

Effect of aging on selected properties of bituminous binders

Wpływ starzenia na wybrane właściwości lepiszczy asfaltowych

DOI: 10.15199/62.2017.4.1

Two com. bitumens were aged at 163–240°C for 120–360 min and studied for breaking temp. and dynamic viscosity. The operational temps. of both bitumens increased after the aging. The polymer-modified bitumen showed lower aging index than the paving bitumen.

Przedstawiono wyniki badań właściwości asfaltów poddanych starzeniu metodą obrotowej kolby RFT (*rotating flask test*). Badaniom poddano asfalt drogowy 35/50 oraz asfalt PMB 25/55-60 modyfikowany kopolimerem SBS (styren-butadien-styren). Starzenie asfaltów poddanych działaniu podwyższonej temperatury oceniano na podstawie zmian temperatury łamliwości Fraassa i lepkości dynamicznej w funkcji czasu. W wyniku badań stwierdzono zmiany temperatury łamliwości oraz lepkości asfaltów większe dla asfaltu 35/50 niż dla asfaltu modyfikowanego PMB 25/55-60. Zmiany te były tym większe, im wyższa była temperatura i im dłuższy był czas starzenia. Starzenie asfaltów spowodowało również wzrost temperatury otaczania, pompowania i zagęszczania mieszanki mineralno-asfaltowej. Wnioski z badań mają zastosowanie głównie w operacjach technologicznych przedsiębiorstw drogowych.

Każda nawierzchnia asfaltowa podlega działaniu czynników zewnętrznych. Jednym z nich jest wysoka temperatura. Jej oddziaływanie występuje już w czasie mieszania lepiszcza asfaltowego z kruszywem w instalacjach przedsiębiorstw drogowych (otaczarniach). Dość często obserwowane później problemy z trwałością nawierzchni asfaltowych związane są m.in. ze zmianami właściwości asfaltów spowodowanymi nadmiernym starzeniem w warunkach zbyt wysokiej temperatury w otaczarni. Znajomość procesu starzenia asfaltów jest zatem istotnym elementem ułatwiającym zarówno ocenę właściwości eksploatacyjnych wyrobów asfaltowych, jak również analizę i ocenę technologii ich zastosowań.

Wśród najistotniejszych rodzajów zniszczeń nawierzchni związanych z nadmiernym starzeniem lepiszcza można wymienić te związane z „przesztywnieniem” warstw nawierzchni (spękania oraz wykruszenia mieszanki na skutek działania wody i mrozu)¹⁾. W celu uniknięcia takich problemów Orlen Asphalt publikuje od 2007 r. zalecenia dla użytkowników asfaltów, z podaniem bezpiecznych zakresów temperatury dla mieszanek asfaltowych, zapewniających jakość nawierzchni w późniejszym okresie²⁾. Zalecenia takie publikowane są dla klientów firmy w językach polskim, angielskim, rosyjskim i rumuńskim.

W procesie starzenia asfaltów wywołanego oddziaływaniem temperatury można wyróżnić dwa odrębne mechanizmy. Podstawowy typ starzenia polega na zmianach w strukturze chemicznej lepiszcza i ma znaczący wpływ na jego właściwości reologiczne. Najważniejszymi procesami występującymi w tym typie starzenia są utlenianie, utrata lotnych składników olejowych (odparowanie) oraz migracja składników olejowych z asfaltu do ziaren kruszywa („pocenie”). Drugim mechanizmem starzenia asfaltów jest ztwardnienie fizyczne



Dr Blandyna OSOWIECKA w roku 1969 ukończyła studia na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Jest adiunktem w Instytucie Chemii Politechniki Warszawskiej Filii w Płocku. Specjalność – chemia i technologia polimerów.

* Autor do korespondencji:

Instytut Chemii, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii, Politechnika Warszawska, ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock, tel.: (24) 367-22-44, fax: (24) 232-36-91, e-mail: Blandyna.Osowiecka@pw.edu.pl

Prof. dr hab. inż. Janusz ZIELIŃSKI – biografię i fotografię Autora drukujemy w bieżącym numerze na str. 705.



