

mgr inż. JACEK CZARNECKI¹

WSKAŹNIK RELAKSACJI NAPRĘŻEŃ W PROJEKTOWANIU MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH POROWATYCH

Istotną rolę w mieszance mineralno-asfaltowej porowatej odgrywa lepiszcze bitumiczne. Ze względu na małą powierzchnię styku między ziarnami kruszywa, (a zatem niewielką jego strukturyzacją przez powierzchnię mineralną) oraz wysoką zawartość wolnych przestrzeni (ok. 15÷27%), jest on narażony na działanie o wiele większych naprężeń niż w tradycyjnym betonie asfaltowym. Aby prawidłowo dobrać lepiszcze, które sprosta tym wymaganiom, zbadano kohezję czterech asfaltów drogowych w cienkiej warstwie, w dwóch prędkościach ścinania i szerokim zakresie temperatur. Do badania tego wykorzystano zaadaptowany w tym celu aparat do bezpośredniego ścinania gruntu. Badane lepiszcze poddano ścinaniu między dwoma kamiennymi płytkami. Otrzymane wyniki posłużyły do wyznaczenia wskaźnika relaksacji naprężeń będącego ilorazem wartości kohezji przy wyższej prędkości ścinania do wartości kohezji otrzymanej przy prędkości niższej. Tak wyznaczony wskaźnik relaksacji naprężeń umożliwił ocenę przydatności danego lepiszcza do zastosowania w mieszance mineralno-asfaltowej porowatej.

Słowa kluczowe: kohezja asfaltu, redukcja hałasu, projektowanie mieszanek mineralno – asfaltowych porowatych, wskaźnik relaksacji naprężeń

1. WPROWADZENIE

Gwałtowny wzrost w ostatnich latach, ilości pojazdów poruszających się po polskich drogach oraz często ich niezadowolający stan techniczny, powodują ciągły wzrost hałasu komunikacyjnego. Jego coraz większą uciążliwość odczuwają mieszkańcy dużych aglomeracji, jak również mniejszych miejscowości tranzytowych. W 1999 roku, najwyższy poziom hałasu w ciągu dnia wystąpił właśnie w Szczecinie i wynosił aż 84 dB(A) [1]. Ograniczenie hałasu komunikacyjnego można uzyskać na kilka sposobów:

- wprowadzając opony o rodzaju bieżnika i składzie mieszanki gumowej zapewniającej niższą emisję hałasu na styku opony z nawierzchnią;
- stosując bardziej wydajne i cichsze jednostki napędowe oraz układy przeniesienia napędu pojazdów;
- projektując bardziej opływowe konstrukcje nadwozi wywołujące mniejszy szum opływającego powietrza;
- stosując ciche nawierzchnie drogowe pochłaniające część hałasu powstającego na styku opony z nawierzchnią.

¹ jacek.czarncki@ps.pl, Katedra Dróg, Mostów i Materiałów Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury Politechniki Szczecińskiej

Jedną z mieszanek mineralno-asfaltowych znacznie wpływającą na zmniejszenie hałasu na styku opony z nawierzchnią, jest mieszanka mineralno-asfaltowa porowata (MMAF). Jego podstawową różnicą w porównaniu z tradycyjnym („zamkniętym”) betonem asfaltowym, jest zawartość wolnych przestrzeni, która w tego typu mieszankach stanowi od 15 do 27 % (objętościowo) w stosunku od 2 do 6 % (objętościowo) w betonie asfaltowym. Tak duża zawartość wolnych przestrzeni powoduje, że sieć wewnętrznych, połączonych ze sobą kanalików umożliwia rozprężanie sprężonego pod bieżnikiem poruszającej się opony powietrza zmniejszając hałas na styku opony z nawierzchnią.

