

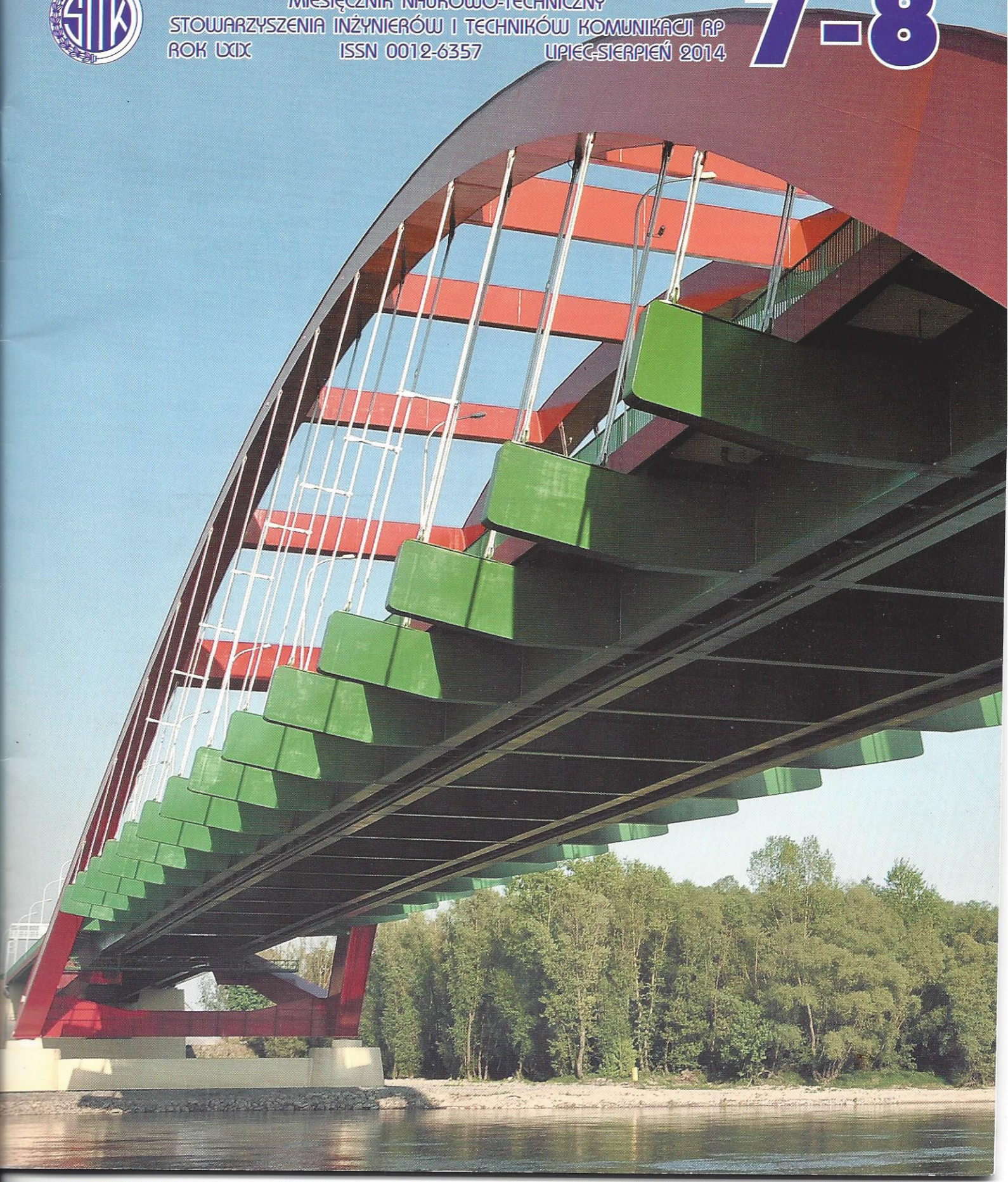
drogownictwo



MIESIĘCZNIK NAUKOWO-TECHNICZNY
STOWARZYSZENIA INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW KOMUNIKACJI RP
ROK LXXIX ISSN 0012-6357

LPIEC-SIERPIEŃ 2014

7-8



STRESZCZENIA

CEZARY SZYDŁOWSKI, JÓZEF JUDYCKI: **Badania parametrów mechaniki pękania betonów asfaltowych konwencjonalnych i o wysokim module sztywności.** „Drogownictwo”, rok LXIX, nr 7-8, 2014, s. 219–225

W artykule przedstawiono przegląd literatury oraz podstawy teoretyczne wyznaczania krytycznej wartości współczynnika intensywności naprężeń K_{IC} , oraz całki J_C , charakteryzującej krytyczną prędkość uwalniania energii. Przedstawiono również wyniki badań laboratoryjnych parametrów mechaniki pękania betonów asfaltowych konwencjonalnych i o wysokim module sztywności. Na podstawie otrzymanych wyników dokonano próby oceny badanych mieszanek pod kątem odporności na pęknięcie.

Słowa kluczowe: mechanika pękania warstw asfaltowych, współczynnik intensywności naprężeń K_I , całka J , konwencjonalny beton asfaltowy, beton asfaltowy o wysokim module sztywności, odporność na pęknięcie K_{IC}

DARIUSZ SYBILSKI, WOJCIECH BAŃKOWSKI, RENATA HORODECKA, MARCIN GAJEWSKI, PAWEŁ CZAJKOWSKI, AGNIESZKA KĘDZIERSKA: **Laboratoryjna ocena przydatności polimeroasfaltu z dodatkiem gumy do zastosowania w mieszance AC WMS – część 1 – Badania asfaltów.** „Drogownictwo”, rok LXIX, nr 7-8, 2014, s. 226–232

Wykorzystanie materiałów z recyklingu opon samochodowych w nawierzchni drogowej jest przedmiotem badań naukowych od wielu lat. W rafinerii LOTOS Asfalt opracowano nowy typ polimeroasfaltu z dodatkiem granulatu gumowego. Niniejsza publikacja przedstawia wyniki prac badawczych prowadzonych w IBDiM. Celem było przeprowadzenie oceny laboratoryjnej lepiszcza 25/55-60 CR i oceny możliwości jego zastosowania do betonu asfaltowego o wysokim module (ACWMS). Artykuł podzielony na dwie części przedstawia ocenę laboratoryjną przydatności asfaltu 25/55-60 CR do zastosowania w betonie asfaltowym o wysokim module sztywności ACWMS. W części I przedstawiono badania lepiszczy, podczas gdy druga część dotyczy mieszanek ACWMS.

Słowa kluczowe: Polimeroasfalt, asfalt modyfikowany polimerem, polimeroasfalt z dodatkiem gumy, miąż gumowy, granulatu gumowy, metoda terminalowa, beton asfaltowy o wysokim module sztywności, recykling.

KAZIMIERZ JAMROZ, WOJCIECH KUSTRA, STANISŁAW GACA: **Koncepcja systemu automatycznego nadzoru nad niebezpiecznymi zachowaniami uczestników ruchu drogowego.** „Drogownictwo”, rok LXIX, nr 7-8, 2014, s. 233–239

Istotnym czynnikiem wpływającym na powstanie zdarzeń niebezpiecznych (kolizji i wypadków) na drogach są niebezpieczne zachowania kierowców. Szczególnie niebezpiecznymi zachowaniami, wpływającymi na aktywizację poważnych wypadków (wypadków z ofiarami śmiertelnymi lub ciężko rannymi) są: jazda z prędkością niedozwoloną, wjazd pojazdu na skrzyżowanie przy czerwonym sygnale, wymuszenie pierwszeństwa przejazdu, wymuszenie pierwszeństwa wobec pieszych, wyprzedzanie w miejscach niedozwolonych, niestosowanie zabezpieczeń w pojazdach (kasków, pasów bezpieczeństwa), używanie telefonów komórkowych przez kierowcę podczas jazdy itp. W celu istotnego zmniejszenia liczby ofiar śmiertelnych i ciężko rannych w wypadkach drogowych konieczne jest podejmowanie skutecznych i efektywnych działań kształtujących bezpieczne zachowania w ruchu drogowym. Do jednych z najlepszych praktyk należą systemy automatycznego nadzoru nad niebezpiecznymi zachowaniami uczestników ruchu drogowego.

