

Krzysztof KOŁODZIEJ¹
Lesław BICHAJŁO²

WPŁYW DODATKU ASFALTU NATURALNEGO TE NA STARZENIE MIESZANKI ASFALTU LANEGO

Starzenie mieszanek-mineralno asfaltowych jest procesem nierozzerwalnie związanym z ich produkcją oraz eksploatacją. Duży wpływ starzenia uwiadacznia się w trakcie produkcji MMA i rzutuje na jej właściwości. W referacie przedstawiono wyniki badań własnych wpływu starzenia na właściwości asfaltu lanego. Ocenie poddano wpływ niektórych czynników (temperatury starzenia oraz dodatku asfaltu naturalnego TE) na odporność na deformacje trwałe tej mieszanki. Uzyskane wyniki poddano również analizie statystycznej w celu określenia istotności wpływu danego czynnika. Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają stwierdzić, że asfalt naturalny TE ma pozytywny wpływ na zmniejszenie negatywnych skutków starzenia krótkoterminowego MMA. Mieszanki z tym dodatkiem wykazują mniejsze utwardzenie niż w przypadku mieszanek bez tego dodatku.

Słowa kluczowe: starzenie krótkoterminowe, asfalt lany, asfalt naturalny TE

1. Wstęp

Lepiszczce asfaltowe jest materiałem spajającym kruszywo w mieszankach mineralno-asfaltowych. W głównej mierze od jego właściwości zależy trwałość nawierzchni. Właściwości te są zmienne w czasie: pod wpływem czynników zewnętrznych zmienia się skład oraz struktura chemiczna asfaltu. Konsekwencją tego zjawiska jest skrócenie czasu eksploatacji nawierzchni [5]. Proces zmian zachodzących w strukturze wewnętrznej asfaltu jest nazywany starzeniem. Na ten mechanizm składa się odparowanie lżejszych cząstek, utlenianie oraz twardnienie fizyczne. Pierwsze dwa czynniki wpływają na zmiany w strukturze samego asfaltu, natomiast twardnienie fizyczne powoduje reorganizację cząsteczek i jest zjawiskiem odwracalnym [4]. Starzenie asfaltu zachodzi już od momentu jego wytworzenia, przy czym intensywność tego procesu zmienia się w czasie.

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Krzysztof Kołodziej, Politechnika Rzeszowska, Zakład Dróg i Mostów, 35-959 Rzeszów, 177432393, krzych@prz.edu.pl

² Lesław Bichajło, Politechnika Rzeszowska, Zakład Dróg i Mostów, 35-959 Rzeszów, 17 7432396, leszbich@prz.edu.pl

Najbardziej intensywne jest ono w momencie mieszania lepiszcza i gorącego kruszywa. Efektem starzenia jest utwardzenie asfaltu powodujące zwiększenie jego kruchości oraz wzrost podatności na spękania [9].

Starzenie można podzielić na 2 etapy:

1. starzenie krótkotrwałe (technologiczne, krótkoterminowe) - zachodzi podczas mieszania, transportu oraz układania mieszanki mineralno-asfaltowej. Asfalt poddawany jest działaniu wysokiej temperatury przez krótki okres czasu. Mieszanie asfaltu powoduje, że cienka błonka asfaltu ma kontakt z tlenem z powietrza. Duża powierzchnia kontaktu oraz wysoka temperatura podczas mieszania powoduje znaczną intensyfikację tego procesu. Na tym etapie zachodzą procesy utleniania lepiszcza oraz odparowanie frakcji olejowych.
2. starzenie długotrwałe (eksploatacyjne, długoterminowe) – jest to długotrwały proces zachodzący podczas eksploatacji nawierzchni. Na lepiszcze oprócz tlenu atmosferycznego oddziałują również promienie UV, substancje zawarte w wodzie opadowej oraz środki stosowane do odładzania nawierzchni w okresie zimowym. Intensywność tego procesu zależy od rodzaju lepiszcza, zawartości wolnych przestrzeni w warstwie nawierzchni oraz zawartości asfaltu w MMA [2].