Dr inż. Krzysztof BŁĄŻEJOWSKI w roku 1992 ukończył studia na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. W 2008 r. uzyskał stopień doktora na Wydziale Budownictwa Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Jest dyrektorem działu badań i rozwoju w ORLEN Asphalt Sp. z o.o. w Płocku. Specjalność – budownictwo drogowe, lepiszcza asfaltowe.

następujące w wyniku długotrwałego działania mrozu²). Towarzyszą mu zmiany struktury molekularnej (mikrostruktury) lepiszcza asfaltowego związane z dążeniem do osiągnięcia optymalnego stanu termodynamicznego w określonych warunkach, najczęściej w niskiej temperaturze (poniżej 0°C). Twardnienie fizyczne wywołuje zmiany właściwości reologicznych przy niezmięnionej budowie chemicznej asfaltu. Jest to jedno z najslabiej rozpoznanych procesów fizyczno-chemicznych mających wpływ na cechy fizyczne oraz reologiczne asfaltów^{1, 3}).

Asfalty stosowane w nawierzchniach drogowych są narażone na procesy starzenia podczas ich magazynowania, otaczania kruszywa, transportu mieszanki mineralno-asfaltowej na miejsce wbudowania, układania warstwy asfaltowej, jak również w późniejszym okresie eksploatacji nawierzchni. Kluczowym z punktu widzenia starzenia etapem jest moment mieszania lepiszcza asfaltowego z gorącym kruszywem w otaczarni (produkcja mieszanki mineralno-asfaltowej). Temperatura tego procesu sięga standardowo do 180°C, a zdarza się, że przedsiębiorstwa drogowe podgrzewają mieszankę powyżej 200°C, co powoduje nadmierne starzenie asfaltów na powierzchni ziaren kruszywa. Czas, w którym mieszanka mineralno-asfaltowa ma tak wysoką temperaturę sięga kilku godzin i kończy się dopiero w momencie wystygnięcia zawołanej warstwy na budowie drogi. Z kolei w fazie eksploatacji nawierzchni, która rozciągnięta jest na lata, proces starzenia ulega wyraźnemu spowolnieniu ze względu na stosunkowo niską temperaturę występującą w użytkowanej nawierzchni⁴).

Można wyodrębnić dwa etapy procesu starzenia asfaltów. Pierwszy etap to starzenie krótkoterminowe (tzw. technologiczne), zachodzące podczas produkcji, transportu i układania mieszanki mineralno-asfaltowej; asfalt jest wówczas poddany działaniu podwyższonej temperatury (140–200°C) i tlenu zawartego w powietrzu. Drugi etap to starzenie długoterminowe (tzw. eksploatacyjne), zachodzące w czasie użytkowania nawierzchni, kiedy jej temperatura może wynosić 60–70°C. Jednakże asfalt jest narażony nie tylko na działanie powietrza, lecz również promieniowania słonecznego, wody, środków chemicznych oraz innych czynników o mniejszym znaczeniu^{5, 6}. Wśród czynników mających wpływ na starzenie asfaltów można wymienić właściwości asfaltu i jego zawartość w mieszance mineralno-asfaltowej, rodzaj kruszywa (naturalne, łamane, sztuczne), uziarnienie mieszanki mineralnej, zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej oraz parametry związane z procesami technologicznymi w otaczarni (temperatura, czas). Wszystkie te czynniki działają w tym samym czasie i powodują, że starzenie asfaltów jest procesem bardzo złożonym.

Właściwości asfaltu określane są zatem w zakresie temperatury, który składa się z dwóch stref: strefy eksploatacyjnej i strefy technologicznej. Strefę temperatur eksploatacyjnych w Polsce przyjmuje się od ok. –40°C do ok. 70°C. Strefa temperatury technologicznej obejmuje zakres od ok. 90°C do 220°C.

