

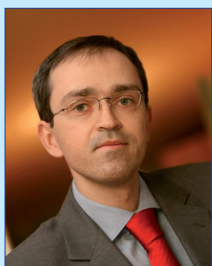
JERZY PIŁAT

Politechnika Warszawska



JAN KRÓL

Politechnika Warszawska



KRZYSZTOF
BŁAŻEJOWSKI

ORLEN Asfalt Sp. z o.o.



KAROL KOWALSKI

Politechnika Warszawska



MICHAŁ SARNOWSKI

Politechnika Warszawska

Badania sztywności pełzania asfaltów w reometrze zginanej belki (BBR)

Wzrastające natężenia ruchu i obciążenia osi pojazdów wymagają stosowania nowych konstrukcji nawierzchni, nowych technologii oraz nowych materiałów do ich budowy. Wysokie wymagania stawiane nowoczesnym nawierzchniom asfaltowym są możliwe do realizacji przy stosowaniu odpowiednich technologii i materiałów wysokiej jakości. Zniszczenia nawierzchni asfaltowych w dużym stopniu zależą od jakości stosowanego lepiszcza. Według ustaleń programu *Strategic Highway Research Program* (SHRP) przyczyną powstawania zniszczeń nawierzchni asfaltowych (odkształcenia trwałe, spękania zmęczeniowe i niskotemperaturowe) jest niska jakość stosowanego lepiszcza. Tradycyjne asfalty drogowe nie spełniają oczekiwanych wysokich wymagań, stąd konieczność stosowania modyfikacji asfaltów. Optymalizacja właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych wymaga podejścia funkcjonalnego, w celu dopuszczenia do stosowania kruszyw gorszej jakości w mieszankach mineralno-asfaltowych z lepiszczami asfaltowymi o podwyższonej jakości. W ocenie funkcjonalnej asfaltów brane są pod uwagę końcowe właściwości projektowanej mieszanki mineralno-asfaltowej w aspekcie jej trwałości bez uwzględniania na etapie projektowania szczegółowych wymagań wobec materiałów. Funkcjonalna ocena właściwości materiałów wg metodyki Superpave bierze pod uwagę ich przydatność w danej strefie klimatycznej i uwzględnia trwałość na podstawie laboratoryjnych metod symulacji starzenia.

Norma PN-EN 12591:1999 „Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Wymagania dla asfaltów drogowych”, w odróżnieniu od innych, nowszych Norm Europejskich, nie jest normą klasyfikacyjną, a wymagania wobec danego rodzaju asfaltu są ze sobą powiązane. Wymagania wobec asfaltów drogowych zawarte w tej normie nie opisują w dostateczny sposób rzeczywistych wła-

ściwości lepkosprężystych tych lepiszczy. W przyszłości przewiduje się wprowadzenie nowych wymagań wobec asfaltów drogowych, opartych o zmienione lub nowe metody badawcze. Oczekuje się, że nowe metody będą lepiej opisywać zachowanie się lepiszczy w nawierzchni, w zakresie właściwości lepkosprężystych w szerokim zakresie temperatury eksploatacyjnej. Przykładem takich zmian może być np. propozycja zastąpienia pomiaru lepkości dynamicznej metodą kapilarową, metodą pomiaru lepkości w lepkościomierzu obrotowym lub zastąpienie metody pomiaru temperatury łamiwości metodą Fraassa przez pomiar sztywności pełzania w reometrze zginanej belki (BBR). Wymienione zmiany metod badawczych są również uzasadnione, ze względu na coraz częstsze stosowanie lepiszczy o poprawionych właściwościach, tj. polimeroasfaltów, których właściwości i zachowanie się w nawierzchni jest nie do końca rozpoznane.

Przewidywane zmiany dotyczą również wymagań w odniesieniu do lepiszczy asfaltowych modyfikowanych polimerami i twardych asfaltów drogowych. W 2005 r. została wprowadzona do stosowania Norma Europejska dotycząca polimeroasfaltów EN 14023 (w Polsce z załącznikiem krajowym od 2009 r.). Nowym rodzajem lepiszczy drogowych są twarde asfalty drogowe. Wymagania wobec tych asfaltów zawiera norma EN 13924 z 2006 r. Istniejące obecnie trzy normy EN na lepiszcza stosowane do mieszanek mineralno-asfaltowych stosowanych na gorąco różnią się układem i zakresem wymagań. Normy EN 14023 i EN 13924 są dokumentami należącymi do nowych norm typu klasyfikacyjnego i wymagają opracowania załącznika krajowego. W obu normach istnieją zapisy dotyczące potrzeby weryfikacji właściwości i metod badawczych lepiszczy.