Na podstawie studiów literatury [3, 5, 6] można wyróżnić czynniki mające największy wpływ na szybkość starzenia krótkoterminowego. Zestawienie to przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Czynniki mające wpływ na starzenie krótkoterminowe

Table 1. Factors affecting the short-term aging

Czynnik	Wpływ na starzenie
Rodzaj kruszywa w MMA	Absorpcja oleistych frakcji asfaltu zwiększa utwardzenie lepiszcza. Z drugiej strony adsorpcja grup polarnych z lepiszcza może łagodzić ten efekt, co jest szczególnie widoczne z przy zastosowaniu wapna hydratyzowanego.
Grubość otoczki asfaltowej	Większa grubość błonki lepiszcza powoduje zmniejszenie efektów starzenia. Ponadto większa jej grubość może wpłynąć na zmniejszenie reakcji zachodzących na granicy faz asfalt-kruszywo.
Rodzaj asfaltu	Twarde asfalty drogowe są mniej wrażliwe na utlenianie w trakcie procesu starzenia. Wiąże się to z większym stopniem utlenienia podczas produkcji.
Temperatura mieszania	Zwiększenie temperatury asfaltu znacznie przyspiesza jego utlenianie. Wzrost temperatury o 10 °C powoduje w przybliżeniu dwukrotne zwiększenie szybkości reakcji.
Zawartość wolnych przestrzeni	Duża porowatość mieszanki powoduje lepszy dostęp tlenu do większej powierzchni asfaltu niż w przypadku mieszanek o strukturze zamkniętej.

2. Badania własne

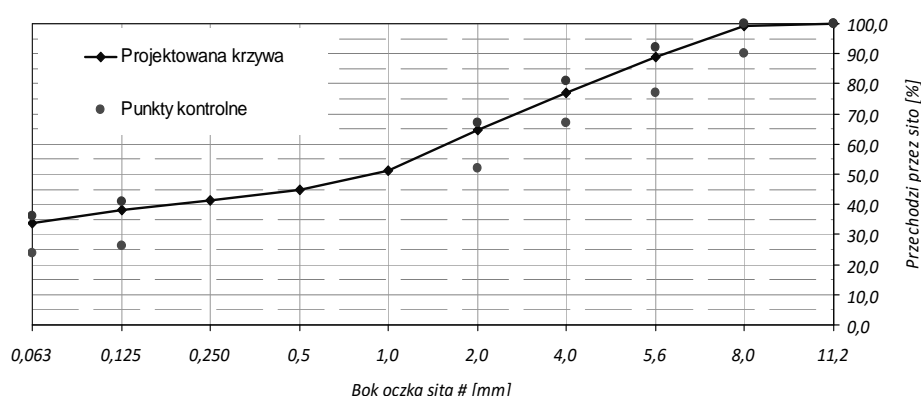
W celu określenia wpływu starzenia do badań przygotowano mieszankę asfaltu lanego MA8 z asfaltem drogowym 35/50 w ilości 7 oraz 8% w stosunku do mieszanki mineralno-asfaltowej oraz z dodatkiem asfaltu naturalnego TE w ilości 0, 10 i 20% w stosunku do masy asfaltu. W tabeli 2 przedstawiono skład mieszanki mineralnej oraz mineralno-asfaltowej, a na rysunku 1 przedstawiono krzywą uziarnienia projektowanej mieszanki.