W niniejszym artykule przedstawiono koncepcję automatycznego nadzoru nad dwoma wybranymi niebezpiecznymi zachowaniami uczestnikami ruchu drogowego: jazdą z niebezpieczną prędkością i wjazd na skrzyżowanie przy czerwonym sygnale.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo ruchu drogowego, drogi krajowe, niebezpieczne zachowania, automatyczny nadzór.

PIOTR BURNOS: **Ważenie pojazdów samochodowych w ruchu. Część 2: Rodzaje i charakterystyka systemów Weigh In Motion.** „Drogownictwo”, rok LXIX, nr 7-8, 2014, s. 240–245

Tematami przewodnimi serii artykułów są: oddziaływanie pojazdów przeciążonych na nawierzchnię jezdni, systemy ważące pojazdy samochodowe w ruchu (WIM), oraz aspekty techniczne związane procesem dynamicznego ważenia pojazdów. Druga część artykułu zawiera podział i charakterystykę najczęściej stosowanych systemów ważących: wolno-przejazdowych (LS-WIM), szybko-przejazdowych (HS-WIM) oraz wieloczułkowych (MS-WIM). Omówiono w niej cechy ww. systemów w kontekście zdolności do ograniczania wpływu składowej dynamicznej nacisku osi na dokładność wyników ważenia.

Słowa kluczowe: ważenie pojazdów w ruchu, systemy WIM, pojazdy przeciążone.

LUKASZ MALINOWSKI: **Budowa drogi powiatowej nr 3396D jako regionalny czynnik rozwojowy.** „Drogownictwo”, rok LXIX, nr 7-8, 2014, s. 245–251

W artykule omówiony został proces budowy drogi powiatowej nr 3396D na odcinku pomiędzy drogą krajową nr 5 a drogą wojewódzką nr 382 i ul. Stęczyńskiego w Świdnicy. Przedstawiono stopień realizacji, jej znaczenie dla rozwoju gospodarki i funkcjonalności miasta. W podsumowaniu pokazano również pozytywne efekty w postaci poprawy ochrony środowiska naturalnego.

Słowa kluczowe: droga, obwodnica, Świdnica, powiat, rozwój, budowa.

TOMASZ PIETROWICZ: **Określenie doboru dysz i ich rozmieszczenia według obliczeń numerycznych w myjce ciśnieniowej.** „Drogownictwo”, rok LXIX, nr 7-8, 2014, s. 252–254

Artykuł opisuje badania przeprowadzone w Katedrze Techniki Ciepłej Politechniki Poznańskiej nad strukturą przepływu strugi w dyszach myjki ciśnieniowej. Miały one na celu określenie optymalnych parametrów technicznych dysz oraz ich wzajemnego oddziaływania w przypadku pracy w układzie wielodyszowym. W trakcie badań wykorzystano m.in. zalety modelowanie matematyczne.

Słowa kluczowe: dobór dysz, obliczenia numeryczne.

(dokończenie na str. 225)

ABSTRACTS

CEZARY SZYDŁOWSKI, JÓZEF JUDYCKI: **Investigations on fracture mechanics parameters of conventional and high modulus asphalt concretes.** „Drogownictwo”, vol. LXIX, 7-8, 2014, pp. 219–225

The paper presents the literature review and theoretical approach for determining the critical stress intensity factor K_{IC} and the J -integral, characterized by the critical strain energy release rate. It also presents the results of laboratory tests of fracture mechanics parameters of conventional asphalt concrete and high modulus asphalt concrete. On the basis of the results the studied asphalt concretes were evaluated for resistance to fracture.

Keywords: fracture mechanics of asphalt mixes, stress intensity factor K_I , J -integral, conventional asphalt concrete, high modulus asphalt concrete, fracture toughness K_{IC} .

DARIUSZ SYBILSKI, WOJCIECH BAŃKOWSKI, RENATA HORODECKA, MARCIN GAJEWSKI, PAWEŁ CZAJKOWSKI, AGNIESZKA KĘDZIERSKA: **Laboratory evaluation of polymer modified bitumen with crumb rubber for use in high modulus asphalt concrete – part 1 – Binder testing.** „Drogownictwo”, vol. LXIX, 7-8, 2014, pp. 226–232

The use of materials from recycled car tires in road pavements has been a subject of interest for scientific research for many years. A new type of polymer modified binder with crumb rubber was developed by the refinery of LOTOS Asphalt. This publication presents the results of research work carried out in IBDiM (Road and Bridge Research Institute). The aim was to perform laboratory evaluation of a binder 25/55-60 CR and assess the possibility of its application for high modulus asphalt concrete (ACWMS). Paper divided in two parts presents laboratory evaluation on usability of PMB modified with crumb rubber in high modulus asphalt concrete. Part I focuses on binder tests is devoted to binder tests, while the second part deals with bituminous mix.

Keywords: polymer modified binder, PMB with crumb rubber, crumb rubber, recycling, high modulus asphalt concrete.

KAZIMIERZ JAMROZ, WOJCIECH KUSTRA, STANISŁAW GACA: **The concept of automatic surveillance of hazardous behavior of road users.** „Drogownictwo”, vol. LXIX, 7-8, 2014, pp. 233–239

An important factor affecting hazardous events (collisions and accidents) on the roads are dangerous driver behaviors. Especially dangerous behaviors that affect the activation of major accidents (accidents with fatalities or serious injury) are: driving at illegal speed, vehicle crossing the intersection on red light, forcing the right of way, violation of the right of way of pedestrians, overtaking in prohibited places, not using vehicle safety devices (helmets, seat belts), the use of mobile phones by drivers while driving, etc. in order to significantly reduce the number of fatalities and serious injuries in road accidents, it is necessary to take effective and efficient action influencing safe behavior in traffic. Some of the best practices include the automatic surveillance of dangerous behavior of road users.

This paper presents the concept of automatic supervision of the two selected hazardous road users behavior: driving with dangerous speed and crossing the intersection on red.

Keywords: traffic safety, roads, dangerous behavior, automatic surveillance.

PIOTR BURNOS: **Weighing of road vehicles in motion. Part 2. Types and characteristics weigh in motion systems.** „Drogownictwo”, vol. LXIX, 7-8, 2014, pp. 240–245

The main theme of the series of articles is the impact of overloaded vehicles on the road surface, weighing systems for vehicles in motion (WIM), as well as the technical aspects of dynamic weighing process. In the second part of the series characteristics of the most commonly used solutions has been described: Low-Speed WIM, High-Speed WIM and Multi-Sensor WIM. Properties of these WIM systems has been discussed in the context of the ability to reduce the impact of the dynamic component of axle load on weighing results.

Keywords: weigh in motion, WIM systems, overweight vehicles.