Przewiduje się, że nowe metody badawcze będą w przyszłości miały zastosowanie do oceny funkcjonalnej lepiszczy. Do metod tych można zaliczyć badania właściwości reologicznych w zakresach wysokiej i niskiej (ujemnej) temperatury eksploatacyjnej. Tego rodzaju badania były prowadzone w latach 70. i 80. XX w. z zastosowaniem dostępnej w niewielkim stopniu w tamtych czasach aparatury np. reogoniometru Weissenberga. Wyniki badań w tym reogoniometrze pozwalały na ocenę zakresu lepkosprężystości w zakresach temperatury od -30°C do $+60^{\circ}\text{C}$ [1]. Brak wówczas powszechnej dostępności takiej aparatury i czasochłonność pomiarów ograniczały prowadzenie badań lepiszczy drogowych wg tej metody. Nowa metoda pomiaru właściwości niskotemperaturowych w reometrze BBR (*Bending Beam Rheometer*) zgodna z systematyką Superpave uprościła zdecydowanie metodykę badań i jej powszechność. Z wyjątkiem nielicznych prac [2], [3], [4], [5] oraz programu badawczego ORLEN Asfalt do tej pory w Polsce badania nad właściwościami niskotemperaturowymi określanymi w reometrze zginanej belki (BBR) prowadzone były w ograniczonym zakresie. W tabeli 1 zestawiono warunki pomiaru właściwości niskotemperaturowych w reometrze BBR, stosowane w Sta-

nach Zjednoczonych Ameryki Południowej wg systematyki Superpave oraz propozycje warunków badań z Norm Europejskich EN 14023 i EN 13924.

Tabela 1. Porównanie kryteriów oceny właściwości niskotemperaturowych lepiszczy asfaltowych wg metody BBR

Właściwość	Superpave	EN 14023	EN 13924
Moduł sztywności S	Temp. w °C przy $S \leq 300$ po RTFOT+PAV	Wartość S w MPa w temp. -16°C	Temp. w °C przy $S = 300$
Parametr m	Temp. w °C przy $m \geq 0,300$ po RTFOT+PAV	-	Temp. w °C przy $m = 0,300$

Porównując zestawienie kryteriów oceny lepiszczy przedstawione w tabeli 1, można stwierdzić, że istnieje duża rozbieżność między zapisami w Normach Europejskich i wytycznymi amerykańskimi. Według systematyki Superpave lepiszcza należy w pierwszej kolejności poddać laboratoryjnemu starzeniu metodą RTFOT, symulującego starzenie technologiczne, a następnie zastosować metodę PAV do oceny przyspieszonego starzenia eksploatacyjnego (długotrwałego).

Lepiszczce poddane procesowi starzenia PAV poddaje się badaniu w reometrze zginanej belki (BBR), w co najmniej dwóch wartościach temperatury w celu ustalenia temperatury, przy której spełnione są warunki podane w tabeli 1. Zbliżone kryteria oceny zostały przyjęte w Normie Europejskiej EN 13924 (asfalty twarde), jednak warunki badania zostały podane nieprecyzyjnie. W propozycji wymagań wobec asfaltów twardych nie uwzględniono procesów starzenia, a które wprowadza Superpave. Natomiast zupełnie odmienne kryteria oceny zostały podane w normie na polimeroasfalty (EN 14023), które dotyczą wartości modułu sztywności w temperaturze badania -16°C. Wątpliwości budzi wymagana temperatura pomiaru -16°C oraz czy wartość modułu S powinna być zgodna z kryteriami Superpave? Przyjęte w normie na polimeroasfalty kryterium jest wynikiem doświadczeń niemieckich i stosowanej w tym kraju procedury badawczej (przywołanej w TL PmB*) [6].

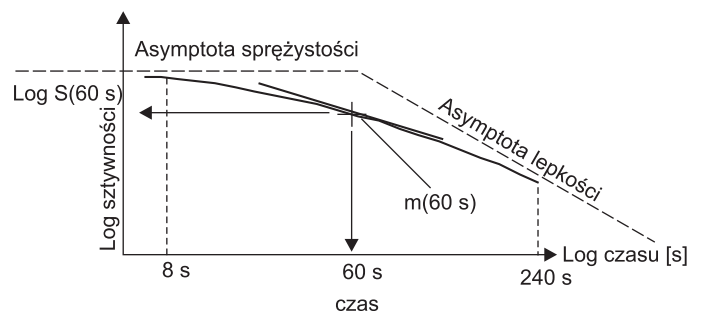
Według amerykańskiego systemu oceny lepiszczy Superpave przewiduje się ocenę trwałości nawierzchni już na etapie projektowania mieszanki mineralno-asfaltowej. Zakłada się, że jeżeli lepiszcze spełni dane kryteria odpowiednie do strefy klimatycznej, nawierzchnia będzie wykazywała odporność na spękania niskotemperaturowe w okresie pierwszych 15 lat od wbudowania mieszanki. Zapisy w Normach Europejskich na tle wymagań amerykańskich wydają się niespójne ze względu na różnicę w kryteriach oceny, gdzie raz wynikiem badania jest ustalenie temperatury, przy której spełnione zostały pewne warunki, natomiast w drugim przypadku wynikiem badania jest wartość modułu sztywności w ściśle ustalonej temperaturze. Obie Normy Europejskie (EN 14023 i EN 13924) dotyczą wymagań wobec lepiszczy asfaltowych stosowanych do nawierzchni drogowych i wydaje się zasadne przyjęcie jednokowych kryteriów oceny, analogicznie do wytycznych przyjętych w USA.