Najważniejszą rolę w procesie starzenia asfaltu odgrywają reakcje jego składników z tlenem z powietrza. Prowadzą one do utworzenia związków polarnych, wskutek czego zawartość tych związków w lepiszczu ulega zwiększeniu. Powstałe produkty utleniania mogą oddziaływać między sobą oraz wchodzić w reakcje z innymi cząsteczkami polarnymi obecnymi w asfalcie. Szybkość reakcji asfaltu z tlenem wzrasta ze zwiększeniem temperatury, dlatego wszystkie czynności wykonywane w podwyższonej temperaturze

(przygotowanie mieszanki mineralno-asfaltowej, jej transport, układanie) powodują znaczne zmiany w strukturze chemicznej asfaltu. Podczas eksploatacji nawierzchni asfalt znajduje się w temperaturze otoczenia i wtedy jego reakcje z tlenem przebiegają powoli, jednak na tym etapie działanie tlenu jest długotrwałe. Zmianom zachodzącym w strukturze chemicznej lepiszcza podczas jego starzenia spowodowanego działaniem tlenu towarzyszą zmiany składu grupowego⁷. Zawartość składników nasyconych w asfalcie zmienia się nieznacznie podczas starzenia, natomiast zawartość asfaltenów zawsze ulega zwiększeniu. W miarę postępu starzenia następuje zmniejszenie wzajemnych proporcji fazy dyspersyjnej do składników zdyspergowanych w asfalcie, co prowadzi do zmiany jego budowy koloidalnej w kierunku budowy typu żel.

Zmiany w składzie i strukturze chemicznej asfaltu, spowodowane działaniem tlenu, prowadzą do zmiany jego właściwości. Opracowano wiele metod laboratoryjnych służących do ilościowej oceny starzenia asfaltów, zachodzącego zarówno w czasie produkcji oraz w budowywania mieszanki mineralno-asfaltowej, jak i podczas eksploatacji nawierzchni. Symulację starzenia można przyspieszyć w laboratorium poprzez zastosowanie podwyższonej temperatury, zmniejszonej grubości warstwy asfaltu, podwyższonego ciśnienia tlenu lub poprzez kombinację powyższych zabiegów^{2, 8}). Do oceny starzenia krótkoterminowego (technologicznego) najczęściej wykorzystywane są TFOT (*thin film oven test*) oraz RTFOT (*rolling thin film oven test*)^{9, 10}). Obie metody mają na celu postarzenie asfaltu i wywołanie zmian jego właściwości zbliżonych do zmian zachodzących w warunkach rzeczywistych, jakie występują w mieszalniku wytwórni mieszanki mineralno-asfaltowych przy temperaturze nieprzekraczającej 163°C.

Asfalty poddane starzeniu wykazują istotne zmiany właściwości mechanicznych oraz struktury chemicznej. Dlatego efekt starzenia można oceniać zarówno poprzez badania cech reologicznych, jak i analizę chemiczną. W większości przypadków do oceny starzenia wykorzystuje się wyniki oznaczania standardowych właściwości charakteryzujących konsystencję asfaltów (penetracja, temperatura mięknięcia). Temperatura łamliwości oznaczona metodą Fraassa jest podstawowym parametrem służącym do oceny zachowania asfaltów w niskich temperaturach eksploatacji nawierzchni.

W pracy do oceny starzenia badanych asfaltów wykorzystano wyniki oznaczania temperatury łamliwości oraz lepkości dynamicznej w temp. 60, 90, 135 i 150°C. Jej celem była ocena zmian zachowania asfaltu poddanego starzeniu krótkoterminowemu w symulowanych warunkach przegrzania w otaczarni podczas produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej.

Część doświadczalna

Materiały

Badaniom poddano asfalt 35/50 oraz asfalt modyfikowany PMB 25/55-60 prod. Orlen Asphalt Sp. z o.o.