LUKASZ MALINOWSKI: **Construction process of county road no. 3396D as a regional development factor.** „Drogownictwo”, vol. LXIX, 7-8, 2014, pp. 245–251

The article discusses the construction process of county road no. 3396D between national road No. 5, provincial road No. 382 and Stęczyńskiego Street in Świdnica. The paper describes the level of advancement in the work, the significance of this road for the development of economy and functionality of the city. The summary depicts also the positive effects such as the enhancement of the natural environment.

Keywords: ring road, Świdnica, district/county, development, construction.

TOMASZ PIETROWICZ: **Selection of nozzles and their distribution in pressure washers according to mathematical modeling.** „Drogownictwo”, vol. LXIX, 7-8, 2014, pp. 252–254

The article describes the research conducted at the Chair of Thermal Engineering of at Poznań University of Technology about the structure of stream of water in nozzles of a big surface high pressure cleaner. The purpose of the research was to define the optimal technical parameters of the nozzles and their mutual action in case of a multi-nozzle operation. In the research, among the others, the advantages of mathematical modeling was applied.

Keywords: selection of nozzles, the choice of nozzles, numerical calculations.



CEZARY SZYDŁOWSKI

Politechnika Gdańska
cezary.szydowski@
wilis.pg.gda.pl



JÓZEF JUDYCKI

Politechnika Gdańska
jozef.judycki@wilis.pg.
gda.pl

Badania parametrów mechaniki pękania betonów asfaltowych konwencjonalnych i o wysokim module sztywności

Spękania warstw asfaltowych są jednymi z najczęściej pojawiających się uszkodzeń nawierzchni. O odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na spękania decydują jej cechy mechaniczne, które należy dobrze rozpoznać, aby wbudować w nawierzchnię mieszankę zapewniającą odpowiednią trwałość konstrukcji nawierzchni. W niniejszym artykule przedstawiono przegląd literatury mechaniki pękania mieszanek mineralno-asfaltowych (mma), podstawy

Badania nad zastosowaniem mechaniki pękania do oceny mieszanek mineralno-asfaltowych pod kątem odporności na pęknięcie są rozwijane na świecie przez wielu badaczy. Jedne z pierwszych prac prowadził Majidzadeh i wsp. oraz Monismith i wsp. w latach 70 XX wieku. Badania rozwijane były w latach 80 i 90 XX wieku między innymi przez Molenaara i Jacobsa [6]. Począwszy od lat 90 zagadnienie mechaniki pękania mieszanek mineralno-asfaltowych jest szeroko badane na świecie.

W ostatnich latach wykonano bardzo dużą ilość badań z mechaniki pękania dla mieszanek mineralno-asfaltowych stosując głównie zginanie trzypunktowe belek prostopadłościennych lub próbek półwałcowych. Z przeglądu literatury tego zagadnienia można wyciągnąć następujące wnioski:

Współczynnik intensywności naprężeń K nie zależy od kształtu badanej próbki [2, 3], a energia pękania G_f od tego kształtu zależy i jest większa przy próbkach półwałcowych niż prostopadłościennych [2].

Wartość współczynnika intensywności naprężeń K wzrasta ze spadkiem temperatury badania [1, 2]. Stwierdzono jednak w [7], że odporność na pęknięcie rośnie przy oziębianiu do -15°C , a przy dalszym oziębianiu poniżej -15°C maleje. Można dodać, że często tak samo zachowuje się wytrzymałość mma na zginanie.

Wartość energii pękania G_f maleje ze spadkiem temperatury [2, 13].

Rodzaj mieszanki i jej skład wpływa na parametry mechaniki pękania. Rolę odgrywa rodzaj asfaltu (zwykły czy modyfikowany), klasyfikacja funkcjonalna asfaltu PG, zawartość wolnych przestrzeni w mieszance oraz rodzaj kruszywa (granit, wapień) [1, 7, 8, 9]. Stwierdzono, że drobnoziarniste mieszanki charakteryzują się wyższą energią pękania G_f od mieszanek gruboziarnistych [13].

Mieszanki wytwarzane na ciepło mają podobne współczynniki intensywności naprężeń jak mieszanki wytwarzane na gorąco [16].

Istnieje wpływ warunków badania na wyniki, takich jak prędkość obciążenia, głębokość nacięcia próbki i sposób przechowywania próbek [7, 8]. Istnieje także wpływ efektu skali w badaniach próbek o różnych wymiarach [17].

W niektórych badaniach wykazano istotne związki korelacyjne parametrów mechaniki pękania i wytrzymałości oraz modułów sztywności mierzonych w klasycznych metodach [1]; w innych badaniach takich wyraźnych związków nie stwierdzono [9]. Nie stwierdzono też dobrej korelacji z wynikami testu spękań niskotemperaturowych $TSRST$ [9].

teoretyczne wyznaczania parametrów mechaniki pękania oraz przeprowadzono badania laboratoryjne parametrów mechaniki pękania betonów asfaltowych AC i AC WMS. Metody badawcze mechaniki pękania nie były dotychczas stosowane w Polsce w odniesieniu do mieszanek mineralno-asfaltowych. Są obecnie w tym zakresie coraz szerzej stosowane przez badaczy na świecie. Mają duży potencjał wyjaśnienia mechanizmu spękań i mogą być przydatne w ograniczeniu liczby spękań warstw asfaltowych nawierzchni.

Przegląd literatury

Proces powstawania spękania w warstwach asfaltowych można podzielić na dwa etapy: inicjację i propagację. Mechanika pękania (ang. *fracture mechanics*) ma zastosowanie do oceny procesu propagacji spękania. W oparciu o koncepcję energetyczną, na podstawie bilansu energetycznego ciała sprężystego ze szczeliną, w latach 20 XX wieku Griffith sformułował pierwsze historycznie kryterium pękania oparte na prędkości uwalniania energii [5]. W latach 50 XX wieku Irwin przedstawił podstawy mechaniki pękania oparte o podejście siłowe. Bazując na analizie ośrodka liniowo sprężystego ze szczeliną opisał on naprężenia powstające w rozciągającym się spękaniu i wprowadził współczynnik intensywności naprężeń K , który jest wystarczający do pełnego opisu stanu naprężeń w pobliżu wierzchołka szczeliny [2, 5]. Jak wykazał German w pracy [5] opis energetyczny jest zgodny z opisem siłowym. W latach 60 XX wieku Rice rozszerzył podstawy mechaniki pękania w zakresie nieliniowo sprężystym, wprowadzając koncepcję całki $-J$ [3], jako energii potrzebnej do wytworzenia nowej powierzchni o jednostkowym polu.

Jak widać szereg szczegółowych zagadnień stanowiło przedmiot intensywnych badań, ale zjawisko pęknięcia mieszanek mineralno-asfaltowych jest bardzo złożone i problem jest wciąż nie rozwiązany. W Polsce temat ten nie był dotychczas szerzej badany. W Katedrze Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej od kilku lat trwają badania nad określaniem parametrów mechaniki pęknięcia mieszanek mineralno-asfaltowych, które obecnie prowadzone są przez autorów artykułu.

Metodyka badania mechaniki pęknięcia mieszanek mineralno-asfaltowych określona jest obecnie w normie europejskiej PN-EN 12 697-44 [19] oraz w propozycji amerykańskiej normy AASHTO *Determining the Fracture Energy of Asphalt Mixtures Using the Semi Circular Bend Geometry (SCB)*. Oba dokumenty bazują na badaniach naciętej próbki półwałcowej zginanej w schemacie belki trzypunktowej. W literaturze spotyka się również często badania prowadzone na naciętych próbkach prostopadłościennych zginanych w schemacie belki trzypunktowej [7, 13, 10, 16] oraz na naciętych próbkach dyskowych poddawanych rozciąganiu [9, 12, 14].