Zastosowanie tego typu mieszanki powoduje ograniczenie hałasu o około 5 dB(A) [2]. Należy nadmienić, że zmniejszenie hałasu o 3 dB(A) odpowiada podwojeniu odległości od źródła dźwięku, natomiast redukcja hałasu o 6 dB(A) powoduje zmniejszenie jego odczuwalnego natężenia o 200%.

Z uwagi na praktycznie jednofrakcyjny skład kruszywa w tego typu mieszance (około 80 % grysów) i ich dobre zaklinowanie między sobą, na nawierzchniach tego typu nie występują praktycznie koleiny, ale wyrwane są pojedyncze ziarna z powierzchni nawierzchni. Dzieje się tak dlatego, że powietrze i woda z opadów atmosferycznych penetruje do wnętrza takiej warstwy, powodując zmiany strukturalne lepiszcza i jego utwardzenie wpływające na zmniejszenie kohezji MMAF.

Otwarta struktura tego typu nawierzchni, stanowi zatem „duże wyzwanie” dla użytego do jej budowy lepiszcza. Ze względu na małą powierzchnię styku między ziarnami kruszywa, (a zatem niewielką jego strukturyzacją przez powierzchnię mineralną) oraz wysoką zawartość wolnych przestrzeni, bitum narażony jest na działanie o wiele większych naprężeń niż w tradycyjnym betonie asfaltowym. Oferta producentów asfaltów jest bogata. Szczególnie w przypadku polimeroasfaltów, rekomendują je oni jako przydatne do budowy warstw ścieralnych z MMAF. Chcąc prawidłowo dobrać lepiszcze, które sprosta wymaganiom stawianym MMAF, zbadano kohezję czterech asfaltów drogowych w cienkiej warstwie, przy dwóch prędkościach ścinania i w szerokim przedziale temperatur.

2. METODA BADANIA KOHEZJI W CIENKIEJ WARSTWIE

2.1. Zasada metody

Do badania kohezji asfaltu w cienkiej warstwie, wykorzystano zaadaptowany w tym celu aparat do bezpośredniego ścinania gruntu

Zgodnie ze wzorem Coulomba:

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1)$$

przy założeniu braku siły pionowej:

$$\sigma = 0$$

więc

$$\tau = c. \quad (2)$$

Miarą kohezji jest zatem odczytywana wytrzymałość na ścinanie.

Do badań użyto płytek kamiennych o wymiarach 6x6x1 cm, wyciętych z wapienia, szlifowanych i polerowanych z dokładnością do 0,5 μm . Grubość warstwy lepiszcza h sklejającego dwie badane płytki określono według następującego wzoru:

$$h = \frac{m}{\rho \cdot s} \cdot 10^{-4} \quad (3)$$

gdzie:

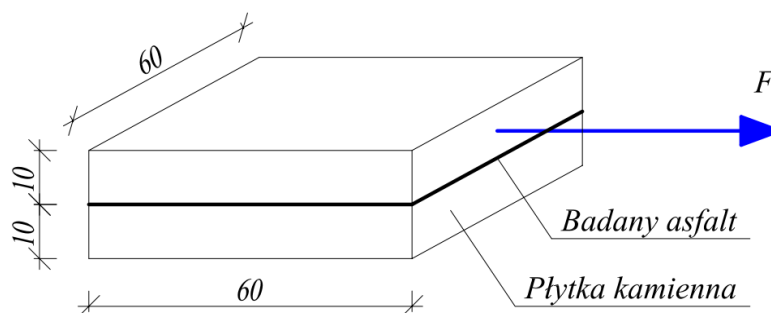
h – grubość błonki lepiszcza [μm];

m – naważka lepiszcza [g];

ρ – gęstość lepiszcza [g/cm^3];

s – powierzchnia płytki [cm^2].

Do badań przyjęto grubość błonki lepiszcza wynoszącą 20 μm , gdyż przy tej grubości warstwy, charakter chemiczno – mineralogiczny powierzchni kamiennej nie wpływa na kohezję asfaltu [3]. Według wzoru (3), odpowiada to masie lepiszcza rozkładanej na powierzchni płytek równej 0,072 [g].