* Technische Lieferbedingungen für Polymermodifizierte Bindemittel (Techniczne warunki dostawy lepiszczy modyfikowanych polimerami).

Badanie pełzania w niskiej temperaturze

Amerykańskie kryteria oceny Superpave klasyfikują asfalty na podstawie najwyższej średniej siedmiodniowej i najniższej jednodniowej temperatury nawierzchni, w której można stosować takie lepiszcze. Najwyższa i najniższa temperatura są najważniejszymi kryteriami klasyfikacyjnymi, ponieważ wymagania funkcjonalne są jednakowe wobec wszystkich lepiszczy. Klasy wymagań i użytkowania asfaltów, według których określa się rodzaje (funkcjonalne) asfaltów są klasami określającymi najwyższą i najniższą temperaturę na danym obszarze klimatycznym. Na tej podstawie obszar USA i Kanady został podzielony na strefy klimatyczne i oznaczony jako strefy PG – Performance Grade [7], [8]. W roku 2000 podjęto próbę określenia takich stref klimatycznych na obszarze Polski [2].

Podczas badań stwierdzono, że zniszczenia niskotemperaturowe w nawierzchniach asfaltowych powstają głównie w wyniku naprężeń termicznych, gdy asfalt staje się kruchy. Przy ocenie zachowania się nawierzchni w ujemnej temperaturze mniej istotna jest szybkość poruszających się pojazdów, w porównaniu do naprężeń od obciążenia. Dlatego w celu oceny właściwości niskotemperaturowych lepiszczy asfaltowych można określać sztywność asfaltu pod obciążeniem statycznym [1]. Nie wyklucza to jednak, że do oceny zakresu lepkosprężystego lepiszczy można stosować metodykę uwzględniającą obciążenia dynamiczne. Na rysunku 1 przedstawiono przykład zmiany modułu sztywności w funkcji czasu działania obciążenia pod obciążeniem statycznym (czas obciążenia w sekundach).



Rys. 1. Moduł sztywności w funkcji czasu działania obciążenia statycznego. Interpretacja odczytu wartości modułu S i parametru m wg programu SHRP

Przebieg krzywej modułu sztywności w funkcji czasu obciążenia zależy od przewagi właściwości lepkich lub sprężystych w danej temperaturze. Uważa się, że poprawę właściwości niskotemperaturowych lepiszczy asfaltowych można uzyskać, obniżając wartości składowej sprężystej i zwiększając udział składowej lepkiej [9]. W asfaltach modyfikowanych polimerami krzywa sztywności charakteryzuje się mniejszym nachyleniem w porównaniu do asfaltów niemodyfikowanych, a przejście od zachowania lepkiego (asymptota lepkości) do sprężystego (asymptota sprężystości) następuje o wiele wolniej.

Już od lat 50. XX w. znana była zasada określania sztywności asfaltu w niskiej (ujemnej) temperaturze w badaniu pełzania pod obciążeniem statycznym, natomiast ograniczenia aparaturowe powodowały, że taki pomiar był niezmiernie trudny [1], [10]. W latach 80–90. XX w. do badań modułu sztywności pod obciążeniem statycznym powszechnie wykorzysty-

wano konsystomierz Höpplera, który umożliwił pomiar pełzania w ujemnej temperaturze. Obszerne badania z zastosowaniem tej metody pomiaru przedstawiono w pracach [1], [11]. Pod koniec XX w. w ramach projektu SHRP udało się opracować aparaturę o dostatecznej dokładności i łatwą w obsłudze, co umożliwiło wprowadzenie jej do powszechnego stosowania. Opracowana w USA metoda to pomiar sztywności pełzania wykonywany na beleczkach lepiszcza asfaltowego w reometrze BBR w temperaturze ujemnej. Przy ocenie właściwości niskotemperaturowych w aparacie BBR określa się wartość sztywności S po 60 sekundach działania obciążenia oraz określa się bezwymiarową wartość parametru m , która charakteryzuje nachylenie stycznej do wykresu sztywności w funkcji czasu. Schemat odczytu wartości S i m w badaniu BBR wg metodyki SHRP przedstawiono na rysunku 1.