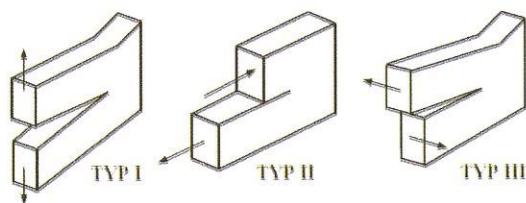
Dotychczasowe badania prowadzone przez autorów miały na celu rozpoznanie metody badawczej oraz możliwości jej zastosowania przy użyciu powszechnie dostępnej aparatury pomiarowej.

Podstawy teoretyczne analizy wyników

Na podstawie przeprowadzonych badań i otrzymanych wyników wyznaczono wielkości charakteryzujące właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych w procesie pęknięcia, przy typie I obciążenia szczeliny (zainicjowanego spękania):

- krytyczny współczynnik intensywności naprężeń K_{IC} , zwany odpornością materiału na pęknięcie,
- krytyczną wartość całki J_C , której wielkość charakteryzuje prędkość uwalniania energii odkształcenia.

Na rys. 1 przedstawiono możliwe typy obciążenia szczeliny występujące w mechanice pęknięcia. W przypadku pracy warstw asfaltowych nawierzchni najbardziej interesujący jest typ I, w którym naprężenia działają prostopadle do płaszczyzny spękania. W sytuacji krytycznej, w chwili wystąpienia naprężenia krytycznego dochodzi do nagłego i niekontrolowanego rozprzestrzeniania się spękania.



Rys. 1. Typy obciążenia szczeliny [5]

Współczynnik intensywności naprężeń K_I oraz jego krytyczną wartość, K_{IC} określono z następującego wzoru, według [11]:

$$K_I = Y_I \sigma_0 \sqrt{\pi a} \quad (1)$$

w którym:

Y_I – znormalizowany współczynnik intensywności naprężeń w I typie obciążenia szczeliny, zależny od geometrii próbki wyznaczony ze wzoru:

$$Y_I = \frac{1,99 - \left(\frac{a}{W}\right) \left(1 - \frac{a}{W}\right) \left(2,15 - 3, \frac{93a}{W} + \frac{2,7a^2}{W^2}\right)}{\sqrt{\pi} \left(1 + \frac{2a}{W}\right) \left(1 - \frac{a}{W}\right)^{2/3}} \quad (2)$$

σ_0 – naprężenie maksymalne wyznaczone ze wzoru:

$$\sigma_0 = \frac{3F_{\max} S}{2W^2 B} \quad (3)$$

F_{\max} – maksymalna siła,
 a – głębokość nacięcia,
 S – rozpiętość belki,
 W – wysokość belki,
 B – szerokość belki.

Współczynnik intensywności naprężeń K_I jest stałą materiałową charakteryzującą odporność materiału na pęknięcie. Został on wprowadzony w teorii pęknięcia podanej przez Griffitha. Jeżeli weźmiemy pod uwagę rozciągane pasmo materiału sprężystego z otworem eliptycznym o długości $2l$ (rys. 2), to krytyczną wartość naprężenia σ_{kr} , przy którym następuje niekontrolowane pęknięcie materiału, w płaskim stanie odkształcenia, określa wzór:

$$\sigma_{kr} = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi l(1-\nu^2)}} \quad (4)$$

lub:

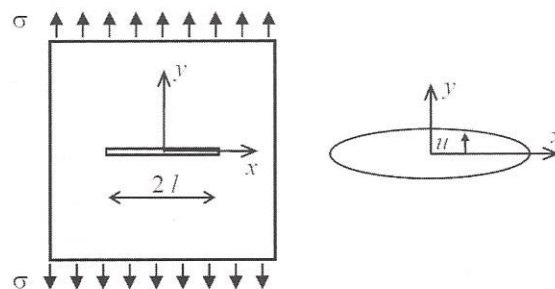
$$\sigma_{kr} = \frac{K_{IC}}{\sqrt{\pi l}} \quad (5)$$

w którym:

K_{IC} – stała materiałowa określona wzorem:

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{2E\gamma}{1-\nu^2}} \quad (6)$$

E – moduł sprężystości,
 γ – energia potrzebna do utworzenia jednostkowej swobodnej powierzchni przy pękaniu,
 $2l$ – długość szczeliny,
 ν – współczynnik Poissona.



Rys. 2. Szczelina Griffitha [5]

Znając wartość odporności na pęknięcie K_{IC} mieszanki mineralno-asfaltowej możliwe jest obliczenie maksymalnej siły, lub maksymalnego naprężenia, przy którym następuje niekontrolowany wzrost rozwarcia pęknięcia, a więc propagacja spękania aż do zniszczenia materiału.

Krytyczną wartość całki J charakteryzującą krytyczną prędkość uwalniania energii odkształcenia, J_C określono ze wzoru [15]:

$$J_c = -\left(\frac{1}{B}\right) \frac{dU}{da} \quad (7)$$

w którym:

B – szerokość belki,

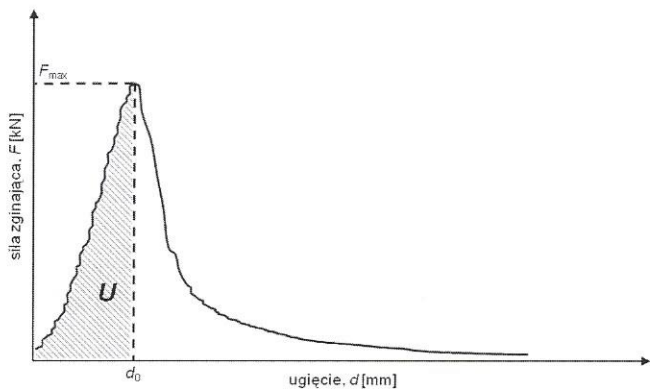
a – głębokość nacięcia,

U – energia odkształcenia do zniszczenia,

dU/da – zmiana energii odkształcenia ze zmianą głębokości nacięcia.

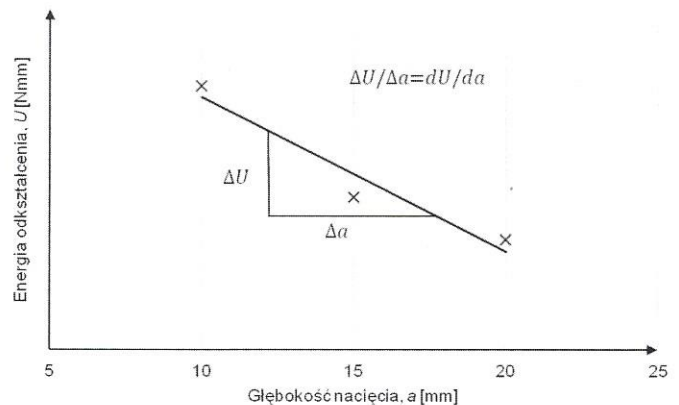
Całka J_C jest miarą krytycznej prędkości uwalniania energii odkształcenia. Jej znaczenie można zinterpretować jako ilość energii potrzebnej do wywołania jednostkowej wartości spękania materiału, co wynika ze wzoru (7). Materiały o większej wartości J_C mają większą odporność na propagację spękania i odwrotnie. W przypadku materiału o wyższej wartości J_C potrzeba włożyć więcej energii, aby wywołać proces niekontrolowanej propagacji spękania. Elseifi i wsp. [4] przeprowadzili badania spękań nawierzchni na Florydzie i badania laboratoryjne parametru J_C . Stwierdzili oni, że istnieje korelacja intensywności spękań nawierzchni z parametrem J_C i ilość spękań wzrasta, gdy parametr J_C maleje. Można więc stwierdzić, że mieszanki mineralno-asfaltowe o większych wartościach parametru J_C , w identycznych warunkach pracy pod obciążeniem, będą bardziej odporne na spękania od mieszanek o mniejszych wartościach parametru J_C .