Rys. 1. Warstwa lepiszcza poddana ścinaniu między dwoma płytkami z materiału kamiennego
Fig. 1. Sheared binder layer at two stone plates' interface

Dolną płytkę umocowano na stałe w formie aparatu do bezpośredniego ścinania gruntu, podczas gdy do górnej płytki przykładano siłę zrywającą F , działającą równoległe do warstwy badanego lepiszcza (rys. 1).

2.2. Przygotowanie próbek

Na jednej z kamiennych płytek, rozkładano obliczoną wcześniej ilość badanego lepiszcza. Temperatury asfaltu i płytek dobierano według zaleceń producenta lepiszcza odnośnie temperatury otaczania kruszywa. Natychmiast nakładano górną (drugą) płytkę ruchem posuwistym, dokładnie rozprowadzając asfalt na styku dwóch płytek tak, by nie wy dostał się poza płytki. Tak przygotowany zestaw badawczy umieszczano na 60 minut w suszarce w temperaturze mięknięcia lepiszcza. Następnie próbki sezonowano w łaźni wodnej w temperaturze badania ($\pm 1^\circ\text{C}$) przez 3 h, po czym lepiszcze między płytkami poddawano ścinaniu w aparacie bezpośredniego ścinania gruntu.

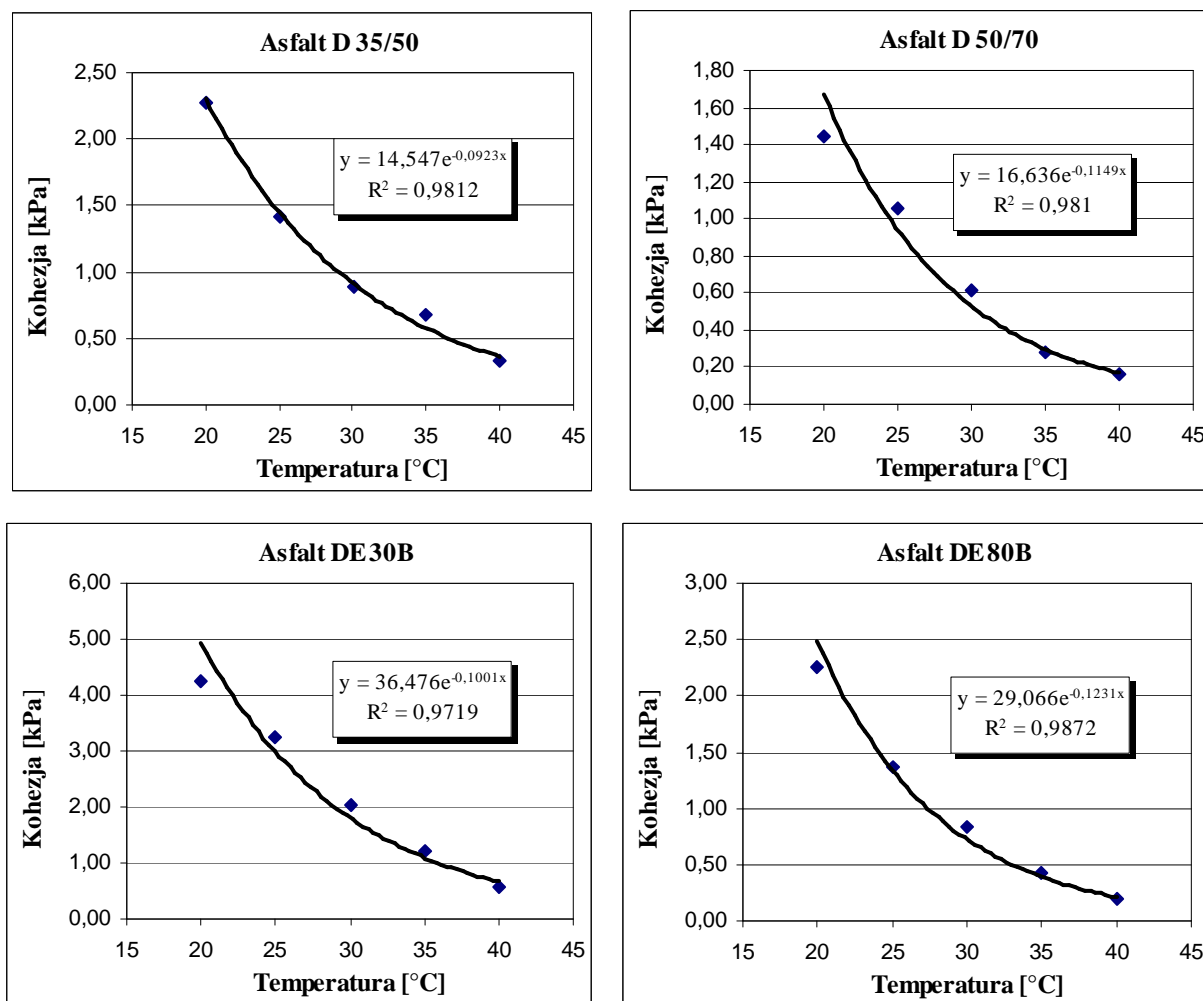
Cechy fizyczne badanych asfaltów przedstawiono w tabeli 1.

