

GAJEWSKI Marcin¹
JEMIOŁO Stanisław¹
BAŃKOWSKI Wojciech¹
MIRSKI Krzysztof¹

PROPOZYCJA BADANIA DO OCENY WPLYWU ZBROJENIA SIATKAMI WARSTW NAWIERZCHNI DROGOWEJ

W pracy zaproponowano rozwiązanie techniczne aparatu służącego do oceny wpływu zbrojenia siatkami warstw nawierzchni drogowych, który może być stosowany jako urządzenie rozszerzające możliwości pomiarowe typowej maszyny wytrzymałościowej. Urządzenie to pozwala na badania statyczne, dynamiczne jak i zmęczeniowe. Podstawową ideą jago pracy jest umieszczenie próbki warstwowej wykonanej z mieszanek mineralno asfaltowych na podkładce sprężystej i obciążenie jej w kierunku prostopadłym do jej płaszczyzny co w próbce generuje złożony stan naprężenia oraz znaczne ścinanie. Podkładka sprężysta ze sztywnego tworzywa poliuretanowego ma symulować oddziaływanie od pozostałych warstw nawierzchni drogowej. Sama podkładka sprężysta jak i próbka materiału badanego znajdują się w obudowie, która uniemożliwia deformację w kierunkach prostopadłych do obciążenia. W niniejszej pracy przedstawiono wyłącznie wyniki przykładowych badań zmęczeniowych.

PROPOSITION OF THE TEST FOR EVALUATION OF MESH REINFORCEMENT IN MULTILAYER ROAD PAVEMENT

The paper proposes a device which can be used to assess the influence of reinforcement grids inserted in pavement layers for overall structure behavior. Proposed device can be installed as a device that extend the capabilities of a typical material testing machine for the static, dynamic and fatigue tests. The basic idea is to put a layered sample made of asphalt mixes on the elastic pad and load it in the direction perpendicular to its plane. The elastic pad is simulating the mechanical answer of the other layers of road surface. Elastic pad and a material sample are in the mold, which prevents deformation in directions perpendicular to the load. In this paper only results of example fatigue tests are presented.

1. WSTĘP

W procesie projektowania i wykonania nawierzchni drogowych ostatnio coraz częściej używa się elementów zbrojących w postaci siatek z włókien węglowych, szklanych, siatek

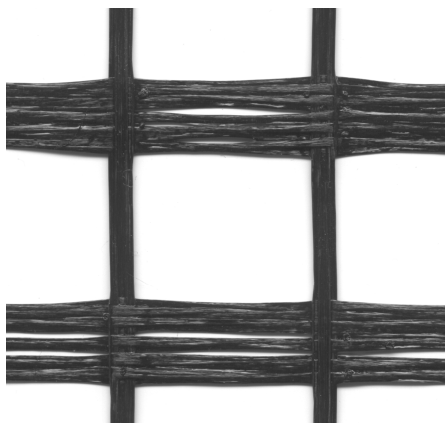
¹ Instytut Badawczy Dróg i Mostów, ul. Instytutowa 1, 03-302 Warszawa, Polska, Tel. (+4822) 3900401,
E-mail:mgajewski@ibdim.edu.pl, s.jemiolo@il.pw.edu.pl, wbankowski@ibdim.edu.pl, kmirski@ibdim.edu.pl

stalowych itp. Niemniej jednak w bezpośrednich obliczeniach nie uwzględnia się zbrojenia siatkami, a jedynie zakłada, że można zmniejszyć grubość warstwy po wprowadzeniu zbrojenia. Dzieje się tak, gdyż w laboratoriach drogowych nie przeprowadza się żadnych badań, w których uwzględniałoby się wpływ siatki zbrojącej na pracę konstrukcji warstwowej. W niniejszej pracy zaproponowano test laboratoryjny, w którym wpływ siatki zbrojącej może być uwzględniony. Badania przeprowadza się na próbkach płytowych o maksymalnych wymiarach 40x40x15 cm., w których można umieścić siatkę o znacznych wymiarach oczek zachowując reprezentatywność próbki, por. rys.1.