Program i metodyka badawcza

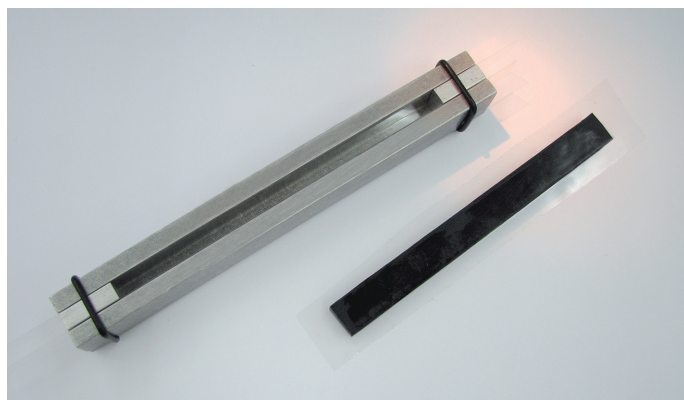
W Politechnice Warszawskiej we współpracy z ORLEN Asfalt Sp. z o.o. przeprowadzono obszerne badania właściwości reologicznych asfaltów drogowych i polimeroasfaltów. W tabeli 2 zestawiono przykładowo wyniki badań właściwości wybranych lepiszczy asfaltowych: asfaltu drogowego 50/70 oraz polimeroasfaltu DE80B (obecnie 45/80-55).

Tabela 2. Właściwości lepiszczy asfaltowych

Właściwości	Jednostka	Lepiszczce	
		50/70	80B
Penetracja w temp. 25°C	0,1 mm	67	62
Temperatura mięknięcia wg PiK	°C	49	53
Temperatura łamliwości wg Fraassa	°C	-18	-17
Ciągliwość w 13°C	cm	85	-
Ciągliwość w 15°C	cm	-	> 100
Indeks penetracji: Pen/PiK	-	-0,75	+0,06
Nawrót sprężysty w 25°C	%	-	65
Odporność na starzenie RTFOT			
- pozostała penetracja	%	65	-
- zmiana penetracji	%	-	-37,5
- temperatura mięknięcia wg PiK	°C	56,8	-
- wzrost temperatury mięknięcia wg PiK	°C	7,6	5,6
Stabilność koloidalna			
- różnica PiK	°C	-	-0,6
- różnica Pen w 25°C	0,1 mm	-	-1,0

Można stwierdzić, że badane lepiszcza charakteryzują się porównywalną konsystencją w średniej temperaturze użytkowej (penetracja ~60-0,1 mm), oraz porównywalnymi właściwościami niskotemperaturowymi na podstawie badania łamliwości wg Fraassa (-18°C i -17°C – w granicach błęd pomiaru). Asfalt modyfikowany charakteryzuje się wyższą temperaturą mięknięcia (wg PiK) w wysokiej temperaturze użytkowej w porównaniu do asfaltu niemodyfikowanego, pomimo niższej

konsystencji w temperaturze użytkowej (penetracja). Wyższa temperatura mięknięcia asfaltu modyfikowanego jest wynikiem zastosowanej modyfikacji polimerem. Asfalt modyfikowany charakteryzuje się również dodatnią wartością indeksu penetracji, która świadczy o niższej wrażliwości temperaturowej tego lepiszcza w porównaniu z asfaltem drogowym.



Fot. 1. Beleczyki do badania w aparacie BBR (fot. J. Król)



Fot. 2. Aparat BBR (fot. J. Król)

Do badania lepiszcza w reometrze BBR przygotowano beleczyki o wymiarach 125/12,5/6,25 mm z lepiszcza oryginalnego i poddanego wcześniej procesom starzenia RTFOT i PAV (fot. 1) zgodnie z procedurą SHRP. Badania lepiszczy asfaltowych przeprowadzono w trzech wartościach temperatury: -12°C, -18°C, -30°C. Beleczyki wstępnie obciążono siłą 30±5 mN, a następnie stałym obciążeniem badawczym w środku rozpiętości belki o wartości 980±50 mN. Badanie przeprowadzono z zastosowaniem wydłużonego okresu odciążania. Całkowity czas badania wynosił 480 s i dzielił się na równe części obciążenia i odciążenia wynoszące po 240 s. Podczas badania rejestrowano w sposób ciągły ugięcie beleczyki, na podstawie którego obliczono wartość modułu sztywności pełzania (S) po czasie obciążenia 60 s oraz zmianę sztywności pełzania (m) z następujących równań:

$$S(t) = \frac{Pl^3}{4bh^3d(t)} \quad (1)$$

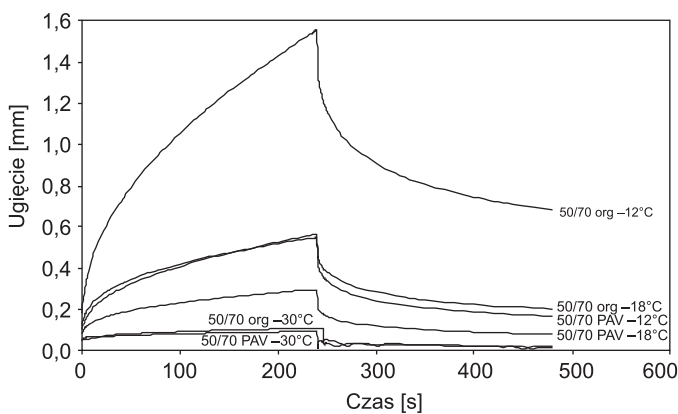
w którym: $S(t)$ – sztywność po czasie t (60s), P – stałe obciążenie skupione = 980 mN, l – długość pomiarowa beleczki = 102 mm, b – szerokość próbki = 12,5 mm, h – wysokość próbki = 6,25 mm, $d(t)$ – ugięcie po czasie t (60s)

$$m(t) = \frac{\log(S_i)}{\log(t)} \quad (2)$$

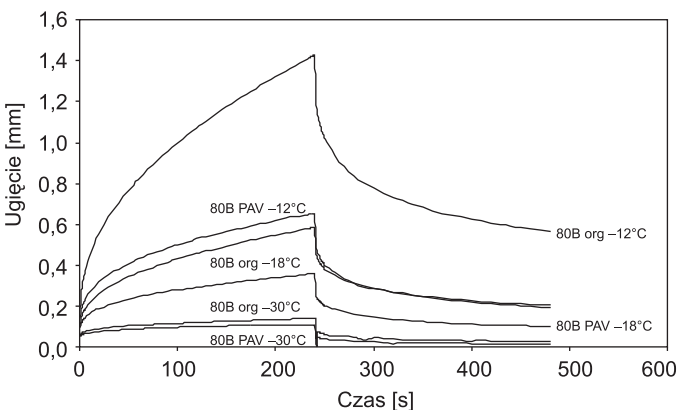
w którym: $\log(S_i)$ – logarytm sztywności S po czasie t (60s), $\log(t)$ – logarytm czasu (60s).

Analiza wyników badań sztywności w badaniu pełzania

Na podstawie uzyskanych wyników badań wykreślono krzywe pełzania, które przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Analiza przebiegu krzywych pełzania wskazuje, że szybkość pełzania (odkształcenia) lepiszczy niemodyfikowanych oraz asfaltów przed starzeniem jest większa niż asfaltów modyfikowanych oraz asfaltów po starzeniu RTFOT+PAV. W ujemnych zakresach temperatury szybsze pełzanie należy uznać za korzystniejsze ze względu na większą podatność materiału i zachowanie właściwości lepkosprężystych.



Rys. 2. Krzywe pełzania w funkcji temperatury asfaltu drogowego 50/70 przed starzeniem (org) i po starzeniu RTFOT+PAV (PAV)



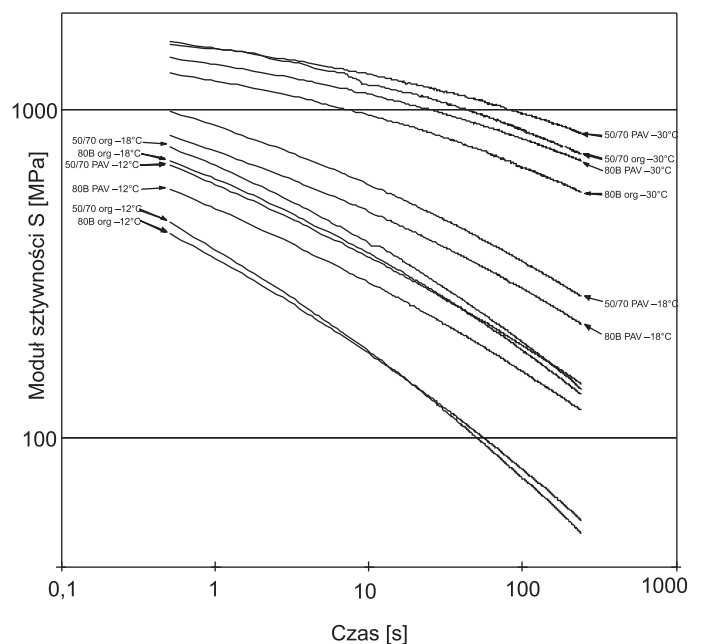
Rys. 3. Krzywe pełzania w funkcji temperatury asfaltu modyfikowanego 80B (45/80-55) przed starzeniem (org) i po starzeniu RTFOT+PAV (PAV)

Zwraca uwagę duże usztywnienie lepiszcza w funkcji temperatury. Ugięcie próbki asfaltu 50/70 po czasie 240 s w -12°C wynosi 1,56 mm, w -18°C wynosi 0,57 mm, a w -30°C wynosi 0,11 mm. Ugięcia próbki asfaltu modyfikowanego 80B (45/80-55) po czasie 240 s wynoszą odpowiednio 1,43 mm, 0,59 mm, 0,14 mm. Analizując przebieg krzywych pełzania lepiszczy, można stwierdzić, że w temperaturze -12°C właściwości lepiszcza niemodyfikowanego są korzystniejsze (większa składowa lepka). W temperaturze -18°C oraz -30°C nieznacznie poprawione właściwości lepkosprężyste ma asfalt modyfikowany.