Tabl. 1. Cechy fizyczne badanych asfaltów
 Tabl. 1. Physical properties of examined bitumens

Lp	Rodzaje badań	D 35/50	D 50/70	DE 30B	DE 80B	Polska Norma
1	Penetracja w 25°C, (0,1 mm) [°pen]	45	66	41	71	PN-EN 1426:2001
2	Temperatura mięknięcia T_{PIK} [°C]	54	48	60	50	PN-EN 1427:2001
3	Temperatura łamliwości T_L [°C]	-11	-15	-	-	PN-EN 12593:2004
4	Ciągliwość w 25°C [cm]	>100	97 (13°C)	80	90 (15°C)	PN-85/C-04132
4	Nawrót sprężysty w 25°C [cm]	-	-	70	55	TWT-PAD-97
5	Granice temperaturowe reologicznego stanu lepko – sprężystego ($T_{PIK} - T_L$) [°C]	56	63	-	-	-

3. WYNIKI BADAŃ

Na rysunku 2 oraz 3 przedstawiono wyniki zależności między kohezją a temperaturą przy prędkości ścinania odpowiednio $8,33 \cdot 10^{-5}$ m/s oraz $16,67 \cdot 10^{-5}$ m/s dla badanych lepiszczy. Wyniki stanowią średnią arytmetyczną z trzech pomiarów.