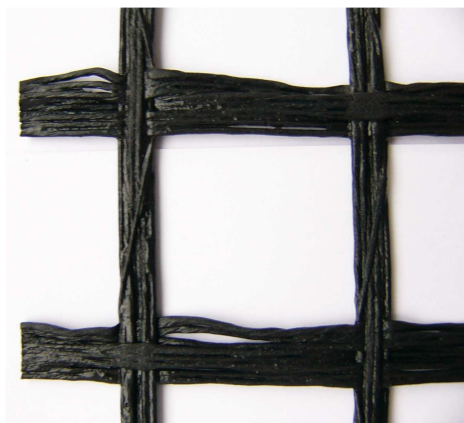
Wpływ siatki zbrojącej nawierzchnie drogowe może być również analizowany przy zastosowaniu metody elementów skończonych, por. np. [2, 3]. W symulacjach tego typu najtrudniej scharakteryzować zachowanie tzw. interfejsu, czyli obszaru połączenia warstw nawierzchni między sobą, który dodatkowo może być wzbogacony o siatkę zbrojącą. Można stwierdzić, że modele konstytutywne materiałów drogowych są dość dobrze opracowane, zaś modele interfejsów wymagają dopracowania i weryfikacji doświadczalnej. Do przeprowadzenia pośrednio tej weryfikacji można także zastosować proponowany aparat. W zaproponowanym aparacie zainstalowanym w standardowej maszynie wytrzymałościowej z komorą temperaturową można przeprowadzać badania statyczne, dynamiczne i zmęczeniowe uwzględniając wpływ temperatury. Niemniej jednak w tej pracy zaprezentowano tylko wybrane wyniki testów zmęczeniowych.

Można stwierdzić, że jakościowy wpływ siatki zbrojącej na charakter odpowiedzi uzyskanej w teście jest stosunkowo wyraźny i czytelny. Niemniej jednak analiza ilościowa wyników tego testu jest złożona ze względu na konieczność zastosowania modelowania numerycznego do oceny wyników testu, por [2,3].

a)



b)



Rys. 1. Przykłady geosiatek stosowanych jako zbrojenie warstw asfaltowych: a) Glas BITUTEX, b) Armapal.

2. PROPOZYCJA APARATU DO OCENY WPŁYWU ZBROJENIA SIATKAMI WARSTW NAWIERZCHNI DROGOWEJ

Na etapie projektowania urządzenia do oceny wpływu zbrojenia siatkami warstw nawierzchni drogowej uwzględniono następujące uwarunkowania:

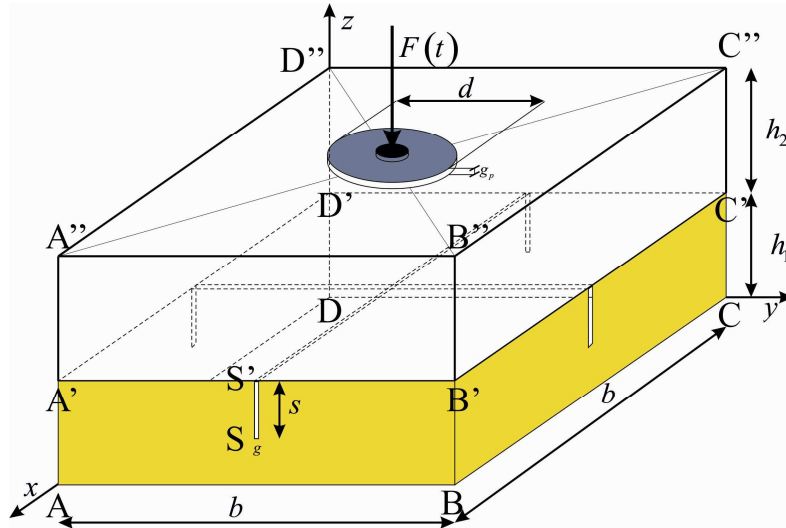
- możliwość technicznego wykonania urządzenia,
- możliwość zamontowania urządzenia w maszynie wytrzymałościowej z komorą temperaturową bez zastosowania dodatkowych urządzeń (ograniczona masa i gabaryty),
- łatwość przygotowania próbek w laboratorium (uwarunkowania technologiczne i ograniczona masa),
- możliwość pobrania próbki z wykonanej nawierzchni drogowej,
- redukcja efektu skali, w przypadku standardowo stosowanych siatek,
- możliwość przeprowadzenia badań statycznych, dynamicznych w ograniczonym zakresie oraz zmęczeniowych,
- możliwość przeprowadzenia badania do zniszczenia, biorąc pod uwagę ograniczenia maszyny wytrzymałościowej.