Parametry K_{IC} i J_C wyznaczono na podstawie wyników badań laboratoryjnych w następujący sposób. Z badań każdej próbki (rys. 5) otrzymano zależność pomiędzy siłą zginającą F a ugięciem belki d . Przykład takiej zależności pokazano na rys. 3. Na wykresie wyznaczono wartość maksymalnej siły zginającej F_{max} . Wartość tę wykorzystywano do obliczania maksymalnego naprężenia (wytrzymałości próbki) σ_0 ze wzoru (3). Następnie ze wzoru (2) obliczano znormalizowany współczynnik intensywności naprężeń Y_1 , a ze wzoru (1) krytyczną wartość współczynnika intensywności naprężeń K_{IC} (odporność na pęknięcie).



Rys. 3. Przykład zależności pomiędzy siłą zginającą belkę F a ugięciem belki d

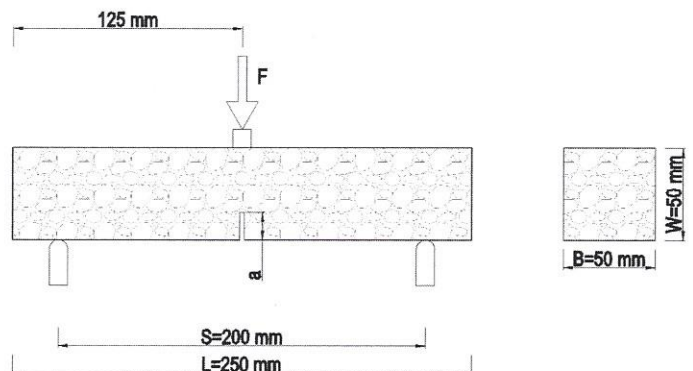
W celu określenia drugiego parametru mechaniki pęknięcia – całki J_C , wielkości charakteryzującej krytyczną prędkość uwalniania energii odkształcenia, z badania każdej próbki określano energię odkształcenia U jako powierzchnię pola pod krzywą $F(d)$ w zakresie siły od zera do F_{max} , co pokazano na rys. 3. W celu określenia pochodnej dU/da , która występuje we wzorze (7) na całkę J_C , określono średnią wartość energii odkształcenia U badanych próbek jednorodnych o jednakowej głębokości nacięcia a (dla trzech głębokości nacięcia), a następnie do każdego rodzaju betonu asfaltowego utworzono wykres zależności $U(a)$. Przykład takiej zależności przedstawia rys. 4. Z wykresu, który zawsze miał formę liniową, określono pochodną dU/da jako pochylenie prostej w układzie $U(a)$. Następnie określono całkę J_C z zależności (7).



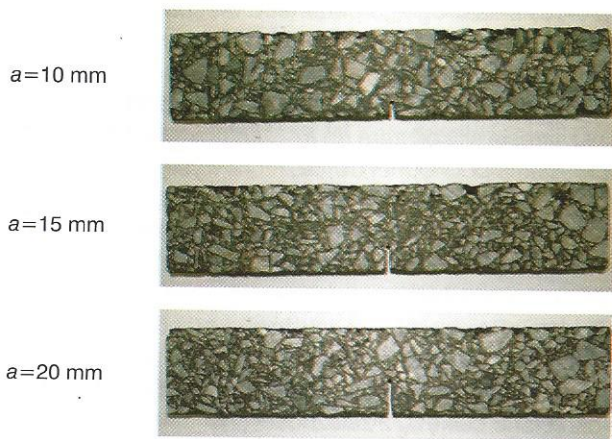
Rys. 4. Przykład zależności energii odkształcenia U od głębokości nacięcia belki a

Metodyka badań laboratoryjnych

Badania wykonano z wykorzystaniem uniwersalnej prasy wytrzymałościowej wyposażonej w czujnik do pomiaru siły i czujnik do pomiaru przemieszczenia oraz w komorę klimatyczną. Badania zostały przeprowadzone na próbkach prostopadłościennych z nacięciem inicjującym spękanie; schemat próbki przedstawiono na rys. 5. Widok próbek z różnymi głębokościami nacięcia pokazano na fot. 1. Widok próbki podczas badania pokazano na fot. 2, natomiast próbkę po badaniu na fot. 3.



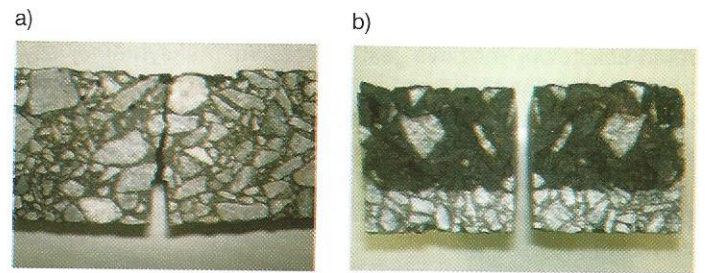
Rys. 5. Schemat próbki badawczej



Fot. 1. Próbkę z różnymi głębokościami nacięcia przygotowane do badania



Fot. 2. Próbkę podczas badania



Fot. 3. Widok próbki po badaniu. a) widoczne spękanie, b) widoczna płaszczyna pęknięcia

Przeprowadzone badania polegały na zginaniu belki wolnopodparłej ze stałym przesuwem tłoka, wynoszącym 1 mm/min. Podczas badania rejestrowano pionowe przemieszczenie tłoka, czyli ugięcie belki d , oraz siłę zginającą F wywieraną na próbkę. Wyniki przedstawiane są w postaci wykresów $F(d)$. Badania przeprowadzono w temperaturze -10°C .

Badane materiały

Badania przeprowadzono na próbkach sporządzonych z mieszanek konwencjonalnych betonów asfaltowych (AC) oraz z mieszanek betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (AC WMS). Przebadano pięć następujących mieszanek:

- AC 16 W 35/50 – beton asfaltowy z asfaltem drogowym 35/50,
- AC 16 W 50/70 – beton asfaltowy z asfaltem drogowym 50/70,
- AC WMS 16 20/30 – beton asfaltowy o wysokim module sztywności z asfaltem drogowym 20/30,

Tabela 1. Podstawowe parametry badanych betonów asfaltowych

Uziarnienie betonu asfaltowego AC 16 W		Uziarnienie betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS 16			
Cecha:	AC 16 W 35/50	AC 16 W 50/70	AC WMS 16 20/30	AC WMS 16 20/30 wielorodajowy	AC WMS 16 25/55-60
Zawartość asfaltu, %	4,6	4,6	5,0	5,0	5,0
Zawartość wolnych przestrzeni, %	4,3	4,2	3,6	3,5	3,5
Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej, %	15,2	15,1	15,5	15,4	15,4
Zawartość wolnych przestrzeni wypełnionych lepiszczem, %	71,8	72,4	76,9	77,3	77,3
Właściwości asfaltu					
Penetracja w 25°C, 0,1 mm, wg PN-EN 1426	48	67	23	24	28
Temperatura mięknięcia PiK, °C, wg PN-EN 1427	53	48	58	68	62

- AC WMS 16 20/30 wielorodzajowy – beton asfaltowy o wysokim module sztywności z asfaltem wielorodzajowym 20/30,
- AC WMS 16 25/55-60 – beton asfaltowy o wysokim module sztywności z asfaltem modyfikowanym 25/55-60.