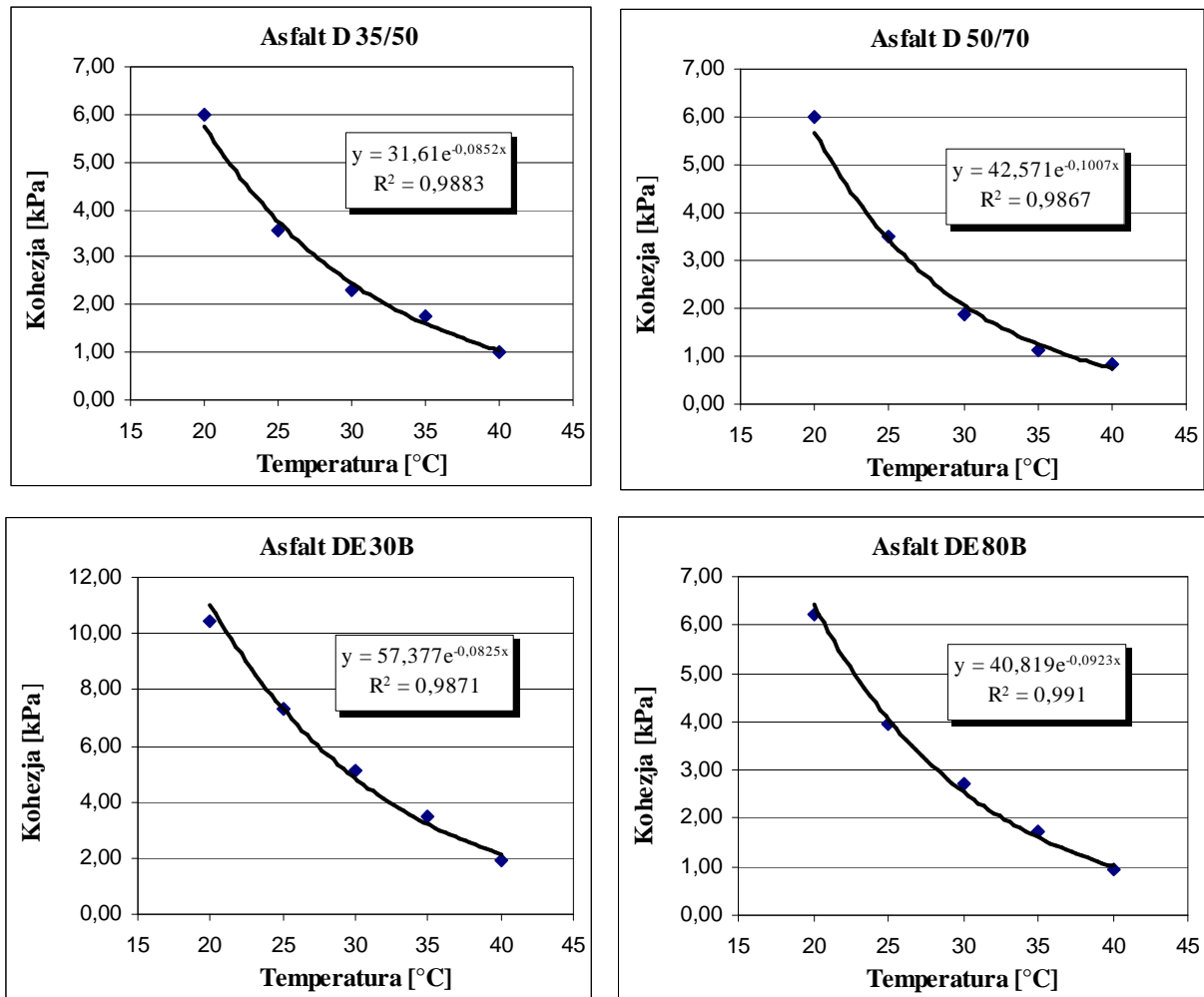


Rys. 2. Kohezja w funkcji temperatury przy prędkości ścinania $8,33 \cdot 10^{-5}$ m/s dla różnych asfaltów
 Fig. 2. Binder cohesion against temperature at shear speed of $8,33 \cdot 10^{-5}$ m/s for various bitumens

Na rysunkach tych zauważyć można, że kohezja maleje wykładniczo wraz ze wzrostem temperatury. Trend ten występuje niezależnie od rodzaju lepiszcza i może być opisany funkcją wykładniczą określoną następującym wzorem ogólnym:

$$y = a \cdot e^{-b \cdot x} \quad (4)$$

gdzie a i b są wielkościami stałymi. ponadto zauważyć można, że kohezja polimeroasfaltów jest większa od kohezji asfaltów „czystych”.