2.1 Schemat zaproponowanego urządzenia do badań statycznych, dynamicznych i zmęczeniowych

Podstawową ideą zaproponowanego aparatu jest współpraca elementu warstwowej konstrukcji drogowej z elementem sprężystym symulującym odpór od pozostałych warstw nawierzchni i podbudowy. Idea ta wykorzystywana była wcześniej w badaniach Van Dijka [5], w zastosowaniu do koleinomierza, a następnie zaprezentowana powtórnie w pracy [4], w kontekście przeglądu metod badawczych stosowanych w drogownictwie.

Na etapie wstępnym ustalono, że wielkość badanej próbki musi być na tyle duża w planie aby zredukować efekt skali. Założono, że próbka będzie miała kształt prostopadłościanu o podstawie kwadratu i wysokości mniejszej niż bok kwadratu. Jak wiadomo, geosiatki mają oczka o różnych rozmiarach, jednak z reguły nie przekraczających kilku centymetrów. Minimalną wielkość próbki w stosunku do maksymalnego wymiaru oczka siatki zbrojącej oszacowano na podstawie obliczeń numerycznych MES, przyjmując model konstytutywny liniowej sprężystości dla materiału płyty oraz materiału podkładki sprężystej i rozwiązując zadania statyczne. Niestety drugim nieprzekraczalnym kryterium są wymiary wewnętrzne komory temperaturowej. Przyjęto wobec tego wymiary w planie jako równe 40x40[cm], tak aby po długości zmieściło się kilka oczek. Założono, że próbka obciążana przez siłownik w swoim centralnym punkcie na powierzchni górnej będzie spoczywała na warstwie ze sprężystego tworzywa o znacznej sztywności. Obciążenie od siłownika jest przekazywane poprzez krążek stalowy o średnicy $d=200$ [mm] i grubości $g_p=6$ [mm], por. rys.2. Podkładka sprężysta o grubości $h_1=80$ [mm] i wymiarach w planie takich jak próbka może być dodatkowo nacięta tak jak na rys. 2 w celu symulacji pęknięcia w niższych warstwach asfaltowych. W prototypie przyjęto układ nacięć jak na rys. 2 o głębokości $s=40$ [mm] i grubości $g=4$ [mm]. Po uwzględnieniu kubatury komory termicznej oraz sposobu mocowania podstawy urządzenia do dolnego wysięgnika maszyny wytrzymałościowej okazało się, że prostopadłościenna obudowa może mieć wysokość nie przekraczającą 230[mm]. Wynika z tego, że próbka może mieć maksymalną wysokość $h_2=150$ [mm]. Wobec tego w kontekście ograniczeń technologicznych oraz składu granulometrycznego typowych mieszanek mineralno-

asfaltowych okazuje się, że próbka może składać się co najwyżej z dwóch warstw o różnych proporcjach grubości.



Rys.2. Schemat urządzenia – próbka spoczywająca na podkładce poliuretanowej (charakterystyczne wymiary: $b=400[\text{mm}]$, $h_1=80[\text{mm}]$, $h_2=150[\text{mm}]$, $d=200[\text{mm}]$, $g_p=6[\text{mm}]$, $s=40[\text{mm}]$, $g=4[\text{mm}]$).

Podkładka poliuretanowa wraz z próbką jest umieszczona w stalowej obudowie, która realizuje jednostronne więzy na powierzchniach ABCD, ABB''A'', BCC''B'', ADD''A'', CDD''C''. Obudowa ta w całości jest rozbieralna, co ułatwia układanie próbki, czyszczenie oraz demontaż urządzenia.

2.2 Realizacja zaproponowanego urządzenia

Urządzenie wykonano zgodnie z ustaleniami zaprezentowanymi w p.2.1 ze stali nierdzewnej. Ścianki obudowy są odkręcane, a ich ciężar zmniejszony poprzez usunięcie nadmiaru materiału w miejscach najmniej wyężonych. Mocowanie ścianek do podstawy może odbywać się na kilku poziomach w zależności od potrzeb (wysokości wkładki i próbki). Jako, że przyjęto założenie o możliwości badań na próbkach pobranych bezpośrednio z drogi oraz próbkach przygotowanych w laboratorium to konieczne było także przygotowanie formy do wykonania próbek oraz kompletu przekładek, umożliwiających w miarę dowolne stopniowanie grubości poszczególnych warstw oraz właściwe zagęszczanie.