Mieszanki AC 16 W przeznaczone są do warstw wiążących, natomiast AC WMS 16 do warstw wiążących i do podbudów asfaltowych.

Wszystkie przebadane mieszanki mineralno-asfaltowe wykonano przy użyciu tego samego materiału mineralnego: wypełniacza wapiennego, kruszywa drobnego oraz grubego, pochodzącego z przekruszenia skał litych. Kruszywo drobne i grube pochodziło ze skały granitowej. Zaprojektowano dwie krzywe uziarnienia. Jedną do betonów asfaltowych AC 16 W, drugą do betonów asfaltowych o wysokim module sztywności AC WMS 16. Podstawowe parametry zaprojektowanych mieszanek mineralno-asfaltowych oraz właściwości zastosowanych asfaltów przedstawiono w tabeli 1.

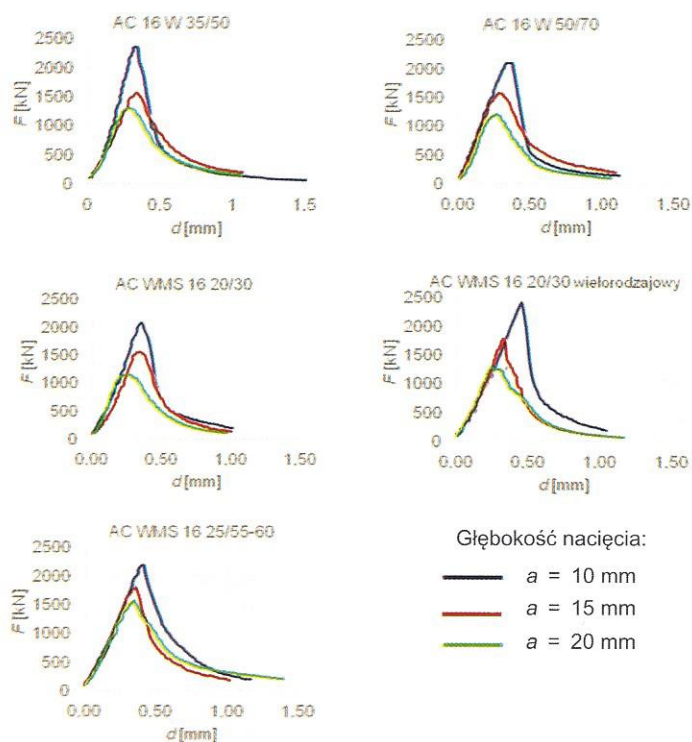
Próbki zagęszczano w hydraulicznej zagęszczarce laboratoryjnej formując płyty o wymiarach 300×300×50 mm. Z każdej płyty wycinano 5 próbek o wymiarach 50×50×250 mm. Próbki nacinano w środku rozpiętości formując nacięcie o szerokości 1,5 mm i o trzech różnych głębokościach 10, 15 i 20 mm, co pokazano na fot. 1. Z każdego rodzaju betonu asfaltowego przygotowano po 3 próbki do każdej głębokości nacięcia, łącznie po 9 próbek. W serii jednorodnej badano co najmniej 3 próbki. Razem wykonano badania na 45 próbkach.

Wyniki badań i ich analiza

Wyniki badań parametrów K_{IC} i J_C wszystkich rodzajów badanych betonów asfaltowych i głębokości nacięć belek a pokazano w tabeli 2. W tabeli 2 podano również zmierzone wartości siły maksymalnej F_{max} , energii odkształcenia U , naprężeń maksymalnych σ_0 oraz pochodnych dU/da do wszystkich badanych betonów asfaltowych.

Z tabeli 2 widać, że współczynnik intensywności naprężeń K_{IC} nie zależy od głębokości nacięcia a . Siła maksymalna F_{max} oraz energia U zależą od głębokości nacięcia, a uzyskane wartości maleją wraz z jego głębokością.

Na rys. 6 przedstawiono zależności siły zginającej F od ugięcia belki d dla wszystkich badanych rodzajów betonów asfaltowych. Rys. 7 przedstawia zestawienie zależności energii odkształcenia U od głębokości nacięcia belki a dla wszystkich badanych betonów asfaltowych. Na rys. 7 podano także

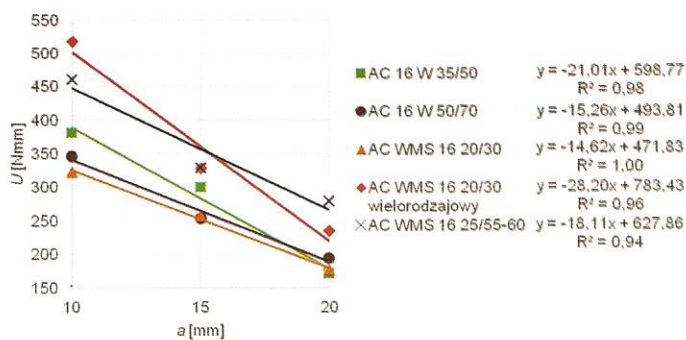


Rys. 6. Wykres zależności siły zginającej F od ugięcia d przy różnych głębokościach nacięcia a próbek badanych betonów asfaltowych

Tabela 2. Wyniki badań parametrów mechaniki spękań K_{IC} i J_C betonów asfaltowych (wartości średnie z 3 próbek)

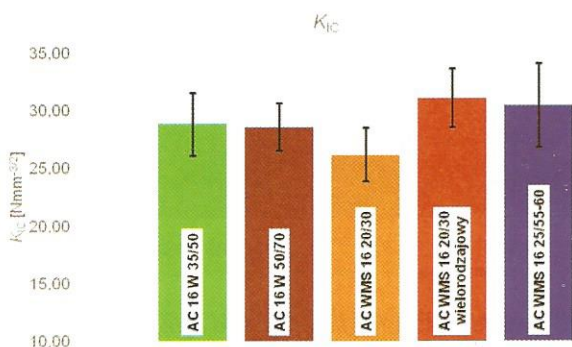
Beton asfaltowy	a [mm]	F_{max} [N]	U [N*mm]	σ_0 [N/mm ²]	K_{IC} [N*mm ^{-3/2}]	K_{IC} średnie [N*mm ^{-3/2}]	dU/da [N]	J_C [kJ/m ²]
AC 16 W 35/50	10	2258	381	5,418	30,02	28,79	-21,01	0,42
	15	1626	299	3,902	28,00			
	20	1253	171	3,006	28,11			
AC 16 W 50/70	10	2175	346	5,221	28,93	28,53	-15,26	0,31
	15	1656	254	3,974	28,52			
	20	1245	194	2,988	27,95			
AC WMS 16 20/30	10	1984	323	4,762	26,39	26,12	-14,62	0,29
	15	1513	257	3,630	26,05			
	20	1150	177	2,759	25,80			
AC WMS 16 20/30 wielorodzajowy	10	2402	517	5,765	31,94	31,01	-28,20	0,56
	15	1728	328	4,148	29,77			
	20	1403	235	3,367	31,49			
AC WMS 16 25/55-60	10	2089	460	5,012	27,77	30,38	-18,11	0,36
	15	1792	329	4,301	30,86			
	20	1565	279	3,756	35,13			

liniowe równania regresji, z których odczytać można wartość pochodnych dU/da , wykorzystywanych do obliczania całki J_C z równania (7).