Metodyka badań

Każdą próbkę poddano symulowanemu starzeniu technologicznemu z zastosowaniem metody laboratoryjnej wirującej kolby RFT, wg normy¹¹). Badanie polegało na kontrolowanym wygrzewaniu i napowietrzaniu próbki asfaltu w specjalnej kolbie w wyparce obrotowej w temp. 163, 200, 220 i 240°C przez 120, 180, 240 oraz 360 min.

Badania laboratoryjne przeprowadzono na próbkach postarzonych oraz na próbkach, których nie poddano starzeniu. Przeprowadzono pomiary temperatury łamliwości Fraassa wg normy¹²) oraz lepkości dynamicznej w temp. 60, 90, 135 i 150°C zgodnie z normą¹³) przy użyciu reometru rotacyjnego prod. Haake GmbH, typ Rheotest RN 3.1.

Na podstawie oznaczonej lepkości w temp. 60°C wyznaczono indeks starzenia *VAI* (*viscosity aging index*), wg wzoru (1):



Mgr inż. Marta WÓJCIK-WIŚNIEWSKA w roku 2011 ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Obecnie jest specjalistą w dziale badań i rozwoju w ORLEN Asphalt Sp. z o.o. w Płocku. Specjalność – chemia organiczna.

$$VAI = \eta_{60}^{aged} / \eta_{60} \quad (1)$$

Table 1. Properties of paving grade bitumen 35/50 before and after aging

Tabela 1. Właściwości asfaltu 35/50 przed i po starzeniu

Temperatura starzenia, °C	Czas starzenia, min	Temperatura łamliwości, °C	Indeks starzenia	Lepkość, Pa·s			
				60°C	90°C	135°C	150°C
Asfalt przed starzeniem		-13,0	-	705	18,47	0,835	0,377
163	120	-9,0	1,758	1239	26,99	1,038	0,448
	180	-9,5	2,358	1662	31,85	1,274	0,560
	240	-8,0	2,934	206	36,80	1,341	0,582
	360	-8,0	4,622	3258	50,18	1,949	0,867
200	120	-9,0	3,534	2491	42,48	1,582	0,668
	180	-7,5	5,724	4035	55,45	1,923	0,799
	240	-7,5	6,902	4866	65,90	2,400	1,005
	360	-5,0	19,00	13400	2639	3,938	1,566
220	120	-7,0	5,387	3798	54,04	1,883	0,792
	180	-8,0	12,70	8958	807	3,213	1,320
	240	-5,0	18,58	13100	3060	4,265	1,722
	360	-3,0	248	175000	1558	11,99	4,711
240	120	-8,0	7,718	5441	70,87	2,709	1,138
	180	-6,5	40,42	28500	560	6,198	2,410
	240	-4,0	53,04	37400	689	7,717	3,024
	360	0,5	1418	1000000	5537	27,24	10,13

Table 2. Properties of polymer modified bitumen 25/55-60 before and after aging

Tabela 2. Właściwości asfaltu modyfikowanego 25/55-60 przed i po starzeniu

Temperatura starzenia, °C	Czas starzenia, min	Temperatura łamliwości, °C	Indeks starzenia	Lepkość, Pa·s			
				60°C	90°C	135°C	150°C
Asfalt przed starzeniem		-18,0	-	2815	41,75	2,489	1,158
163	120	-14,0	1,453	4092	56,75	3,271	1,413
	180	-10,0	1,571	4424	51,87	3,767	1,650
	240	-11,0	1,638	4612	48,70	3,897	1,711
	360	-11,5	3,653	10286	343,5	5,119	2,222
200	120	-13,0	1,615	4548,	64,75	3,328	1,463
	180	-12,5	2,958	8330	277,3	4,952	2,118
	240	-9,0	2,362	6650	272,2	6,011	2,593
	360	-7,0	24,04	67700	1425	10,86	5,006
220	120	-11,0	2,515	7083	215,5	4,018	1,664
	180	-7,0	7,955	22400	568,7	7,152	3,049
	240	-7,0	13,28	37400	904,6	9,255	3,949
	360	-5,5	260	734522	4113	21,61	8,907
240	120	-8,0	3,370	9490	265	4,473	1,899
	180	-7,5	39,20	110392	1685	12,21	5,371
	240	-3,0	141	399480	2766	16,84	7,615
	360	1,0	703	1980000	7112,	25,69	22,00