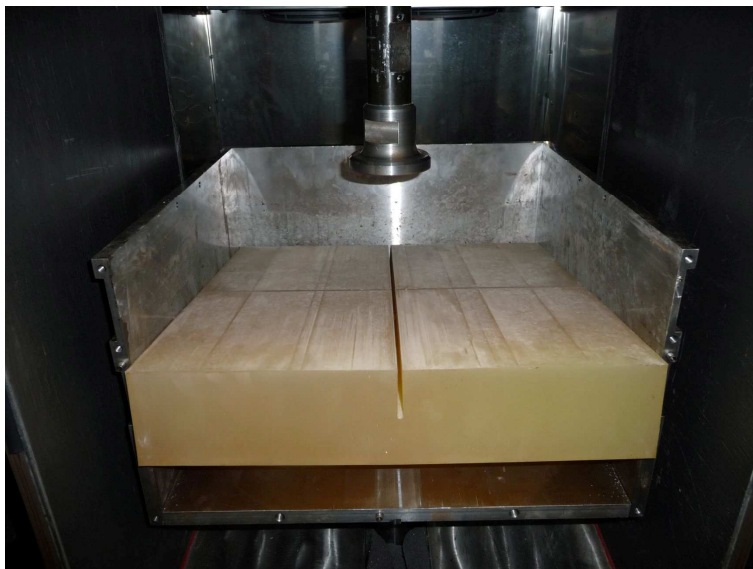
Podkładkę poliuretanową wykonano z materiału, którego właściwości zamieszczono w tab.1. Na rys. 3, 4 i 5 zamieszczono zdjęcia zrealizowanego aparatu zamontowanego w komorze temperaturowej maszyny wytrzymałościowej MTS.



Rys.3. Przystawka z próbką o maksymalnej możliwej wysokości $h_2 = 150[\text{mm}]$ umieszczona w komorze temperaturowej.

Tab. 1. Właściwości wkładki poliuretanowej

Właściwość	Norma	Wartość
Twardość w 20[°C]	DIN53505	Shore A 95
Moduł sprężystości przy wydłużeniu 100%	DIN53504	12.4[MPa]
Moduł sprężystości przy wydłużeniu 300%	DIN53504	23.4[MPa]
Wytrzymałość na rozciąganie	DIN53504	34.5[MPa]
Wydłużenie przy zerwaniu	DIN53504	400%
Gęstość	-	1140[kg/m ³]



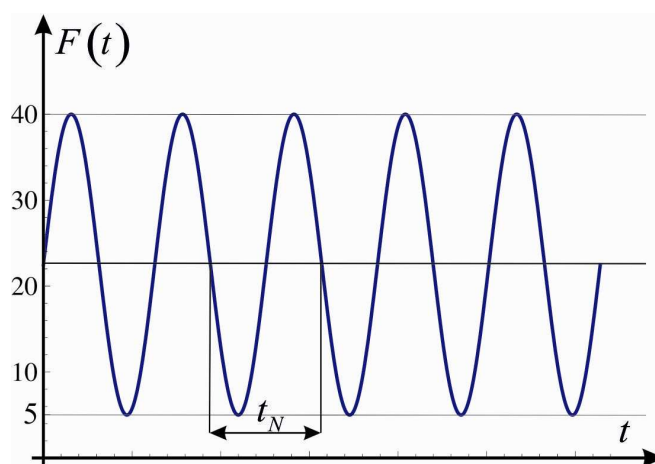
Rys.4. Podkładka z tworzywa sztucznego wewnątrz przystawki, bez przedniej ścianki obudowy.



Rys.5. Próbką umieszczona w przystawce, przed założeniem przedniej części obudowy.

3. WYNIKI PRZYKŁADOWYCH BADAŃ ZMĘCZENIOWYCH

Badania zmęczeniowe w drogownictwie są standardowe i przeprowadza się je zginając belki z mieszanek mineralno-asfaltowych, por. np. [1]. Wymiary belki w zależności od stosowanego aparatu różnią się nieznacznie, jednak są zdecydowanie za małe aby możliwe było uwzględnienie zbrojenia siatką. Typowe badanie zmęczenia polega na pomiarze normy zespolonego modułu sztywności, przy ustalonej wartości amplitudy przemieszczenia osi środkowej belki i zadanej częstotliwości (zwykle 10[Hz]). Badanie prowadzi się do chwili, w której wartość normy zespolonego modułu sztywności spadnie do 50%. W celu uzyskania tzw. pełnej charakterystyki zmęczeniowej badanie przeprowadza się dla różnych wartości amplitudy przemieszczenia. Następnie w skali logarytmicznej rysuje się liczbę cykli potrzebnych do redukcji modułu sztywności o połowę w funkcji przemieszczenia środka belki (albo ekstremalnego odkształcenia generowanego w próbce).