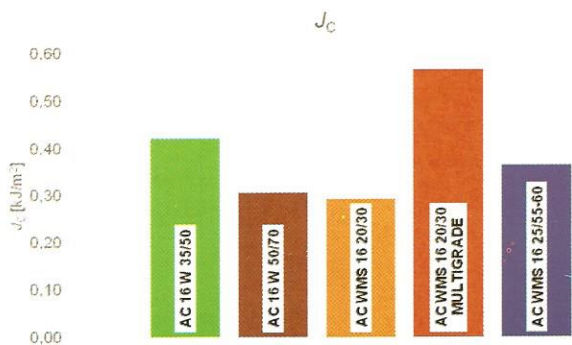


Rys. 7. Wykres zależności energii odkształcenia U od głębokości nacięcia a

Wyznaczone na podstawie badań parametry mechaniki pęknięcia betonów asfaltowych przedstawiono na rys. 8 i 9. Słupki rozrzutów wyników na wykresie parametru K_{IC} reprezentują odchylenie standardowe obliczone dla 9 wyników badań każdego betonu asfaltowego.



Rys. 8. Krytyczny współczynnik intensywności naprężeń K_{IC} (odporność na pęknięcie) badanych betonów asfaltowych (słupki rozrzutów pokazują odchylenie standardowe)



Rys. 9. Krytyczna wartość całki J_C badanych betonów asfaltowych

W celu zweryfikowania istotności różnic w otrzymanych wynikach badań próbek poszczególnych betonów asfaltowych przeprowadzono analizę statystyczną opartą na teście t-Studenta. Analizie poddano istotność różnic wartości śred-

nich krytycznej wartości współczynnika intensywności naprężeń K_{IC} . Obliczenia wykonano dla założonego poziomu ufności $P=80\%$. Wyniki analiz przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Czy różnice wartości średnich krytycznego współczynnika intensywności naprężeń K_{IC} są istotne dla poziomu ufności $P = 80\%$?

Rodzaj betonu asfaltowego	AC 16 W 35/50	AC 16 W 50/70	AC WMS 16 20/30	AC WMS 16 20/30 wielorodzajowy	AC WMS 16 25/55-60
AC 16 W 35/50	X	NIE	TAK	TAK	NIE
AC 16 W 50/70	NIE	X	TAK	TAK	NIE
AC WMS 16 20/30	TAK	TAK	X	TAK	TAK
AC WMS 16 20/30 wielorodzajowy	TAK	TAK	TAK	X	NIE
AC WMS 16 25/55-60	NIE	NIE	TAK	NIE	X

Przy ocenie wyników badań należy pamiętać o interpretacji znaczenia parametrów K_{IC} i J_C . Ogólnie biorąc, przy wzroście tych parametrów materiały mają większą odporność na propagację spękań. W przypadku parametru K_{IC} z inżynierskiego punktu widzenia nie otrzymano bardzo dużych istotnych różnic badanych betonów asfaltowych. Wszystkie wyniki badań w temperaturze -10°C zawierały się w przedziale od 26 do 31 $\text{N}\cdot\text{mm}^{-3/2}$. Analiza statystyczna wykazała jednak, że różnice były istotne i możliwe jest uszeregowanie badanych betonów asfaltowych pod kątem odporności na pęknięcie. Najlepszy parametr K_{IC} charakteryzował AC WMS 16 z asfaltem wielorodzajowym, co widać na rys. 8 i w tabeli 2. Beton asfaltowy AC WMS 16 z asfaltem wielorodzajowym ma parametr K_{IC} porównywalny z AC WMS 16 z asfaltem modyfikowanym 25/55-60. Najgorszy parametr K_{IC} charakteryzował AC WMS 16 z asfaltem 20/30, co widać na rys. 8 i potwierdza porównanie w tabeli 3.

Dużo większe różnice wystąpiły w przypadku parametru J_C (rys. 9). W tym przypadku wyraźnie najwyższym (najlepszym) parametrem J_C charakteryzował się AC WMS z asfaltem wielorodzajowym, a najniższym (najgorszym) AC WMS z asfaltem drogowym 20/30 i AC 16 W z asfaltem drogowym 50/70. Na rys. 9 nie pokazano słupków rozrzutów wyników, ponieważ z badanych 9 próbek jednorodnych dla każdego rodzaju betonu asfaltowego obliczono tylko jedną wartość parametru J_C .

W badaniu parametru K_{IC} beton asfaltowy AC 16 W 50/70 miał istotnie lepsze właściwości niż AC WMS 20/30, porównywalne z AC 16 W 35/50. W przypadku parametru J_C beton asfaltowy AC 16 W 50/70 był wyraźnie gorszy od AC 16 W 35/50.

Jak widać, wyniki nie są w pełni jednoznaczne i zagadnienie oceny mieszanek mineralno-asfaltowych według parametrów mechaniki pęknięcia wymaga dalszych badań. Można przypuszczać, że nie tylko typ mieszanki i rodzaj asfaltu, ale także parametry fizyczne mieszanki, jej skład, powinowactwo asfaltu i kruszywa oraz zawartość wolnej przestrzeni ma duży wpływ na parametry mechaniki pęknięcia, co wykazali [1, 7, 8, 9]. Z badań wynika jednak, zgodnie w przypadku obu parametrów mechaniki pęknięcia K_{IC} i J_C , że najbardziej podatnym na propagację spękań jest beton asfaltowy o wysokim mo-

dule sztywności z asfaltem drogowym 20/30, oznaczony jako AC WMS 16 20/30.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych przez autorów badań można stwierdzić, że parametry mechaniki pęknięcia mieszanek mineralno-asfaltowych można wyznaczyć w laboratorium przy zastosowaniu stosunkowo powszechnego sprzętu badawczego.

Dokładne rozpoznanie procesu propagacji spękania może przyczynić się do poprawy parametrów wbudowywanych mieszanek mineralno-asfaltowych odpowiedzialnych za powstawanie spękań nawierzchni.

Badania wykazały jednoznacznie, że najgorszymi parametrami mechaniki pęknięcia K_{Ic} i J_C charakteryzuje się beton asfaltowy o wysokim module sztywności – AC WMS 16 20/30, z asfaltem drogowym 20/30. Najlepsze parametry K_{Ic} i J_C miał beton asfaltowy o wysokim module sztywności AC WMS 16 z asfaltem wielorodzajowym. Nieco gorsze parametry K_{Ic} i J_C miał beton asfaltowy AC WMS 16 z asfaltem modyfikowanym 25/55-60.

