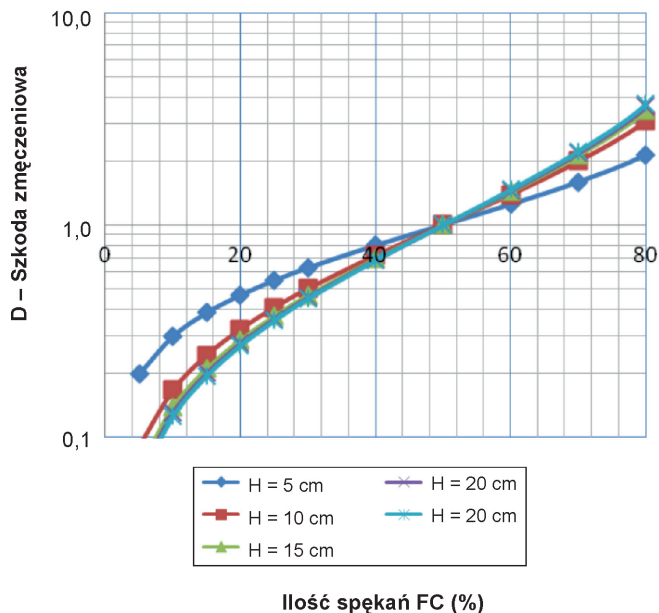


Rys. 5. Porównanie obliczonej trwałości zmęczeniowej z metod Instytutu Asfaltowego (IA), Shella i AASHTO 2004



Rys. 6. Trwałość zmęczeniowa obliczona wg metody AASHTO 2004 przy założonej wartości odkształceń rozciągających na spodzie warstw asfaltowych ϵ równej 100 microstrainów* (10^{-3})

* mikroodkształceń



Rys. 7. Zależność pomiędzy D (szkodą zmęczeniową) a FC (ilością spękań siatkowych w % całej powierzchni pasa ruchu) wg metody AASHTO 2004

Na rysunku 7 przedstawiono zależność pomiędzy D (szkodą zmęczeniową) a FC (ilością spękań siatkowych w % całej powierzchni pasa ruchu) wg metody AASHTO 2004, wyrażonej w procentach w stosunku do całej powierzchni pasa ruchu. Według AASHTO 2004 przy D = 1, na powierzchni nawierzchni wystąpi FC = 50% spękań siatkowych, w stosunku do całej powierzchni pasa ruchu. Związek $D = f(FC)$ zależy od grubości warstwy. Przy tej samej D = 1 większa powierzchnia spękana jest przy grubszych warstwach. Z rysunku 7 widać, że przy FC = 20% (20% spękaną powierzchnię w stosunku do całej powierzchni pasa ruchu) i grubości warstw asfaltowych powyżej 10 cm szkoda zmęczeniowa jest mniejsza od około D = 0,3. Jeżeli obliczona szkoda zmęczeniowa jest większa od D = 1 to ilość spękań FC jest większa od 50% powierzchni pasa ruchu.

Zakończenie

Modele zmęczeniowe AASHTO 2004 stanowią postęp w projektowaniu nawierzchni drogowych. Stosowane są do obliczania szkody zmęczeniowej D, która w procesie obliczeń przy projektowaniu sumowana jest, zgodnie z prawem Minera, w kolejnych miesięcznych okresach analizy nawierzchni w okresie obliczeniowym. Na podstawie obliczonej sumarycznej szkody zmęczeniowej określa się ilość przewidywanych spękań nawierzchni FC. W artykule, ze względu na ograniczoną objętość, mniej uwagi zwrócono na spękania typu „z góry na dół”. Procedura postępowania z tymi spękaniami jest podobna do procedury stosowanej w przypadku spękań typu „z dołu do góry”.

Oprócz spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych metoda AASHTO 2004 zawiera modele zmęczeniowe spękań podbudów związanych spoiwami hydraulicznymi i modele deformacji trwałych.

Bibliografia

- [1] Research and Development of the Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS -1), Ninth edition, The Asphalt Institute, Research Report No. 82 -2, RR - 82 - 2, August 1982
- [2] Judycki J.: *Porównanie kryteriów zmęczeniowych do projektowania podatnych i półsztywnych nawierzchni drogowych w aspekcie nowego polskiego katalogu konstrukcji typowych*, (część 1), Drogownictwo, Nr 1/1999, str. 5-18
- [3] Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, Final Report, Part 3 – Design and Analysis, NCHRP, TRB, NRC, March 2004
- [4] Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, Final Document, Appendix II-1, Calibration of Fatigue Cracking Models for Flexible Pavements, NCHRP, TRB, NRC, February 2004
- [5] Judycki J., Budowa i kalibracja modeli spękań zmęczeniowych warstw asfaltowych nawierzchni drogowych w mechanistyczno-empirycznej metodzie AASHTO 2004, (artykuł złożony do publikacji w „Drogach i Mostach”)
- [6] Bonnaure F., Gravois A., Udron J., *A New Method of Predicting the Fatigue Life of Bituminous Mixes*, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 49, 1980
- [7] Claessen A.I.M., Edwards J.M., Sommer P., Uge P., *Asphalt Pavement Design – The Shell Method*, Shell International Petroleum Company Ltd., 1977 ■

KOMUNIKAT

Redakcja „Drogownictwa” informuje Szanownych Czytelników, że członkom Okręgowych Izb Inżynierów Budownictwa przysługuje prawo do bezpłatnego zaprenumerowania jednego z czasopism specjalistycznych wymienionych w wykazie opublikowanym przez Izby w internecie. Warunkiem otrzymania specjalistycznego czasopisma jest wypełnienie ankiety umieszczonej na stronie internetowej Izby w dziale prenumeraty. Zachęcamy Czytelników do zgłaszania prenumeraty „Drogownictwa” na kolejne lata.