Przydatne do oceny zmiany właściwości lepiszczy asfaltowych w zakresie ujemnych wartości temperatury, jest kryterium zmiany pełzania w funkcji temperatury. Analizując krzywe pełzania asfaltów niemodyfikowanych można zauważyć 2,7-krotny spadek pełzania przy przejściu z -12°C do -18°C oraz ponad 14-krotny spadek przy przejściu z temperatury -12°C do -30°C . Analiza zmiany pełzania asfaltu modyfikowanego wskazuje na 2,4-krotny spadek pełzania przy przejściu z -12°C do -18°C oraz ponad 10-krotny spadek przy przejściu z temperatury -12°C do -30°C . Można stwierdzić, że asfalt modyfikowany, pomimo pozornie gorszych właściwości w temperaturze -12°C (mniejsze pełzanie), wolniej się usztywnia, co jest korzystne i świadczy o szerszym zakresie lepkosprężystości.

Na rysunku 4 przedstawiono wykres zbiorczy izoterm modułu sztywności S , w badaniu pełzania pod obciążeniem statycznym, asfaltu 50/70 i asfaltu modyfikowanego 80B (45/80-55) przed starzeniem i po starzeniu RTFOT+PAV. Na podstawie analizy zależności modułu sztywności od czasu obciążenia można stwierdzić, że występuje duże zróżnicowanie położenia i nachylenia izoterm.

Proces starzenia eksploatacyjnego w znacznym stopniu wpływa na usztywnienie lepiszcza niezależnie od wartości ujemnej temperatury badania. Na podstawie dotychczas-



Rys. 4. Izotermy modułu sztywności S , w badaniu pełzania pod obciążeniem statycznym, asfaltu 50/70 i asfaltu modyfikowanego 80B (45/80-55) przed starzeniem (org) i po starzeniu RTFOT+PAV (PAV)

wych badań przyjmuje się, że usztywnienie asfaltu modyfikowanego w wyniku starzenia eksploatacyjnego RTFOT+PAV niezależnie od temperatury badania wynosi ok. 100 MPa [4]. Ocena wartości modułu sztywności asfaltu poddanego starzeniu długotrwałemu RTFOT+PAV umożliwia przewidywanie usztywnienia lepszycza podczas eksploatacji nawierzchni asfaltowej w pierwszych 10–15 latach [2], [3]. Przyjmuje się, że wartość sztywności pełzania $S = 300$ MPa stanowi graniczną wartość, poniżej której asfalt pozostaje w stanie lepkosprężystym, a powyżej której wykazuje zachowanie sprężyste. Przyjęta w wymaganiach Superpave graniczna wartość modułu sztywności pełzania równa 300 MPa jest zgodna z kryteriami oceny opracowanymi w latach 80–90. przez M. Kalabińską i J. Piłata [11]. Samo wyznaczenie temperatury, na podstawie wartości modułu sztywności pełzania S , w której asfalt przechodzi w stan sprężysty jest niewystarczające ze względu na konieczność uwzględnienia zachowania się lepszycza asfaltowego w wyniku działania długotrwałego obciążenia. Dlatego w analizie wyników badania sztywności pełzania uwzględnia się szybkość zmiany sztywności S wyrażonej przez parametr m . Wartość parametru m opisuje szybkość zmiany sztywności w czasie działania obciążenia i charakteryzuje nachylenie stycznej do wykresu sztywności w 60. sekundzie działania obciążenia [7], [8].

Na podstawie analizy wyników badań przedstawionych na rysunku 4 można stwierdzić, że lepszycze niemodyfikowane 50/70 w temperaturze -12°C charakteryzuje się większym nachyleniem izotermy modułu sztywności ($m=0,411$) niż izoterma lepszycza modyfikowanego 80B ($m=0,377$). Na tej podstawie można wnioskować, że lepszycze niemodyfikowane 50/70 w tej temperaturze będzie bardziej podatne niż lepszycze modyfikowane. Wynika to ze składowej lepkiej, która wpływa na nachylenie krzywej modułu sztywności. W lepszyczu modyfikowanym polimerem typu elastomerowego, w wyniku modyfikacji zostaje zredukowana składowa lepka poprzez wysycenie polimeru frakcją olejową [3], [5]. Powoduje to, że lepszycze modyfikowane zachowuje się jak materiał sprężysty i szybciej się usztywnia. Jednak usztywnienie asfaltów modyfikowanych w niskich (ujemnych) zakresach temperatury nie powoduje spadku elastyczności materiału w niskiej temperaturze.