Bibliografia

- [1] M. Arabani, B. Ferdowsi B., *Evaluating the semi-circular bending test for HMA mixtures*, *International Journal of Engineering*, Vol. 22, No. 1, 2009, s. 47-58
- [2] I. Artamendi., H. A. Khalid, *A comparison between beam and semi-circular bending fracture tests for asphalt*, *Road Materials and Pavement Design*, volume 7, supplement 1, 2006, s. 163-180
- [3] B. Birgisson, A. Montepara, E. Romeo, R. Roque, G. Tebaldi, *Influence of mixture properties on fracture mechanisms in asphalt mixtures*, *Road Materials and Pavement Design*, volume 11, supplement 1, 2010, s. 61-88
- [4] M.A. Elseifi, L.N. Mohammad, H. Ying, S. Cooper, *Modeling and evaluation of the cracking resistance of asphalt mixtures using the semi-circular bending test at intermediate temperatures*, *Road Materials and Pavement Design*, volume 13, supplement 1, 2012, s. 124-139
- [5] J. German, *Podstawy mechaniki pęknięcia*, Politechnika Krakowska, Kraków 2011
- [6] J. Judycki, *Fatigue of asphalt mixes*, Publication of University of Oulu, Finland 1991
- [7] K.W. Kim, M. El Hussein, *Variation of fracture toughness of asphalt concrete under low temperatures*, *Construction and Building Materials*, 1997, volume 11, issues 7-8, 1997, s. 403-411
- [8] X.-J. Li, M.O. Marasteanu, *Using semi circular bending test to evaluate low temperature fracture resistance for asphalt concrete*, *Experimental Mechanics*, volume 50, issue 7, 2010, s. 867-876
- [9] M. Marasteanu, A. Zofka, M. Turos, X. Li, R. Velasquez, Li Xue, W. Buttler, G. Paulino, A. Braham, E. Dave, J. Ojo, H. Bahia, C. Williams, J. Bausano, A. Gallistel, J. McGraw, *Investigation of low temperature cracking in asphalt pavements, Final Report, Minnesota Department of Transportation*, MN/RC 2007-43, Minnesota 2007
- [10] B. Mobasher, M.S. Mamlouk, H.-M. Lin, *Evaluation of crack propagation properties of asphalt mixtures*, *Journal of Transportation Engineering*, volume 123, issue 5, 1997, s. 405-413
- [11] Y. Murakami, *Stress Intensity Factors Handbook*, Ed. Pergamon, Oxford, 1987
- [12] M.P. Wagoner, W.G. Buttler, G.H. Paulino, P. Blankenship, *Investigation of the fracture resistance of hot-mix asphalt concrete using a disk-shaped compact tension test*, *Journal of the Transportation Research Board*, volume 1929, 2005, s. 183-192
- [13] M.P. Wagoner, W.G. Buttler, G.H. Paulino, *Development of a single-edge notched beam test for asphalt concrete mixtures*, *Journal of Testing and Evaluation*, volume 33, issue 6, 2005
- [14] M.P. Wagoner, W.G. Buttler, G.H. Paulino, *Disk-shaped compact tension test for asphalt concrete fracture*, *Experimental Mechanics*, volume 45, issue 3, 2005, s. 270-277
- [15] Z. Wu, L.N. Mohammad, L.B. Wang, M.A. Mull, *Fracture resistance characterization of SUPERPAVE mixtures using the semi-circular bending test*, *Performance tests for hot mix asphalt (HMA) including fundamental and empirical procedures, Monograph, American Society for Testing and Materials*, 2006, s. 127-141
- [16] M.-Y. Yoo, S.-H. Jeong, J.-Y. Park, N.-H. Kim, K.-W. Kim, *Low-temperature fracture characteristics of selected warm-mix asphalt concretes*, *Journal of the Transportation Research Board*, volume 2208, issue 2, 2011, s. 40-47
- [17] E. Zegeye, J.-L. Le, M. Turos, M. Marasteanu, *Investigation of size effect in asphalt mixture fracture testing at low temperature*, *Road Materials and Pavement Design*, volume 13, supplement 1, 2012, s. 88-101
- [18] X.-K. Zhu, J.A. Joyce, *Review of fracture toughness (G, K, J, CTOD, CTOA) testing and standardization*, *Engineering Fracture Mechanics*, volume 85, 2012, s. 1-46
- [19] PN-EN 12 697-44 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 44 ■

(dokończenie ze str. 218)

ANDRZEJ KULICZKOWSKI, MICHAŁ FUJAWA: **Tunelowanie o przekroju prostokątnym**. „Drogownictwo”, rok LXIX, nr 7-8, 2014, s. 258-265

Przedstawiono metody budowy tuneli o przekroju prostokątnym. Skoncentrowano się na metodach bezwykopowych z uwagi na nieutrudnianie ruchu ulicznego. Przeanalizowano wybrane przykłady urządzeń tarczowych o przekrojach prostokątnych (wraz z kwadratowymi), a także zbliżonych do prostokątnych oraz zaprezentowano przykładowe realizacje tuneli z wykorzystaniem opisanych urządzeń.

Słowa kluczowe: tunele, budowa, przekrój prostokątny.

MAREK MISTEWICZ: **Wspomnienia z odbudowy mostu przez Wisłę w Wyszogrodzie odnalezione pod Nowym Jorkiem**. „Drogownictwo”, rok LXIX, nr 7-8, 2014, s. 266-269

Opisano wspomnienia i zdjęcia z lat 1946-1947 dotyczące historii mostu przez Wisłę w Wyszogrodzie. Ich autorem jest inżynier, który kierował odbudową mostu ze zniszczeń wojennych, a wiosną 1947 r. uczestniczył w jego obronie przed pochodem lodów. Wspomnienia są przechowywane w Stanach Zjednoczonych A.P. przez syna niezjącego ich autora. W 1999 r. syn wysłał list oferujący ich udostępnienie. Odnalezienie po 14 latach listu i jego nadawcy umożliwiło opublikowanie fragmentów wspomnień i wzbogacenie wiedzy o powojennej historii mostu.

Słowa kluczowe: most przez Wisłę, Wyszogród, odbudowa mostu, wspomnienia mostowe.

KRZYSZTOF KAPERCZAK, GRAŻYNA CZARNOWSKA: **Pochylnia i ... rury**. „Drogownictwo”, rok LXIX, nr 7-8, 2014, s. 270-272

Artykuł niniejszy poświęcony jest problemowi dostosowania przestrzeni publicznej do potrzeb osób niepełnosprawnych – miejscowego dostosowania wejścia na kładkę nad torami kolejowymi. Na przykładzie remontu fragmentu chodnika pokazuje proces wyboru wariantu lokalizacji pochylni łączącej chodnik i kładkę.

Słowa kluczowe: przestrzeń publiczna, dostępność; niepełnosprawni.

„Drogownictwo” 7-8/2014

ANDRZEJ KULICZKOWSKI, MICHAŁ FUJAWA: **Rectangular tunnels construction**. „Drogownictwo”, vol. LXIX, 7-8, 2014, pp. 257-265

The available no-dig methods of rectangular tunnels construction were presented. The authors focused on trenchless technologies as they do not disturb on ground traffic. Chosen examples of rectangular shield machines (including the square ones) as well as quasi rectangular ones were analyzed. The examples of tunnels built using described machines were also presented.

Keywords: tunnels, construction, rectangular shape.

MAREK MISTEWICZ: **Memories of the bridge over Vistula river in Wyszogrod reconstruction found at New York**. „Drogownictwo”, vol. LXIX, 7-8, 2014, pp. 266-269

Memories and pictures dated 1946-1947 related to history of the bridge over Vistula river in Wyszogrod are presented. Their author was a building site manager of the bridge reconstruction works after war damage. In spring 1947 he participated in fight against destructive ice floe. Memories are now stored in the United States by the son of deceased author. In 1999 the son sent a letter to Poland offering access to the memories. Finding after 14 years the letter and its sender has made it possible to publish their excerpts and to enrich our knowledge on the bridge post-war history.

Keywords: bridge over Vistula, Wyszogrod, bridge reconstruction, bridge memories.

KRZYSZTOF KAPERCZAK, GRAŻYNA CZARNOWSKA: **Entrance to foot-bridge and ... pipes**. „Drogownictwo”, vol. LXIX, 7-8, 2014, pp. 270-272

The article discusses the question of adapting public space to the needs of the disabled – adjustment of the entrance to a footbridge over the railway. Based on a case of repairing a section of a pavement it presents the process to select a location for a ramp connecting the pavement and the footbridge.

Keywords: public space, accessibility, disabled.