w którym η_{60}^{aged} oznacza lepkość dynamiczną próbek asfaltu poddanego starzeniu oznaczoną w temp. 60°C, a η_{60} lepkość dynamiczną próbki asfaltu przed starzeniem oznaczoną w temp. 60°C.

Omówienie wyników

Wyniki badań przedstawiono w tabelach 1 i 2 oraz na rys. 1 i 2.

Temperatury łamliwości asfaltów poddanych starzeniu w temp. 200°C i wyższej były wyższe w porównaniu z próbkami wyjściowymi. Wzrost temperatury łamliwości był tym większy, im wyższa była temperatura i dłuższy czas starzenia. W wyniku starzenia w najbardziej niekorzystnych warunkach (temp. 240°C, czas 360 min) temperatura łamliwości asfaltu 35/50 wzrosła mniej niż asfaltu modyfikowanego w stosunku do asfaltów przed starzeniem. W innych badaniach przeprowadzonych przez Orlen Asfalt metodą TFOT⁽¹⁰⁾ uzyskano wyniki wskazujące jednak na lepszą odporność asfaltu modyfikowanego polimerami. Można zatem wnioskować, że różnicowanie wyników ma związek z metodami badawczymi, w których w różny sposób przetwarzana jest próbka lepiszcza.

Ustalono, że efektem starzenia był wzrost lepkości dynamicznej asfaltów, największy w temp. pomiaru 60°C. Wzrost lepkości dynamicznej w temp. 60°C (temperatura eksploatacji) był korzystny, ponieważ zwiększała się odporność nawierzchni na odkształcenia (koleinowanie). Mniejszy wpływ starzenia na zmiany lepkości stwierdzono w temperaturze pomiaru większej niż 90°C. Odwrotnie niż w przypadku temperatury łamliwości, lepkość dynamiczna asfaltu 35/50 po starzeniu była znacznie większa niż asfaltu modyfikowanego. Wyniki wykazały więc, że lepkość jest cechą asfaltów bardziej wrażliwą na starzenie niż temperatura łamliwości.

Indeks starzenia *VAI* (który jest miarą zmiany lepkości asfaltu po starzeniu) wzrastał ze wzrostem temperatury i czasu starzenia (tabela 1 i 2). Indeks *VAI* asfaltu 35/50 po starzeniu w temp. 240°C przez 360 min był dwukrotnie większy od indeksu *VAI* asfaltu modyfikowanego w tych samych warunkach. Standardowo dla asfaltów starzonych w 163°C wartość *VAI* mieściła się w granicach 1,8–2,5, co oznaczało ok. 2-krotny wzrost lepkości w porównaniu z lepkością asfaltu przed starzeniem.

Wyniki badań wykazały, że w temp. starzenia 163°C czas starzenia w całym badanym zakresie miał niewielki wpływ na zmianę temperatury łamliwości oraz indeksu starzenia. W temp. starzenia 200°C czas starzenia (120, 180 i 240 min) miał również niewielki wpływ na zmianę właściwości asfaltu 35/50, a zmiany były porównywalne. Zmianę właściwości asfaltu stwierdzono dopiero po starzeniu przez 360 min, a asfaltu modyfikowanego po starzeniu przez 240 i 360 min. W temp. starzenia 220 i 240°C zmiany temperatury łamliwości oraz lepkości asfaltów starzonych przez 120 i 180 min były porównywalne, ale po starzeniu przez 240 i 360 min nastąpiły zarówno jakościowe asfaltu 35/50, jak i asfaltu modyfikowanego.