Porównując, zestawione w tabeli 3, wartości modułu sztywności S i wartości parametru m lepszyczy przed i po starzeniu, można stwierdzić, że pozytywny wpływ polimeru na zachowanie się lepszycza w niskich (ujemnych) wartościach temperatury uwidacznia się dopiero w niższych zakresach ujemnej temperatury oraz po starzeniu eksploatacyjnym. Wartość modułu sztywności obu lepszyczy w temperaturze -12°C przed

starzeniem są zbliżone. Wraz ze spadkiem temperatury oraz po starzeniu RTFOT+PAV, wzrasta różnica między usztywnieniem asfaltu drogowego 50/70 i polimeroasfaltu 80B. Wartość parametru m w temperaturze -30°C badanego polimeroasfaltu 80B jest korzystniejsza zarówno przed, jak i po starzeniu eksploatacyjnym w odniesieniu do asfaltu 50/70.

Analiza zmian wartości parametru m , w zakresie temperatury ujemnej od -12°C do -30°C wykazuje, że polimeroasfalty mają poprawione właściwości niskotemperaturowe i będą wykazywać pękanie w niższej (ujemnej) temperaturze (poniżej -30°C) niż asfalty drogowe. Takie zachowanie się asfaltu modyfikowanego można tłumaczyć tym, że wzrost sztywności nie powoduje jednocześnie wzrostu kruchości, za co odpowiada faza polimerowa w lepszyczu. Polimer rozproszony w lepszyczu powoduje wzrost wytrzymałości na rozciąganie lepszycza i jednocześnie zwiększa odporność na kruche pękanie.

Analizując wartości temperatury odczytane przy $S \leq 300$ MPa i $m \geq 0,3$ wg założeń Superpave i podane w tabeli 3, można zauważyć, że decydujące znaczenie przy ustaleniu temperatury krytycznej asfaltu ma parametr m , określający szybkość zmiany sztywności w czasie działania obciążenia oraz proces starzenia zachodzący w lepszyczu. Wartości temperatury odczytane na podstawie kryteriów $S \leq 300$ MPa i $m \geq 0,3$ badanych lepszyczy przed starzeniem są zbliżone. Proces starzenia powoduje radykalne zróżnicowanie temperatury krytycznej odczytywanej dla sztywności S i parametru m . Według kryteriów Superpave, do oceny asfaltów należy przyjąć wyższą temperaturę odczytaną z obu kryteriów.

Ocena temperatury krytycznej, wyznaczonej z uwzględnieniem starzenia, na podstawie parametru m i wartości modułu S znajduje odzwierciedlenie we wcześniejszych analizach krzywych pełzania i izoterm modułu sztywności. Analizując wyniki badania krzywych pełzania oraz izoterm modułu sztywności oraz obliczone i zestawione w tabeli 3 krytyczne wartości temperatury można stwierdzić, że lepszym kryterium oceny właściwości lepkosprężystych jest nachylenie izoterm modułu sztywności wyrażone parametrem m niż wartość modułu sztywności S .

Wnioski

1. Na podstawie wstępnych badań przeprowadzonych w Politechnice Warszawskiej we współpracy z firmą ORLEN Asfalt Sp. z o.o. można stwierdzić, że propozycje warunków prowadzenia pomiarów w reometrze BBR znajdujące się w normach EN 14023 oraz EN 13924 są nieprecyzyjne i uniemożliwiają ocenę właściwości funkcjonalnych lepszyczy asfaltowych. W obu normach brak jest informacji czy próbki lepszyczy należy poddać procesowi starzenia przed badaniem w reometrze BBR, a w normie EN 14023 brak jest zaleceń określania parametru m . Natomiast w normie na asfalty drogowe EN 12591 brak jest zaleceń dotyczących nowych metod badań właściwości reologicznych w zakresach ujemnej temperatury.

Tabela 3. Zestawienie wartości modułu sztywności S i parametru m oraz temperatury krytycznej wg kryteriów Superpave i propozycji europejskich

Lepszycze	S [MPa]			m [-]			T [$^{\circ}\text{C}$]	
	-12°C	-18°C	-30°C	-12°C	-18°C	-30°C	$S \leq 300$ MPa	$m \geq 0,3$
50/70	92	232	943	0,411	0,335	0,166	-20,8	-20,3
50/70 RTFOT+PAV	220	392	1050	0,284	0,254	0,138	-15,3	-11,2
ORBITON 80B	96	217	735	0,377	0,320	0,178	-21,7	-19,3
ORBITON 80B RTFOT+PAV	183	323	882	0,287	0,254	0,151	-17,5	-11,1

2. Z przeprowadzonych badań wynika, że tylko ocena z uwzględnieniem czynnika starzenia daje pełną informację o właściwościach funkcjonalnych w zakresach ujemnej temperatury i potwierdza lepsze właściwości reologiczne asfaltów modyfikowanych w odniesieniu do lepisszy konwencjonalnych. Zaproponowane w Europejskich Normach (EN 14023 i EN 13924) kryteria oceny lepisszy na podstawie wymagań Superpave bez uwzględnienia czynnika starzenia utrudniają odniesienie właściwości do strefy klimatycznej i wyznaczenie rodzaju funkcjonalnego PG.