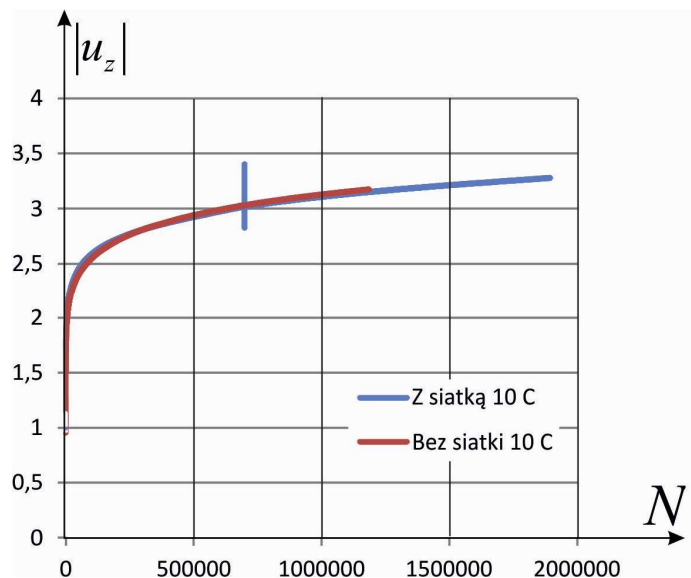
Rys.6. Przebieg w czasie funkcji obciążenia: $F_{\max} = 40[\text{kN}]$, $F_{\min} = 5[\text{kN}]$, $t_N = 1[\text{s}]$ (albo $0.5[\text{s}]$).

W celu sprawdzenia przydatności zaproponowanego urządzenia przeprowadzono wstępne badania zmęczeniowe płyt o grubości 150[mm] odpowiednio z uwzględnieniem zbrojenia siatką z włókien szklanych i węglowych Carbophalt i bez zbrojenia. Warstwy asfaltowe wykonano z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności oznaczonego jako AC WMS 16 20/30 zaprojektowanego dla kategorii ruchu KR3-6. Mieszanka ta charakteryzuje się m.in. zawartością wolnych przestrzeni na poziomie 14.9% (v/v), zawartością asfaltu drogowego 20/30 na poziomie 4.8% (m/m), normą modułu zespolonego w temperaturze 10[°C] przy częstotliwości 10[Hz] o wartości 17058[MPa], dobrą odpornością na koleinowanie (0.04[mm/1000cykli]). Próbki do przeprowadzenia badań wstępnych zostały pobrane z wykonanej nawierzchni drogowej.

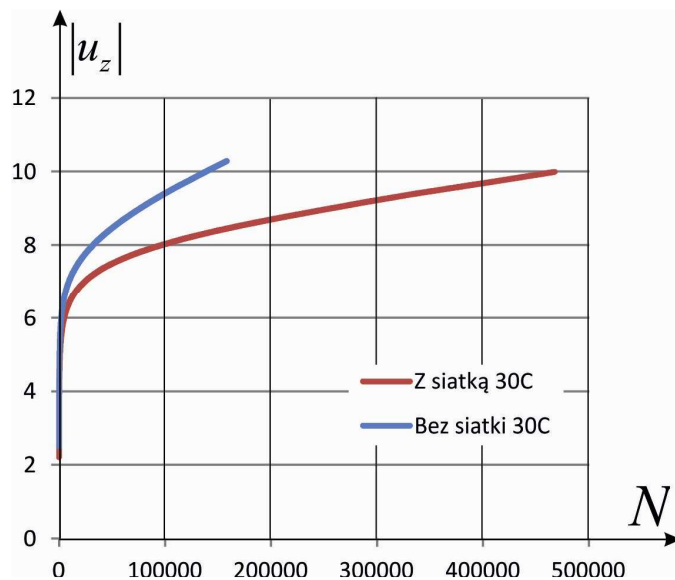
Próbkę obciążono siłą zmieniającą się w czasie tak jak pokazano na rys.6 osiągającą w czasie ekstremalne wartości $F_{\max} = 40[\text{kN}]$ i $F_{\min} = 5[\text{kN}]$. Dla kolejnych cykli obciążenia rejestruje się przemieszczenie całkowite tłoczniaka. Tak więc charakter tego badania