Rys. 3. Kohezja w funkcji temperatury przy prędkości ścinania $16,67 \cdot 10^{-5}$ m/s dla różnych asfaltów
Fig. 3. Binder cohesion against temperature at shear speed of $16,67 \cdot 10^{-5}$ m/s for various bitumens

Z przedstawionej na rys. 3 analizy wynika, że kohezja asfaltów „czystych” (D 35/50, D 50/70) i polimeroasfaltów (D 30B, D 80B), przy wyższej prędkości ścinania ($16,67 \cdot 10^{-5}$ m/s), jest wyższa niż przy prędkości ścinania $8,33 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Jednym ze zjawisk o charakterze reologicznym towarzyszącym procesom deformacyjnym w masie mineralno-bitumicznej jest zjawisko relaksacji naprężeń (samoodprężania się). Według [3], można je wyrazić za pomocą następującego wskaźnika:

$$C = \frac{K_{v_1}}{K_{v_2}} \quad (4)$$

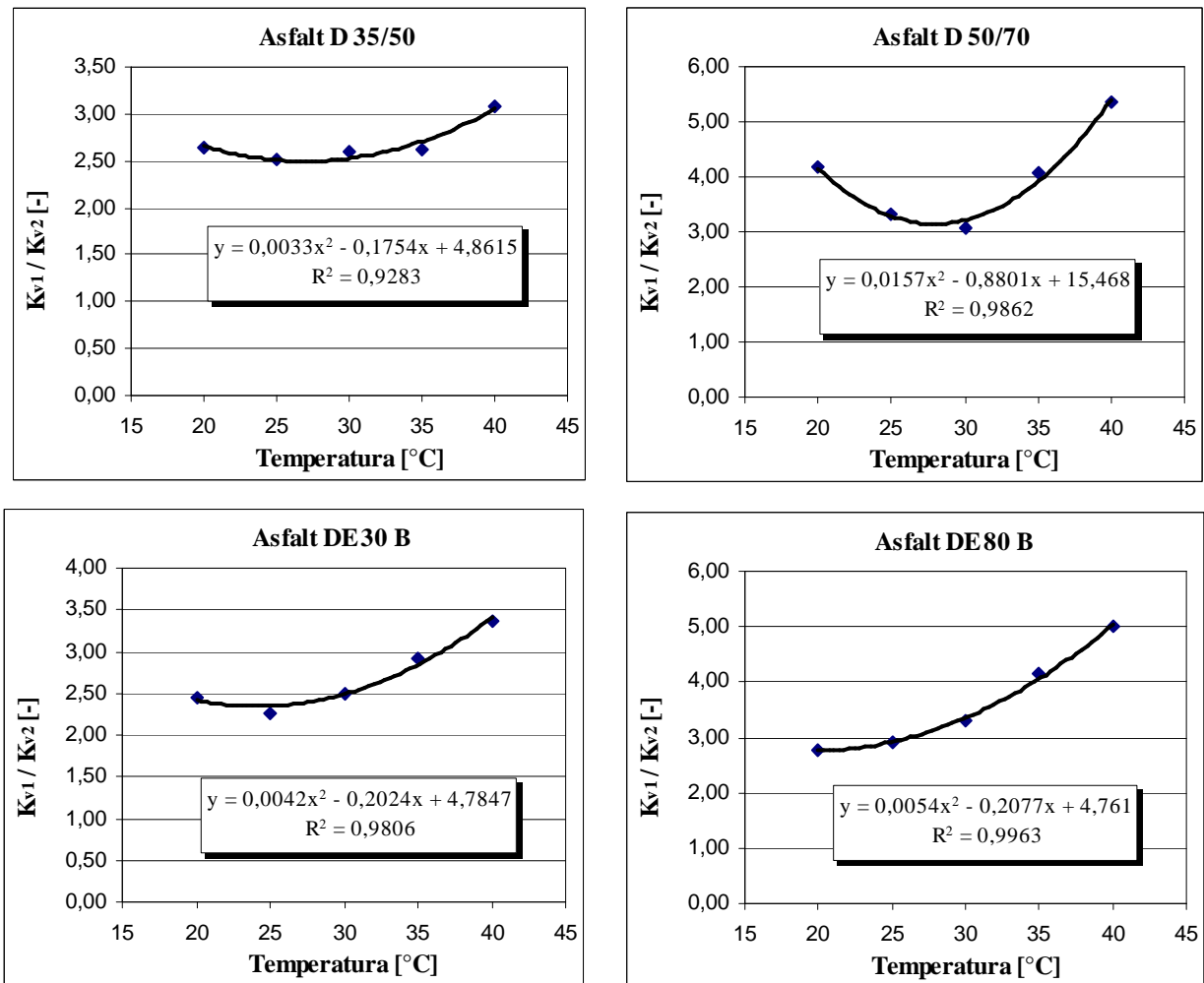
gdzie:

C – wskaźnik relaksacji naprężeń [-];

K_{v_1} – kohezja przy prędkości ścinania $16,67 \cdot 10^{-5}$ m/s [kPa];

K_{v_2} – kohezja przy prędkości ścinania $8,33 \cdot 10^{-5}$ m/s [kPa].

Wskaźnik ten obliczono jako iloraz wartości kohezji przy prędkości ścinania $16,67 \cdot 10^{-5}$ m/s do wartości kohezji przy prędkości ścinania $8,33 \cdot 10^{-5}$ m/s dla tego samego asfaltu, tej samej grubości błonki i w tej samej temperaturze. Wyniki obliczeń przedstawiono na rys 4.



Rys. 4: Wskaźnik relaksacji naprężeń w zależności od temperatury dla różnych typów asfaltów

Fig. 4. Stress relaxation coefficient against temperature for various bitumens

Analizując wykresy na rysunku 4, należy zauważyć, że dla każdego zbadanego asfaltu, w okolicach 20 – 30 °C występuje minimum znalezionej funkcji kwadratowej opisującej zmianę wskaźnika relaksacji naprężeń w zależności od temperatury.

Zdaniem autora, najkorzystniejsze lepiszcze pod względem zdolności do rozpraszania

naprężeń, powinno charakteryzować się możliwie płaskim przebiegiem funkcji opisującej zmianę wskaźnika relaksacji naprężeń. Podobnymi właściwościami charakteryzują się jednak dwa różne lepiszcza: D 35/50 bez dodatków oraz elastomeroasfalt DE 30 B. Zatem ocena jedynie maksymalnych wartości kohezji asfaltu okazuje się niewystarczająca. Należałoby więc zbadać ilość wykonanej przez lepiszcze pracy sprężystości i pracy plastyczności w zależności od odkształcenia (w tym wypadku od przesunięcia kamiennych płytek). Umożliwi to ocenę podatności asfaltu na proces relaksacji naprężeń, poprzez bardziej szczegółowe przeanalizowanie charakteru przemian strukturalnych w szczególności dla polimeroasfaltów. Udoskonalenie metody badawczej pozwalające na taką ocenę, z wykorzystaniem czujników elektronicznych i oprogramowania komputerowego, zostało już przez autora opracowane.

4. WNIOSKI

1. W związku z nieciągłym uziarnieniem szkieletu mineralnego oraz stosunkowo małą jego powierzchnią w mieszankach mineralno-asfaltowych porowatych, istotną rolę w zapewnieniu kohezji i wytrzymałości MMAP, pełni lepiszcze asfaltowe.
2. Zastosowany w tego typu mieszankach asfalt, powinien charakteryzować się w szczególności niską wrażliwością termiczną oraz wysoką kohezją przy zapewnieniu krótkiego czasu relaksacji (rozpraszania) naprężeń.
3. Charakterystyczne wymagania techniczno–eksploatacyjne warstw ścieralnych z MMAP, zapewniają polimeroasfalty.
4. Wyznaczony wskaźnik relaksacji naprężeń w połączeniu z określeniem części pracy sprężystości i części pracy plastyczności, (również w funkcji przemian strukturalnych), umożliwi dobór lepiszcza do budowy warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego porowatego.