Wnioski z przeprowadzonych badań zostaną przekazane do Komitetu Technicznego KT 222 (PKN) Podkomitet ds. Asfaltów w celu podjęcia działań dążących do ujednoczenia wymagań normowych przez Komitet Techniczny CEN/TC 336 „Lepissza asfaltowe”.

Bibliografia

- [1] Kalabińska M., Piłat J.: *Reologia asfaltów i mas mineralno-asfaltowych*. WKŁ, Warszawa 1982
- [2] Sybilski D.: *Zastosowanie metod SHRP do oceny nawierzchni dróg w Polsce*. Instytut Badawczy Dróg i Mostów. Zeszyt 50, Studia i materiały. Warszawa 2000
- [3] Gawel I., Kalabińska M., Piłat J.: *Asfalty drogowe*. WKŁ, Warszawa 2001
- [4] Zieliński K.: *Rola kopolimeru SBS w kształtowaniu struktury i właściwości termomechanicznych asfaltów stosowanych w materiałach hydroizolacyjnych*, Rozprawy naukowe nr 409, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2007
- [5] Król J.: *Wpływ mikrostruktury polimeroasfaltów drogowych na właściwości reologiczne*. Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej. Warszawa 2008
- [6] Stütz M., Wörner Th., Wallner B.: *Optimization of BBR testing for low temperature behaviour*. 4-th Eurasphalt & Eurobitume Congress. Paper No. 402-039. Copenhagen 2008
- [7] Bahia H.U., Hanson D.I., Zeng M., Zhai H., Khatri M.A., Anderson R.M.: *Characterization Of Modified Asphalt Binders In Superpave Mix Design*. NCHRP Report 459
- [8] *Binder Characterization and Evaluation T.1 Physical characterization*. SHRP-A-367 Report, pp. 9–25. Washington 1999
- [9] Champion-Lapalu L., Planche J.P., Martin D., Anderson D., Gerard J.F.: *Low-temperature rheological and fracture properties of polymer-modified Bitumens*. 2nd Euroasphalt & Eurobitume Congress. Barcelona 2000 – Proceedings Book I pp. 122.
- [10] Van der Poel C.: *A general system describing the viscoelastic properties of bitumens and its relation to routine test data*. Journal of Applied Chemistry. 5(chap.4) 1954, 221–236
- [11] Kalabińska M., Piłat J.: *Właściwości reologiczne asfaltów i kompozytów mineralno-asfaltowych*. Prace Naukowe PW, Zeszyt 121. OWPW, Warszawa 1993



DARIUSZ SYBILSKI
IBDiM, Politechnika Lubelska



JACEK KRZEŃSKI
Mostostal Warszawa S.A.



MACIEJ MALISZEWSKI
IBDiM

Innowacyjna nawierzchnia z kostki kamiennej na Krakowskim Przedmieściu w Warszawie

Krakowskie Przedmieście to jedna z najpiękniejszych i najcenniejszych ulic Warszawy. Jest wizytówką stolicy, która nie tylko łączy elementy historii, tradycji czy kultury, ale i cieszy oko każdego przechodnia swym wyglądem. A ten wygląd wraz z upływem lat zmieniał się niejednokrotnie. Rewitalizacja Krakowskiego Przedmieścia (wykonana przez konsorcjum, którego liderem był Mostostal Warszawa S.A.) przywróciła piękno i szyk części Traktu Królewskiego, przenosząc nas tym samym do czasów z obrazów Canaletta (fot. 1 i 2).

Szczególnym zadaniem w przeprowadzonej rewitalizacji była przebudowa dotychczasowej nawierzchni asfaltowej na nową z kostki kamiennej. Specjalnie w tym celu sprowadzono z Chin jasno-beżowy granit, imitujący kolor nawierzchni z XVIII wieku. Użyto także granitu szwedzkiego vanga (ciemno-czerwonego) oraz szarego granitu ze Strzegomia. Granity zastosowano w różnych kompozycjach na przeje-

ściach dla pieszych, chodnikach oraz placach. Przebudowa ulicy objęła: rozbiórkę, budowę nowej nawierzchni drogowej i ciągów pieszych wraz z odwodnieniem i doprowadzeniem wody do wybranych punktów, urządzenie zieleni, przebudowę instalacji elektrycznych i oświetlenia oraz aranżację elementów wyposażenia.



Fot. 1. Kopia obrazu Canaletta – Krakowskie Przedmieście od Nowego Świata (źródło: www.wikipedia.org)