Tabela 2. Skład mieszanki asfaltu lanego

Table 2. The composition of the mixture of mastic asphalt

Nazwa składnika	Udział w MM [%]	Udział w MMA mieszanka A [%]	Udział w MMA mieszanka B [%]
asfalt 35/50	---	8,0	7,0
mączka wapienna	36,0	33,1	33,5
bazalt 0/2	32,0	29,4	29,8
amfibolit 2/5	21,0	19,3	19,5
amfibolit 5/8	11,0	10,1	10,2

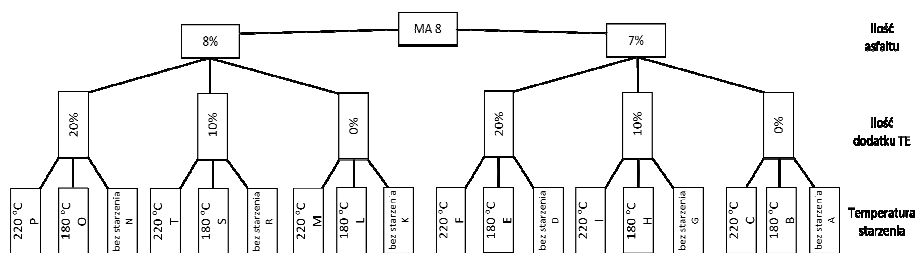
Mieszankę zaprojektowano zgodnie z wytycznymi WT2:2014 [7]. Ilość dodatku asfaltu naturalnego TE przyjęto na podstawie literatury oraz własnych doświadczeń. Mieszankę poddano starzeniu technologicznemu na podstawie procedury AASHTO R30 „Standard Practice For Mixture Conditioning Of Hot Mix Asphalt” [1]. W tej metodzie luźną mieszankę mineralno-asfaltową rozkłada się na metalowej tacy w warstwie grubości 25-50 mm, a następnie umieszcza się w suszarce z wymuszonym obiegiem powietrza na 4 godziny. Temperatura mieszanki w trakcie starzenia powinna wynosić $135 \pm 3^\circ\text{C}$, a mieszankę należy mieszać co godzinę w celu zapewnienia jednakowych warunków starzenia w całej jej objętości.



Rys. 1. Krzywa uziarnienia projektowanej mieszanki

Fig. 1. Aggregate mix gradations for mastic asphalt

Procedurę tę zmodyfikowano dostosowując ją do specyfiki asfaltu lanego. Według wytycznych WT2:2014 [7] temperatura mieszanki asfaltu lanego powinna wynosić od 200°C (dostarczonej na budowę) do 230°C (bezpośrednio po wytworzeniu). Ustalono wartości temperatur symulowanego starzenia na 180 oraz 220°C jako temperatury dostarczania mieszanki na budowę z uwzględnieniem jej obniżenia dla lepiszcza z dodatkiem TE. Następnie próbki były badane na odporność na deformacje trwałe zgodnie z normą PN-EN 12697-20. Mieszanka była przez godzinę wygrzewana w temperaturze 220°C, po czym formowano próbki oraz przeprowadzono badanie penetracji. Łącznie przeprowadzono badania 18 wariantów mieszanki. Na rysunku 2 pokazano plan badań oraz oznaczenia próbek. Jako wynik przyjęto średnią z 6 prób (lub 5, jeżeli jeden z wyników odstawał za bardzo od pozostałych). W tabelach 3, 4 i 5 przedstawiono wyniki badania penetracji po 30 minutach, po 60 minutach oraz przyrost penetracji między 30 a 60 minutą badania.



Rys. 2. Plan badań oraz oznaczenie próbek

Fig. 2. Tests plan and sample symbol

Tabela 3. Zależność penetracji asfaltu lanego po 30 minutach od warunków starzenia

Table 3. The dependence of indentation of mastic asphalt after 30 minutes of the aging conditions

Temperatura starzenia	7% asfaltu			8% asfaltu		
	0 %TE	10 %TE	20 %TE	0 %TE	10 %TE	20 %TE
niestarzone	1,56	0,84	0,44	3,79	2,58	1,29
180°C	0,82	0,66	0,52	3,06	1,79	1,54
220°C	0,53	0,46	0,42	2,80	1,57	1,15