LITERATURA

- [1] Najwyższa Izba Kontroli, Departament Środowiska, Rolnictwa i Zagospodarowania Przestrzennego: *Informacja o wynikach kontroli. Ochrona przed hałasem na obszarach miejskich ze szczególnym uwzględnieniem głównych tras komunikacyjnych*. Nr ewid. 166/2001/P/01/083/KSR, Warszawa, 2001
- [2] Renken P.: *Noise Reducing Asphalt Pavements (Porous Asphalt) – Optimal composition, Prediction of Material Properties and Experience with Long-term Performance*. 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Vienna, Austria, 12-14 May 2004, Book I, s. 272-279
- [3] Stefańczyk B.: *Investigations of Adhesion of Asphalt to Mineral Materials*. Archives of Civil Engineering, XXXVIII, 1 – 2, 1992, s. 153-166

STRESS RELAXATION COEFFICIENT IN POROUS ASPHALT DESIGN

Bituminous binder is one of the most important ingredients in porous asphalt. In relation to small contact areas between aggregate grains and high air voids (ca. 15 – 27%) in such a mix, binder is exposed to higher stresses than in “closed” asphalt.

To choose proper binder to porous mixture correctly, cohesion of the four road bitumens at the mineral-binder interface was examined. Researches was performed in adopted soil direct shear apparatus at two shear speeds ($8,33 \cdot 10^{-5}$ and $16,67 \cdot 10^{-5}$ m/s) and temperatures from 20 to 40 °C. Thin layer (20 µm) of each examined binder was sheared between two stone plates (fig. 1). Cohesion research results enabled to calculate coefficient C as a quotient of cohesion value at the shear speed of $16,67 \cdot 10^{-5}$ m/s and the cohesion value at the shear speed of $8,33 \cdot 10^{-5}$ m/s for each bitumen at the same temperature (equation 4 and fig. 4). Analysis of coefficient C values led to conclusion, that in porous asphalt, particularly polymer modified bitumen (DE 30B or DE 80 B) is needed.

Keywords: asphalt cohesion, noise reduction, porous asphalt design, stress relaxation coefficient

KENNZAHL DER SPANNUNGSRELAXATION FÜR DEN ENTWURF EINES PORIGEN ASPHALTBETONS

In einer porigen Mineral-Asphalt-Mischung spielt das bituminöse Bindemittel eine wesentliche Rolle. Aufgrund der kleinen Kontaktfläche zwischen den Körnern der Zuschlagsstoffe und des hohen Hohlraumgehaltes (ca. 15 – 27%), ist dieser Beton der Wirkung von wesentlich größeren Spannungen als im herkömmlichen Asphaltbeton ausgesetzt. Um ein geeignetes Bindemittel zu wählen, das diesen Anforderungen gerecht wird, wurde die Kohäsion von vier Straßenasphalten in einer dünnen Schicht bei zwei Abschergeschwindigkeiten und in einem breiten Temperaturbereich untersucht. Für die Untersuchungen wurde ein für diesen Zweck adaptiertes Gerät zur direkten Bodenscherung eingesetzt. Das untersuchte Bindemittel wurde zwischen zwei Steinplatten abgeschert. Die erzielten Ergebnisse dienten zur Bestimmung der Kennzahl der Spannungsrelaxation, die dem Quotienten aus dem Kohäsionswert bei der höheren Abschergeschwindigkeit und dem Kohäsionswert bei der niedrigeren Abschergeschwindigkeit entspricht. Die auf diese Weise ermittelte Kennzahl der Spannungsrelaxation erlaubte die Bewertung der Eignung des gegebenen Bindemittels für den Einsatz im porigen Asphaltbeton.

Stichworte: Asphalt Kohäsion, Lärminderung, Entwurf eines porigen Asphaltbetons, Kennzahl der Spannungsrelaxation