Można przyjąć, że porównywalne efekty starzenia, wyrażone zmianą temperatury łamliwości, jak i lepkości dynamicznej, osiągnęto prowadząc starzenie w temp. 163°C przez 120, 180, 240 oraz 360 min, a także w temp. 200°C, przez 120, 180 oraz 240 min. W temp. 220 i 240°C zmiany te były większe i zależały od czasu starzenia.

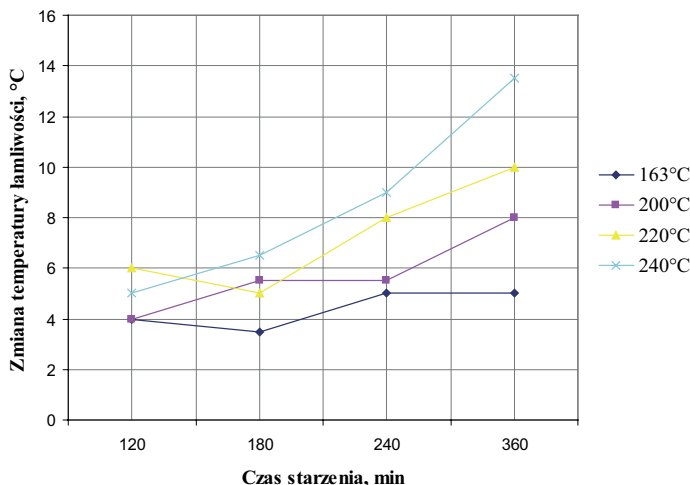


Fig. 1. Change in breaking point of bitumen 35/50 after aging

Rys. 1. Zmiana temperatury łamliwości asfaltu 35/50 po starzeniu

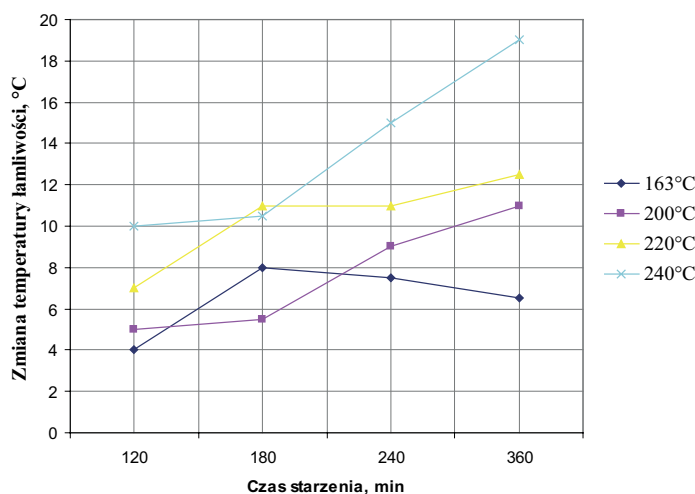


Fig. 2. Change in breaking point of bitumen 25/55-60 after aging

Rys. 2. Zmiana temperatury łamliwości asfaltu modyfikowanego 25/55-60 po starzeniu

Podsumowanie i wnioski

Sprawdzano skutki działania nadmiernie wysokiej temperatury mieszanek mineralno-asfaltowych podczas procesu produkcji w otaczarni, transportu i w budowania na odcinku drogowym. Efektem przegrzania mieszanek jest starzenie asfaltów. Poprzez zastosowanie metody RFT, która symulowała warunki starzenia technologicznego, uzyskano wzrost temperatury łamliwości, wzrost lepkości dynamicznej (szczególnie w temp. 60°C) oraz wzrost indeksu starzenia.

Porównywalne efekty starzenia asfaltów, niezależne od czasu starzenia, osiągnięto prowadząc starzenie w temp. 163 i 200°C. Oznacza to, że do temp. 180–200°C następuje umiarkowane starzenie lepkości asfaltowych, nie zagrażające jakości nawierzchni asfaltowych. Po starzeniu w temp. 220 i 240°C stwierdzono znaczące zmiany zarówno w przypadku temperatury łamliwości, jak i lepkości dynamicznej asfaltów, tym większe, im dłuższy był czas starzenia.