Tabela 4. Zależność penetracji asfaltu lanego po 60 minutach od warunków starzenia

Table 4. The dependence of indentation of mastic asphalt after 60 minutes of the aging conditions

Temperatura starzenia	7% asfaltu			8% asfaltu		
	0 %TE	10 %TE	20 %TE	0 %TE	10 %TE	20 %TE
niestarzone	1,76	0,92	0,47	4,50	3,03	1,45
180°C	0,90	0,72	0,57	3,54	2,08	1,77
220°C	0,57	0,49	0,45	3,31	1,80	1,29

Tabela 5. Zależność przyrostu penetracji asfaltu lanego od warunków starzenia

Table 5. The dependence of increase indentation of mastic asphalt of the aging conditions

Temperatura starzenia	7% asfaltu			8% asfaltu		
	0 % TE	10 % TE	20 % TE	0 % TE	10 % TE	20 % TE
niestarzone	0,20	0,08	0,03	0,71	0,45	0,16
180 °C	0,08	0,06	0,05	0,48	0,29	0,23
220 °C	0,04	0,03	0,03	0,51	0,23	0,14

Wyniki pokazują różnice w wartościach penetracji mieszanki asfaltu lanego w zależności od temperatury starzenia, zawartości asfaltu jak i ilości dodatku asfaltu naturalnego TE. Biorąc pod uwagę informacje zawarte w tabeli 1 oraz temat pracy wyodrębniono czynniki mające wpływ na intensywność starzenia: ilość asfaltu, ilość dodatku TE oraz temperatura starzenia MMA. W celu oszacowania wpływu starzenia krótkoterminowego zastosowano indeks starzenia, zaproponowany w pracy [8], określający spadek lub wzrost wartości penetracji w zależności od temperatury starzenia. Określa się go wzorem:

$$IS = \frac{I_{180,220}}{I_{40}} \quad (1)$$

gdzie:

IS – indeks starzenia,

$I_{180,220}$ – penetracja po starzeniu w temperaturze 180°C lub 220°C,

I_{40} – penetracja mieszanki niestarzonej.

Wartość indeksu penetracji większa od 1 wskazuje na „upłynnienie” mieszanki, natomiast wartość poniżej 1 na jej utwardzenie.

W tabeli 6 pokazano wpływ temperatury na wartość penetracji w zależności od ilości dodatku TE. Zgodnie z oczekiwaniem pod wpływem wysokiej temperatury mieszanka utwardza się. Zjawisko to jest większe dla mieszanki z 7% zawartością asfaltu niż dla mieszanki z 8% asfaltu. Wpływa na to prawdopodobnie mniejsza grubość błonki asfaltu otaczająca ziarna kruszywa. W przypadku mieszanki z 7% asfaltu wzrost temperatury powoduje utwardzenie mieszanki

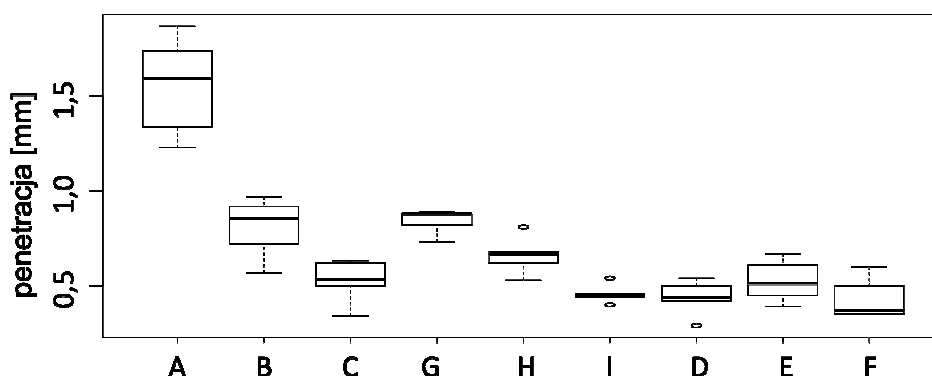
Tabela 6. Wartość indeksu starzenia badanych mieszanek