zmęczeniowego jest zupełnie inny w stosunku do badania standardowego. Przykładowe wykresy przyrostu całkowitego przemieszczenia w funkcji liczby cykli obciążenia zamieszczono na rys.7 i 8, odpowiednio dla temperatury $10[^\circ\text{C}]$ i $30[^\circ\text{C}]$. Na rys. 7 różnica między próbką bez siatki i z siatką jest nieznaczna, podczas gdy na rys. 8 wyraźna i istotna. Osiągnięcie tej samej wartości przemieszczenia całkowitego w przypadku próbki zbrojonej siatką jest możliwe po blisko trzy razy większej liczbie cykli. Dodatkowo na rys.9 zamieszczono zdjęcie powierzchni górnej próbki po zakończeniu badania. Widać na nim deformacje trwałe oraz spękania wokół miejsca przyłożenia obciążenia.

Uzyskane wyniki potwierdzają te sformułowane na podstawie analizy MES, por. [2,3]. W przypadku znacznej sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych (co bezwzględnie jest związane z temperaturą) wprowadzenie zbrojenia siatką w normalnych warunkach użytkowania ma niewielkie znaczenie. Z kolei w przypadku podwyższonych temperatur zbrojenie siatką ma duże znaczenie na redukcję przemieszczeń, podniesienie odporności na koleinowanie oraz zwiększenie trwałości konstrukcji drogowej.



Rys.7. Przyrost przemieszczenia całkowitego środkowego punktu powierzchni obciążanej w funkcji liczby cykli obciążenia- badanie przeprowadzono w temperaturze $10[^\circ\text{C}]$.



Rys.8. Przyrost przemieszczenia całkowitego środkowego punktu powierzchni obciążanej w funkcji liczby cykli obciążenia- badanie przeprowadzono w temperaturze $10[^\circ\text{C}]$.



Rys.9. Górna powierzchnia próbki po zakończeniu badania zmęczeniowego w $30[^\circ\text{C}]$ z uwzględnieniem zbrojenia siatką.

4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych z zastosowaniem proponowanego aparatu można sformułować następujące wnioski:

- 1) Zastosowanie przystawki do porównawczych badań zmęczeniowych jest możliwe bez żadnych dodatkowych zabiegów technicznych.
- 2) W przypadku badań zmęczeniowych wyraźnie widoczny jest wpływ siatek zbrojeniowych w podwyższonych temperaturach.
- 3) W celu lepszego poznania pracy przystawki w kontekście interpretacji badań statycznych z monotonicznie narastającym obciążeniem, konieczna jest jego symulacja metodą elementów skończonych.
- 4) Konieczne jest dokładniejsze scharakteryzowanie materiału wkładki sprężystej, wybranie modelu konstytutywnego hipersprężystości, skalibrowanie modelu z danymi doświadczalnymi.
- 5) Konieczne jest uzupełnienie rejestrowanych wyników o pomiar bezwzględnego przemieszczenia wybranego punktu znajdującego się na powierzchni A''B''C''D'' względem obudowy, a nie tylko względem statywu maszyny wytrzymałościowej.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Bańkowski W.: Analiza trwałości zmęczeniowej kompozytów mineralno-asfaltowych metodą konwencjonalną oraz metodą energii rozproszonej, Warszawa, Studia i materiały, zeszyt 60, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, 2008.
- [2] Gajewski M., Jemioło S.: Ocena wpływu zbrojenia siatkami warstwowych nawierzchni drogowych, 11 th International Conference „Computer Systems Aided Science, Industry and Transport”, str. 215-220, TRANSCOMP 2007, Zakopane 2007.
- [3] Jemioło S., Gajewski M., Maliszewski M., Mularzuk R., Sybilski D.: Theoretical models of road meshes and their use in standard pavement designing software, 4th Euroasphalt&Eurobitume Congress, pp. 468-475, 21-23 May 2008.
- [4] Judycki J.: Fatigue of Asphalt Mixes, Oulu, Finland, University of Oulu, Publications of Road and Transport Laboratory, 1991.
- [5] Van Dijk W.: Practical fatigue characterization of bituminous mixes, AAPT, vol.44, pp.38-74, 1975.