Na podstawie przeprowadzonych badań możliwe było wskazanie maksymalnych czasów oddziaływania wysokiej temperatury na asfalt, podczas których właściwości asfaltu pozostają poprawne, nie zmieniają się w czasie. Wykazano, że badane asfalty w temp. 163°C zachowują stabilne właściwości w czasie do 360 min (maksymalny czas badania) i można uznać tę temperaturę za całkowicie bezpieczną z punktu widzenia jakości nawierzchni. Wykazano również, że asfalt 35/50 w temp. 200°C nie zmienia właściwości w czasie nieprzekraczającym 240 min, a asfalt PMB 25/55-60 w czasie nie dłuższym niż 180 min, a zatem zalecane jest ograniczenie czasu od produkcji w otaczarni do w budowania do 3 h. Asfalty 35/50 i PMB 25/55-60 w temp. 220 i 240°C zachowują stabilne właściwości w czasie nie dłuższym niż 180 min. Nie należy przetrzymywać wyprodukowanej mieszanki w silosie w otaczarni zbyt długo, a skrócenie procesu produkcji, dostawy i w budowania mieszanki jest ze wszech miar pożądane.

Zgodnie z najnowszymi trendami w technologiach nawierzchni asfaltowych, zalecane jest stosowanie technik „na ciepło” z obniżoną temperaturą technologiczną o ok 30°C w stosunku do klasycznych technologii „na gorąco”. Pozwoli to uniknąć problemów z przegrzaniem lepkości asfaltowych i w konsekwencji nadmiernego ich starzenia. Bez wątpienia, oprócz korzyści środowiskowych, przyniesie to także korzyści jakościowe, ponieważ starzenie asfaltów nie będzie zachodziło w tak dużym stopniu.

Otrzymano: 20-12-2016

LITERATURA

- [1] X. Lu, U. Isacson, *Constr. Build. Mater.* 2002, **16**, 15.
- [2] K. Błażejowski, M. Wójcik-Wiśniewska, *Poradnik asfaltowy*, Orlen Asfalt Sp. z o.o., Płock 2016.
- [3] X. Lu, U. Isacson, *Constr. Build. Mater.* 2000, **14**, 79.
- [4] X. Lu, U. Isacson, *Fuel* 1998, **77**, nr 9/10, 961.
- [5] D. Whiteoak, *The Shell bitumen handbook*, Shell Bitumen UK, Surrey 1990.
- [6] K. Błażejowski, S. Styk, *Technologia warstw bitumicznych*, WKŁ, Warszawa 2000.
- [7] M. Lin, J.M. Chalfin, R.R. Davison, J.C. Glover, J.A. Bullin, *Transportation Res. Record* 1998, nr 1638, 40.
- [8] J. Piłat, P. Radziszewski, *Nawierzchnie asfaltowe*, WKŁ, Warszawa 2004.
- [9] I. Gaweł, *Mat. I Międzynar. Konf. Nauk.-Techn. „Nowoczesne technologie w budownictwie drogowym”*, Poznań 1998, 82.
- [10] M. Kalabińska, J. Piłat, P. Radziszewski, *Drogi Mosty* 2002, nr 4, 57.
- [11] PN-EN 12607-3:2014-12, *Asfalty i lepkości asfaltowe. Oznaczanie odporności na starzenie pod wpływem ciepła i powietrza. Cz. 3. Metoda RFT.*
- [12] PN-EN 12593:2015-08, *Asfalty i lepkości asfaltowe. Oznaczanie temperatury łamliwości metodą Fraassa.*
- [13] PN-EN 13302:2011, *Asfalty i lepkości asfaltowe. Oznaczanie lepkości dynamicznej lepkości asfaltowych lepkościomierzem obrotowym.*

www.przemchem.pl