Table 6. Value of aging index tested specimen

Temperatura starzenia	7% asfaltu			8% asfaltu		
	0%	10%	20%	0%	10%	20%
niestarzone	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
180°C	0,53	0,79	1,18	0,81	0,69	1,19
220°C	0,34	0,55	0,95	0,74	0,61	0,89

w stosunku do mieszanki niestarzanej, przy czym wyjątek stanowi mieszanka z 20% dodatkiem TE, dla której w 180°C zachodzi upłynnienie, a w 220°C utwardzenie. Indeks starzenia mieszanki z 8% z dodatkiem TE jest większy niż w przypadku mieszanki 7% z dodatkiem TE, co świadczy o lepszej odporności tej mieszanki na starzenie. Dodatek 10% asfaltu naturalnego TE powoduje w tym przypadku większe starzenie mieszanki niż bez niego, a więc przeciwne zachowanie w stosunku do analogicznej mieszanki z 7% zawartością asfaltu drogowego. Przy 20% ilości dodatku TE mieszanka zachowuje się podobnie do mieszanki z 7% zawartością asfaltu – ze wzrostem temperatury następuje jej upłynnienie, a następnie utwardzenie. W celu oceny wpływu temperatury na wartość starzenia mieszanki dokonano statystycznej oceny wyników badań. Na rysunku 3 przedstawiono wykresy pudełkowe uzyskanych wyników badań dla mieszanki asfaltu lanego zawierającej 7% lepiszcza. Z rysunku 3 wynika duży wpływ temperatury na wartość starzenia mieszanek bez dodatku asfaltu naturalnego oraz z dodatkiem asfaltu naturalnego w ilości 10%. Wyniki dla 20% dodatku asfaltu naturalnego TE mogą sugerować, że wpływ tego dodatku może być nieistotny (różnica między średnimi wartościami mieści się w dopuszczalnym rozrzucie wyników wg normy [10]). W celu sprawdzenia tej wątpliwości posłużono się testem ANOVA. Rozkład wyników próbek w badanych grupach powinien być rozkładem normalnym, założenie to sprawdzono testem Shapiro-Wilka. Jest on odpowiedni dla grup o małej liczności ($3 \leq n \leq 50$).

Dla badanych próbek otrzymano rozkład normalny wyników, za wyjątkiem próbki F. Analiza równości wariancji wykazała, że grupy próbek mają jednorodną wariancję w obrębie grup, stąd do dalszych obliczeń zastosowano test ANOVA. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 7. Z analizy powyższej tabeli można wywnioskować, że w przypadku mieszanki bez dodatku asfaltu naturalnego oraz z ilością 10% temperatura ma istotny wpływ na starzenie tych mieszanek. W przypadku 20% dodatku nie można stwierdzić występowania różnic między badanymi grupami. Wpływ temperatury, jeżeli jest, ze statystycznego punktu widzenia nie jest istotny.



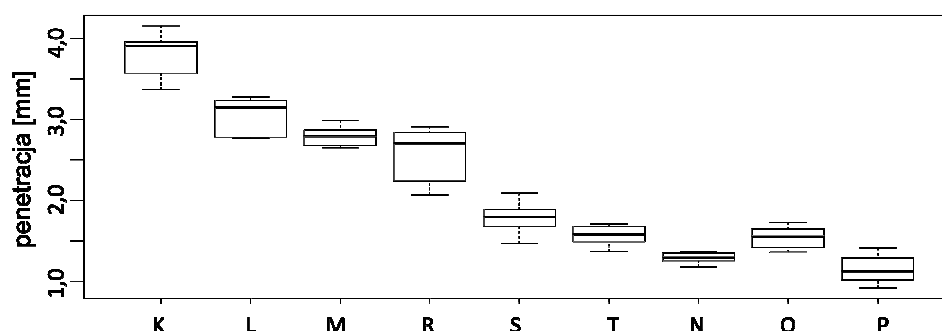
Rys. 3. Wykres pudełkowy do oceny wpływu temperatury na starzenie próbek z 7% asfaltu

Fig. 3. Box-plot for evaluating of temperature influence on the aging mastic asphalt with 7% bitumen

Tabela 7. Ocena istotności wpływu temperatury na starzenie mieszanki MA z 7% asfaltu

Table 7. Assessment of the significance of the effect of temperature on the aging of MA of 7% asphalt

Próbka	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Liczność próby	6	6	6	6	6	6	5	6	5
Test Saphi-ro-Wilka na normalność rozkładu	W=0,964, p=0,848 TAK	W=0,927, p=0,557 TAK	W=0,894, p=0,339 TAK	W=0,933, p=0,601 TAK	W=0,975, p=0,922 TAK	W=0,779, p=0,038 NIE	W=0,802, p=0,084 TAK	W=0,943, p=0,681 TAK	W=0,914, p=0,493 TAK
Test na równość wariancji	K=3,1054 p=0,2117 Wariancje są równe			F=0,3795 p=0,6906 Wariancje są równe			K=1,29 p=0,5247 Wariancje są równe		
Różnice między grupami	F=56,266 p=1,068e-07 grupy różnią się między sobą			F=1,828 p=0,195 brak różnic między grupami			F=33,852 p=7,011e-07 grupy różnią się między sobą		



Rys. 4. Wykres pudełkowy do oceny wpływu temperatury na starzenie próbek z 8% asfaltu

Fig. 4. Box-plot for evaluating of temperature influence on the aging mastic asphalt with 8% bitumen

Podobną analizę przeprowadzono dla mieszanki z zawartością 8%. Wyniki przedstawiono na rysunku 4 oraz w tabeli 8. Wyniki te są zgodne z wynikami dla 7% zawartości asfaltu. W przypadku 20% ilości dodatku TE wpływ temperatury jest istotny statystycznie, w przeciwieństwie do wcześniejszej rozpatrywanej mieszanki. Mieszanka z 7% zawartością asfaltu jest bardziej sztywna i dodatkowe utwardzenie pochodzące od starzenia lepiszcza nie zmienia znacząco wartości zagłębienia stempla. Równie ważnym parametrem jak penetracja po 30 minutach badania, jest przyrost penetracji po kolejnych 30 minutach. W przypadku mieszanki z 7% zawartością asfaltu bez dodatku asfaltu naturalnego następuje

Tabela 8. Ocena istotności wpływu temperatury na starzenie mieszanek MA z 8% asfaltu

Table 8. Assessment of the significance of the effect of temperature on the aging of MA of 8% asphalt

Próbka	K	L	M	R	S	T	N	O	P
Liczność próby	5	6	6	6	6	6	6	6	6
Test Saphiro-Wilka na normalność rozkładu	W=0,947, p=0,715 TAK	W=0,812, p=0,074 TAK	W=0,963, p=0,842 TAK	W=0,868, p=0,220 TAK	W=0,992, p=0,993 TAK	W=0,943, p=0,683 TAK	W=0,953, p=0,765 TAK	W=0,958, p=0,802 TAK	W=0,976, p=0,929 TAK
Test na równość wariancji	K=3,2231 p=0,1996 Wariancje są równe			K=4,2621 p=0,1187 Wariancje są równe			K=3,6668 p=0,1599 Wariancje są równe		
Różnice między grupami	F=26,308 p=1,19e-5 grupy różnią się między sobą			F=27,774 p=9,0571e-6 grupy różnią się między sobą			F=12,679 p=0,000597 grupy różnią się między sobą		

zmniejszenie wartości przyrostu penetracji wraz ze wzrostem temperatury starzenia. Dla mieszanki z dodatkiem asfaltu naturalnego różnice między przyrostami penetracji w zależności od ilości dodatku są niewielkie. Natomiast większe różnicowanie widoczne jest dla mieszanki z 8% zawartością asfaltu. Zaobserwowano spadek wartości przyrostu penetracji wraz ze wzrostem ilości dodatku TE. Analizując te dane w aspekcie temperatury starzenia, w przypadku mieszanki bez asfaltu naturalnego nie obserwuje się spadku przyrostu penetracji proporcjonalnego do temperatury starzenia. Największy przyrost ma mieszanka niestarzona, najmniejszy natomiast mieszanka starzona w temperaturze 180°C. W przypadku mieszanki zawierającej 20% dodatku TE największy przyrost penetracji obserwuje się dla temperatury starzenia 180°C, najmniejszy dla temperatury 220°C, podobnie jak w przypadku mieszanki z 7% zawartością asfaltu.

3. Wnioski

- Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić istotny wpływ temperatury oraz dodatku asfaltu naturalnego TE na starzenie mieszanek asfaltu lanego.
- Dodatek asfaltu naturalnego poprawia odporność mieszanki asfaltu lanego na starzenie.
- W przypadku mieszanki z 20% zawartością asfaltu naturalnego zaobserwowano „upłynnienie” mieszanki, co wymaga wyjaśnienia w dodatkowych badaniach.

Literatura

- [1] AASHTO R30 Standard Practice For Mixture Conditioning Of Hot Mix Asphalt.
- [2] Błażejowski K, Styk S.: Technologia warstw asfaltowych, WKŁ, Warszawa 2011.
- [3] E.T. Hagos: The Effect of Aging on Binder Properties of Porous Asphalt Concrete, Delft 2008.
- [4] Fernández-Gómez, W. D., Rondón Quintana, H., Reyes Lizcano, F.: A review of asphalt and asphalt mixture aging., Ingeniería e Investigación. Vol. 33, No. 1. April 2013, pp. 5-12.
- [5] Gawel I., Kalabińska M., Piłat J.: Asfalty drogowe, WKŁ, Warszawa 2014.
- [6] Jiantao Wu: The influence of mineral aggregates and binder volumetrics on bitumen ageing Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy, maj 2009.
- [7] Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne. WT-2 2014, GDDKiA, Warszawa 2014.
- [8] Rozwiązania materiałowo-technologiczne izolacji i nawierzchni obiektów mostowych. Raport końcowy. Opracowanie pod kierunkiem prof. dr hab. inż. P. Radziszewskiego, Politechnika Warszawska 2013.
- [9] Trzaska E.: Laboratoryjne metody badania procesu starzenia lepiszczy asfaltowych, symulujące starzenie technologiczne i eksploatacyjne. NAFTA-GAZ, 2010.
- [10] PN-EN 12697-20 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno asfaltowych na gorąco. Część 20: Badanie twardości (penetracji) na próbkach sześciennych lub próbkach Marshalla.

EFFECT OF NATURAL ASPHALT TLA ON MASTIC ASPHALT AGEING

Summary

The aging of hot mix asphalt is a process inherent in their production and operation. Its great influence is visible during the production of MMA and has an effect on its properties. The paper presents the results of the study the effect of aging on the properties of mastic asphalt. Evaluated the influence of some factors (aging temperature and the addition of natural asphalt TE) resistance to permanent deformation of the mixture. The results were also statistically analyzed to determine the significance of a given factor. Results of this study allow us to conclude that natural asphalt TLA has a positive impact on reducing the negative effects of short-term aging MMA. Mixtures of this addition are less than cure in the case of mixtures, without this additive.

Keywords: short-term aging, mastic asphalt, Trynidad Lake Asphalt

Przesłano do redakcji: 07.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 30.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.80

